АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ БИОСФЕРЫ
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНОЕ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В БИОСФЕРЕ

ТОМ
I

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ И ИХ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Под редакцией
доктора физико-математических наук Н.В.КРАСНОГОРСКОЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
Москва 1984

УДК 57.043:537.8II

Электромагнитные поля в биосфере (в двух томах). Т.I. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение. М.: Наука, I984.

В книге рассматриваются некоторые аспекты солнечно-биосферных связей. Значительное внимание уделено процессам формирования электромагнитных полей как естественной, так и антропогенной природы, обсуждаются возможные пути их воздействия на физико-химические и биологические процессы. Приводятся экспериментальные результаты исследования электромагнитных полей биологического происхождения, дается их интерпретация. Обсуждаются экспериментальные данные о реакциях человека на гелиогеомагнитную активность и возможность прогнозирования ее влияния на живые системы и организм человека. Излагаются методы измерения, обработки и анализа экспериментальных данных в области электромагнитобиологии, а также некоторые аспекты практического использования эффектов биологического действия внешних полей в геофизике.

Книга рассчитана на специалистов различного профиля, интересующихся проблемами взаимодействия внешней среды с биологическими системами и охраны биосферы.

Табл. 27. Ил. 85. Библиогр. 919 назв.

Ответственные редакторы:
академик А.В.Фокин,
академик Б.Н.Ласкорин

200I040000 - 090
Э ——————— Без объявления
042 (02) - 84

(С) Научный совет по проблема биосферы АН СССР, I984 г.

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ
ГЕРОЯ СОВЕТСКОГО СОЮЗА
АКАДЕМИКА ЕВГЕНИЯ КОНСТАНТИНОВИЧА
Ф Е Д О Р О В А –
НЕУТОМИМОГО БОРЦА ЗА МИР И ПРОГРЕСС
ЧЕЛОВЕЧЕСТВА – ПОСВЯЩАЕМ ЭТОТ ТРУД

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы значительно усилилось внимание к проблеме биологического действия электромагнитных полей и излучений, сравнимых по интенсивности с естественным электромагнитным фоном. Назревшая необходимость их изучения обусловлена многими факторами, непосредственно связанными с условиями современного этапа научно-технической революции. Угрожающее загрязнение биосферы электромагнитными шумами, развитие кибернетических представлений о возможной регулирующей роли внешних воздействий, необходимость обеспечения длительного существования человека в замкнутых изолированных объемах, а также совершенствование и повышение уровня чувствительности контрольно-измерительной техники – все это вызвало необходимость и обеспечило возможность постановки на физико-химической основе комплексной проблемы биологического действия электромагнитных полей, обсуждению которой и посвящена коллективная монография "Электромагнитные поля в биосфере".

В партийных и правительственных постановлениях среди задач по охране окружающей среды отмечается необходимость "разработать новые методы и средства борьбы с ...воздействиями электрических, магнитных полей и излучений"[I]. В развитие этих постановлений президиум Академии наук СССР и Академия медицинских наук СССР, коллегии Минздрава СССР, Минвуза СССР и союзных республик, Минэнерго, ряд других миниотерств и ведомств оилами подведомственных организаций проводят некоторую работу по изучению биологического действия электромагнитных полей в основном антропогенного происхождения. Однако эти положительные сдвиги слабо согласованы и потому недостаточно эффективны в решении общей комплексной проблемы биологического действия факторов внешней среды.

Серьезное мобилизующее значение в деле постановки и проведения исследований в области указанной проблемы имели прошедшие в нашей стране

[I] Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976 – 1980 гг. М.: Политиздат, 1976, с. 21.

научные конференции и симпозиумы, наиболее представительным из которых был Всесоюзный научно-технический симпозиум по физико-математическим и биологическим проблемам действия электромагнитных полей и ионизации воздуха, проведенный в 1975 г. в г. Ялте. В исполнение решения этого форума научной общественности и подготовлен настоящий фундаментальный труд, издание которого поддержано Научным советом по проблемам биосферы АН СССР.

Специфическая трудность создания настоящей монографии состоит в том, что работа должна основываться на новейших достижениях современной науки и методологии исследования функционирования и развития сложных систем, которая в настоящее время только начинает серьезно разрабатываться. Необходимо изложить совместно в доступной форме в широком диапазоне различных областей знаний основные представления о процессах, протекающих в космическом пространстве и в сложной иерархии систем, управляющих адаптацией больного и здорового организмов, о процессах на Солнце и в тонких механизмах элементарных химических реакций. Необходимо раскрыть методику и результаты новейших геофизических, физиологических, биофизикохимических экспериментов, а также дать анализ статистических рядов наблюдений. Эта сложная и ответственная работа могла быть проделана лишь большим, согласованно работающим коллективом специалистов различного профиля.

Именно такого характера работа выполнена в коллективной монографии "Электромагнитные поля в биосфере" - первом в научной литературе издании, посвященном всестороннему анализу современных представлений о влиянии электромагнитных полей на биосистемы различных уровней организации. Монографию отличает комплексный подход к решению проблемы, широта и актуальность рассматриваемых вопросов, сочетание теоретических и экспериментальных аспектов исследований. На основе большого экспериментального материала обсуждаются возможные механизмы биологического действия электромагнитных полей на молекулярном, клеточном и организменном уровнях, а также общие подходы к постановке подобных исследований. Новые факты и теоретические концепции позволили нетрадиционным образом осветить некоторые физико-химические механизмы действия электромагнитных полей как на биологические, так и на модельные химические системы.

В целом монография является хорошим введением в проблему взаимодействия внешней среды с биологическими объектами. Обширная библиография, сопровождающая изложение каждого раздела, весьма полезна для дальнейшей комплексной работы над проблемой.

Полагаю, что коллективная монография "Электромагнитные поля в биосфере" будет способствовать объединению усилий специалистов различного профиля, работающих в области проблем, связанных с охраной биосферы, а также в области биологической физики и медицины.

Академик А.В.Фокин

ВВЕДЕНИЕ

> Космические излучения, идущие от всех небесных тел, охватывают всю биосферу, проникают всю ее и все в ней... Биосфера не может быть понята в явлениях, на ней происходящих, если будет упущена эта ее резко выступающая связь со строением всего космического механизма.
>
> В.И.Вернадский

Сохранение жизни – самого дорогого и прекрасного, что есть на Земле, – одна из наиболее важных и актуальных проблем современного человечества. Постановка и решение проблем эффективного взаимодействия биологических систем и человека с внешней средой непосредственно связаны с проблемами охраны биосферы – охраны человека, растительного и животного мира, а также среды их обитания.

Биосфера – твердая, жидкая и газообразная оболочки Земли, населенные живыми организмами, – изменяется в процессе биологической эволюции и в результате человеческой деятельности. Границы биосферы определяются физико-химическими свойствами земной среды, обеспечивающими (или исключающими) возможность ощуществования живых систем. Верхней границей биосферы академик В.И.Вернадский считал озонный слой (порядка 20 км от земной поверхности), предохраняющий живые организмы от губительного действия ультрафиолетового излучения. Нижняя граница (3–3,5 км ниже поверхности земной коры) определяется температурой земных недр, при которой жизнь невозможна.

В дальнейшем речь пойдет лишь о воздушной среде – атмосфере, главным образом о приземном ее слое, где сосредоточена жизнедеятельность человека, причем на фоне огромного многообразия природных факторов, характеризующих среду обитания, будет рассматриваться в основном биологическое действие электромагнитных полей, генерируемых источниками как естественной, так и искусственной природы.

Неотложность комплексной постановки и изучения проблемы биологического действия электромагнитных полей диктуется непрерывно растущим электромагнитным фоном, обусловленным увеличением числа радио– и телевизионных станций, расширением сети высоковольтных линий электропередач и атомных электростанций, широким внедрением радиоэлектронных устройств во многих областях народного хозяйства и другими причинами. Исследование уровня "электромагнитных загрязнений" и их биологической роли (на фоне естественных электромагнитных излучений) является одной из актуальных

проблем, тем более что использование постоянных магнитов в МГД-генераторах, магнитных ловушках и прочих устройствах связано с необходимостью работы в магнитных полях большой напряженности, механизм биологического действия которых недостаточно ясен.

Серьезным тормозом в плановой постановке исследований взаимодействия живых систем с электромагнитным фоном явилось расхождение экспериментальных и теоретических оценок биологического действия слабых электромагнитных полей. Расчеты, выполненные на основании энергетических представлений о взаимодействии электромагнитных полей с веществом живых тканей, показали, что для обнаружения биологических эффектов необходимы напряженности полей на несколько порядков выше естественных, в то время как экспериментальные исследования (с различной степенью достоверности) свидетельствуют о высокой чувствительности живых систем, в том числе и человека, к слабым электромагнитным воздействиям, сравнимым по напряженности с естественными полями. Как это часто случается, возникшее противоречие в свою очередь явилось стимулом к массовому, но стихийному поиску новых путей решения проблемы биологического действия электромагнитных сигналов.

Постановка проблемы взаимодействия факторов внешней среды с биологическими объектами основана на том, что любая живая система является открытой, т.е. ее функционирование происходит в условиях непрерывного обмена с окружающей средой веществом, энергией и информацией. Это значит, что любой биологический объект и соответственно его рецепторы (см. т.2, гл.I, п.I.4, 2.7) испытывают комбинированное неспецифическое действие физико-химических и гелиогеофизических факторов внешней среды, которые взаимодействуют между собой и с живыми организмом, вызывая те или иные его реакции. С этих позиций сложную проблему взаимодействия внешних факторов с биологическими системами схематично можно представить состоящей из трех основных компонентов: внешняя среда → живые системы → реакции живых систем на внешние воздействия.

Характеристики природных внешних воздействий можно оценивать геофизическими методами (см. т.I, гл.III, п.I.I, I.2) или техническими средствами при моделировании процессов в лабораторных условиях (см. т.I, гл.III, п.I.3 - I.5). Реакции биологических объектов на внешние воздействия могут быть оценены соответствующими тестами (см., например, т.2, гл.III, п.3 - 6).

Для эффективного действия внешнего сигнала, несущего энергию и информацию в форме кода, необходимо соблюдение некоторых условий.

Наиболее значимого биологического эффекта можно ожидать при возникновении резонанса, когда один или несколько параметров внешних воздействий оказываются близкими к параметрам биосистем, причем результирующий эффект при информационном взаимодействии зависит не только от мощности действующего сигнала, но и от его информационной значимости (см. т.2, гл.II, п.I.I).

Другим важным условием эффективного воздействия является способность живых систем избирательно реагировать (см. т.2, гл.I, п.2.I – 2.4) на сигналы, обладающие именно теми свойствами, для восприятия которых данный рецептор предназначен.

И, наконец, третье условие – эффективная работа биоусилителей, способных развивать ответную реакцию, многократно превышающую по энергии исходный сигнал. Существование в биосистемах таких усилителей обусловлено состоянием устойчивого неравновесия живой материи (см. т.2, гл.I, п.I.I), когда малыми энергетическими затратами можно значительно изменить состояние биологических объектов.

Существенное значение имеют также механизмы переноса информации. Следует, например, отметить, что инфранизкочастотные электромагнитные поля распространяются на большие, практически любые, расстояния в любых метеоусловиях через все среды, включая живые ткани. Глубина проникновения сигнала в среду с заданными параметрами зависит от свойств действующего сигнала и от свойств среды – диэлектрической и магнитной проницаемостей, а также удельной электропроводности. Эффект действия электромагнитных полей на данный биообъект определяется параметрами поля (частота, амплитуда, напряженность, фаза, поляризация и т.д.) и не зависит от способов его генерации, что значительно облегчает постановку исследований биологического действия электромагнитных полей в экспериментах на животных и на моделях живых систем.

Электрические поля значительно слабее, чем магнитные, проникают в среды с большой диэлектрической проницаемостью и сравнительно высокой проводимостью. В связи с различием в значениях диэлектрической и магнитной проницаемостей живых объектов действие электрических и магнитных полей на биологические системы неодинаково, поэтому результаты исследований эффектов биологического действия низкочастотных электрических и магнитных полей можно рассматривать раздельно.

Почему основное внимание в области проблемы взаимодействия факторов внешней среды с биологическими системами уделено именно электромагнитным полям?

Все живое и неживое на Земле зарождается, существует и эволюционирует, находясь в электрическом, магнитном и гравитационном полях, в среде, частично ионизированной космическими и радиоактивными излучениями. Гравитационное поле остается, как известно, практически постоянным, к нему живые системы надежно адаптировались. Электромагнитный спектр атмосферы изменяется в широких пределах – от вековых, сезонных и суточных изменений электрического и магнитного полей до гамма-излучений. Геном живой клетки, например, с которым обычно связывают наличие биологических часов, формировался в условиях повышенной радиации, обладающей мощным биологическим действием. С этой точки зрения известные факты – ускорение старения организмов под влиянием высоких доз жестких излучений, стимуляция роста при слабых электромагнитных воздействиях и дру-

гие – свидетельствуют в перспективе о принципиальной возможности управления при помощи электромагнитных полей биологическими часами и продолжительностью жизни организмов. Таким образом, электромагнитный фон биосферы является важнейшим эволюционным фактором, приводящим к изменениям биологических ритмов (см. т.2, гл.I, п.5.I – 5.3), влияющих на процессы роста живых систем (см. т.2, гл.I, п.2.2) и на эволюцию биосферы в целом. Это тем более вероятно, что большинство известных фундаментальных взаимодействий в живой и неживой природе – электромагнитные.

Указанные представления явились основными причинами для рассмотрения электромагнитных полей биосферы в качестве непрерывно действующего экологического фактора, носящего универсальный характер. Существование корреляций между гелиогеофизической обстановкой и ходом химических реакций (см., например, т.I, гл.II, п.2.I – 2.5), развитием патологических процессов на организменном уровне (см. т.I, гл.II, п.I.2 – I.5) иллюстрируют эти положения.

Другая причина состоит в том, что многие фундаментальные акты жизнедеятельности биологических объектов связаны с переносом электрических зарядов, а поскольку движущийся заряд создает магнитное поле, то любой живой объект сам должен являться генератором электромагнитных сигналов (см. т.I, гл.I, раздел 3). Примером может служить всем известная электрокардиограмма, которая является ничем иным, как записью разности потенциалов,соответствующей биоэлектрическому полю,генерируемому сердцем при каждом его сокращении. При этом возникает ток через тело исследуемого объекта, который в свою очередь вызывает магнитное поле. Биомагнитные поля, так же как и биоэлектрические, могут быть зарегистрированы дистанционно (на расстоянии нескольких сантиметров от исследуемого объекта) в виде магнитокардиограммы (см. т.I, гл.III, п.I.3, I,4).

Следовательно, живые системы наряду с геофизическими источниками электромагнитных полей (см. т.I, гл.I, раздел I), обусловленными деятельностью Солнца и так или иначе связанными с солнечным ветром, с процессами в межпланетном и околоземном пространстве, являются дополнительными, хотя и слабыми, генераторами электромагнитных полей в среде их обитания.

Одним из наиболее чувствительных индикаторов внешних воздействий является кровь и кроветворные органы. Элементы крови, как известно, обладают электрическим зарядом и магнитным моментом (см. т.2, гл.I, п.3.I), следовательно, их движение в сердечно-сосудистой системе управляется законами не только гемодинамики и гидродинамики, но и законами электродинамики.

Итак, любая живая система в определенных условиях может служить как приемником, так и генератором электромагнитных излучений. Задача состоит в том, чтобы разработать надежные чувствительные методы контроля за параметрами биологического поля (см. т.I, гл.I, раздел 3) с целью использования его для управления и диагностики, а также для исследования взаимодействия полей живой и неживой природы.

Одним из ведущих направлений в электромагнитобиологии является разработка эффективных механизмов биологического действия электромагнитных полей, то есть отыскание путей или способов п р е о б р а з о в а н и я действующего на живую систему внешнего сигнала в ответную реакцию биологической системы.

Задача состоит в том, чтобы раскрыть механизм биологического действия исследуемого внешнего сигнала. Однако на настоящем уровне наших знаний понятие о механизмах действия часто сводится к установлению корреляционных связей между внешним действующим стимулом и реакцией биологической системы. Тем не менее (полученные на моделях) достоверные взаимосвязи внешнего сигнала и ответной реакции на него могут быть положены в основу построения гипотез об эффективности биологического действия исследуемых гелиогеофизических или медико-биологических факторов.

Изучение механизмов взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами (см. т.2, гл.II, раздел I) непосредственно связано с основными проблемами биофизики - биоэнергетикой, фотосинтезом, о изучением природы возбуждения конформационных превращений биополимеров, строением и свойствами мембран и субклеточных структур. Особое значение имеют исследования природы процессов управления в живых системах, связанные с биокибернетическим подходом (см. т.2, гл.II, п.I.I), так как кроме структурно-энергетической роли (на изучение которой направлена бо́льшая часть исследований) электромагнитные излучения в биосфере играют не менее важную информационную роль.

Следует отметить, что сложный состав солнечного излучения, так же как и любых других природных воздействий на живые системы, затрудняет установление конкретного механизма взаимодействия биологических объектов с внешней средой. В подобных ситуациях одной из ведущих характеристик модели процесса взаимодействия может явиться закон спектрального распределения сигналов (см. т.2, гл.I, п.2.I, 2.2).

Чем глубже и детальнее исследуется живой организм и его структурная единица - клетка, тем более прозрачной становится идея о координирующей и управляющей роли электрических полей. Биомембраны, например, находятся под действием электрического поля с градиентом порядка 10^5 В/см, что сравнимо с пробойными значениями полей лучших диэлектриков.

Кооперативность и чередование ближнего и дальнего порядков в живых системах и их компонентах может иметь следствием дальнодействие процессов возбуждения. Эффект дальнодействия наиболее ярко проявляется в биомембранах - достаточно ничтожного количеотва реагента, чтобы привести в действие цепь кооперативных процессов, вызывающих изменение свойств всей мембраны, а также мембран соседних клеток. Мембранный потенциал, таким образом, является тем управляющим агентом, который объединяет в единую систему множество элементарных электрических генераторов, систем окисления, работающих в различных участках внутриклеточных мембран. Изменение собственного электрического поля, сопровождающее группы потенциалов действия, может изменить некоторые термодинамические и механичес-

кие свойства, следовательно, и проницаемость электровозбудимых участков мембраны. В этих случаях можно наблюдать процесс взаимопревращения различных форм энергии под действием электрического поля, которое выступает в роли управляющего фактора.

Особую роль в функционировании биологических систем играет триггерный механизм работы биомембран, позволяющий системе переключаться из одного состояния в другое при изменении некоторого управляющего параметра. Такие переходы осуществляются в процессах биосинтеза белка, клеточной дифференциации при блокировании части генетичеокой информации, срабатывании рецепторов по достижении внешним стимулом порогового значения, в процессах возбуждения нейронов и т.д. Триггерный характер внутренних свойств мембран обусловливает возникновение различного рода неустойчивых состояний и связанных с ними колебательных процессов. Электрически неустойчивые состояния, обнаруженные в биомембранах и биополимерах (см. т.2, гл.II, п.2.3), есть следствие триггерного характера электропереноса в мембранах, что приводит к возникновению частотной модуляции в электровозбудимых мембранах, является информационным кодом нервной системы.

Большой интерес представляет исследование влияния электрических и магнитных полей на ход химических реакций (см. т.2, гл.II, п.2.I, 2.2), ибо химическое превращение, которое, как правило, включает акт передачи электрона, может изменять заряд взаимодействующих агентов.

Изучение роли электромагнитных полей на молекулярном, клеточном, тканевом уровнях, на уровне целостного организма и его функциональных систем является фундаментом для обоснования методик, использующих эффекты взаимодействия электромагнитных полей с биологическими объектами в прикладных целях (см. т.I, гл.III, п.3.2 и т.2, гл.III). Особенно важными с точки зрения теории и практики являются исследования избирательной чувствительности биологических объектов к узким частотным диапазонам электромагнитных полей (см. т.2, гл.I, п.2.I, 2.3 –2.5) в связи с общебиологическим аспектом роли нелинейных осцилляторов в процессах самоорганизации живой материи.

Изложенные выше общие положения нашли отражение в настоящей коллективной монографии, посвященной проблемам действия электромагнитных излучений как естественной, так и антропогенной природы на живые системы всех уровней организации. Целью издания монографии является освещение на современном научном уровне состояния многогранной проблемы биологического действия электромагнитных полей с тем, чтобы этот труд послужил основой для дальнейшего развития проблемы в условиях достижения взаимопонимания и укрепления научных контактов. Вследствие многоплановости и сложности проблемы ее целостное представление может быть осуществлено лишь большим коллективом ученых – специалистов в различных областях знания; при этом мы старались по возможности совместить достаточную строгость изложения с его доступностью.

Монография состоит из двух томов, построенных по общему плану: том I – "Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение" и том 2 – "Биологическое действие электромагнитных полей". В первых главах каждого тома даются общие характеристики объектов исследований – источники электромагнитных полей естественной и антропогенной природы в первом томе, общие свойства живых систем и их реакции на электромагнитные поля – во втором. Во вторых главах излагаются результаты исследований – влияние внешних гелиогеофизических факторов на организм и модели живых систем в первом томе, возможные механизмы биологического действия электромагнитных полей на живые системы и их модели – во втором. В третьих главах каждого тома рассмотрены основные методы измерения, обработки и практического использования электромагнитных полей в геофизике (том первый) и в медицине (том второй). В главе четвертой первого тома обсуждаются некоторые вопросы теоретического плана, в приложении ко второму – вопросы организации глобального эксперимента и информационного обеспечения проблемы электромагнитобиологии и медицины.

В заключение следует подчеркнуть, что к настоящему времени назрела необходимость творческого осмысливания огромного экспериментального материала, который должен быть эффективно использован для разработки теории процесоов биологического действия электромагнитных полей на основе общих принципов развития живой материи. Выполнение этой трудной задачи откроет перспективы в развитии оптимальных путей решения весьма актуальной и острой проблемы взаимодействия внешней среды с биологическими системами. Если настоящий коллективный труд будет способствовать установлению деловых контактов и взаимопонимания специалистов различного профиля в творческом содружестве на пути к решению указанной проблемы, то авторский коллектив и редактор монографии будут считать свою задачу выполненной.

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность вице-президенту АН СССР академику А.Л.Яншину, академику АН СССР А.В.Фокину, академику АН СССР Б.Н.Ласкорину, доктору географических наук С.А.Евтееву за содействие в издании настоящей рукописи, доктору физико-математических наук Л.П.Кашшину, кандидату физико-математических наук Л.Д.Кисловскому, кандидату технических наук К.А.Труханову, кандидату биологических наук Б.Г. Режабеку за плодотворную дискуссию по материалам монографии, кандидату технических наук С.И.Козлову, председателю Центрального правления ВНМТО О.Б.Рукосуеву, члену-корреспонденту АН СССР Л.А.Пирузяну и другим товарищам, оказавшим действенную помощь в решении ряда организационных вопросов.

Н.В.Красногорская

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

ЭМП – электромагнитное поле

ИЭМП – импульсное электромагнитное поле

МП – магнитное поле

ЭП – электрическое поле

ИМП – импульсное магнитное поле

ИЭП – импульсное электрическое поле

ГМП – геомагнитное поле

ММП – межпланетное магнитное поле

$\vec{H}$ – вектор напряженности магнитного поля

H_x, H_y, H_z – составляющие вектора напряженности магнитного поля в прямоугольной системе координат

H, D, Z – составляющие вектора напряженности геомагнитного поля в направлении геомагнитных координат

$\vec{B}$ – вектор магнитной индукции

$\vec{E}$ – вектор напряженности электрического поля

E_x, E_y, E_z – составляющие вектора напряженности электрического поля в прямоугольной системе координат

φ – потенциал электрического поля

f – частота колебаний

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота

λ – длина волны

c – скорость света (если не оговорено другое)

h – постоянная Планка

k – постоянная Больцмана

e – заряд электрона

μ, μ_0, ε, ε_0 – магнитная и диэлектрическая проницаемости среды соответственно (с индексом "о" – в вакууме)

n_+, n_- – концентрация положительных и отрицательных ионов

σ – плотность поверхностного заряда

j – плотность тока проводимости

ЭФП – электрофоретическая подвижность

Т – абсолютная температура

Р – достоверность результатов измерений

r – коэффициент корреляции

МЦД – мировой центр данных

СА – солнечная активность

СКЛ – солнечные космические лучи

УЗ – ультразвуковое (излучение)
ИК – инфракрасное (излучение)
УФ – ультрафиолетовое (излучение)
ОИ – оптическое излучение
ЦНС – центральная нервная система

Индексы солнечной активности:

W – относительное число солнечных пятен (число Вольфа), оценивающееся по формуле $W = k(10g + N)$, где g – число групп, N – общее число пятен на Солнце, к – коэффициент, определяемый для каждого инструмента.

$\mathcal{F}$ – радиоволновое излучение на волне 10,7 см.

a, a_p, A, A_p – локальные и планетарные (p) индексы геомагнитной активности, усредненные по амплитуде (a – возмущение геомагнитного поля за трехчасовые интервалы, A – среднесуточные значения); выражаются в нанотеслах (нТл).

C, C_p – локальный и планетарный геомагнитные индексы, характеризующие возмущенность ГМП; выражаются в баллах от 0 до 2.

AE – индекс геомагнитной активности, отражающий усиление токов в ионосфере на широтах 60–70°; выражается в нТл.

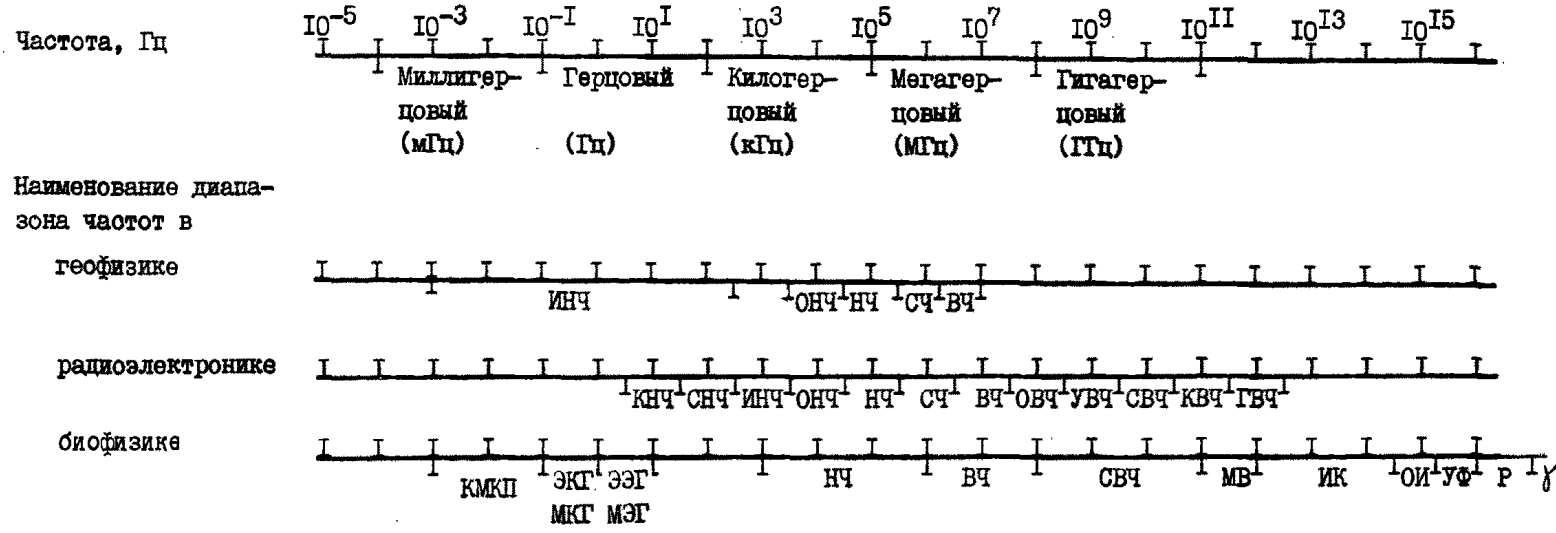
K, K_p – локальный и планетарный геомагнитные индексы, характеризующие возмущение геомагнитного поля в баллах от 0 до 9 за трехчасовые промежутки (восемь значений К на каждый день).

К сожалению в настоящее время отсутствуют общепринятые в различных областях знаний наименования отдельных частотных диапазонов электромагнитного спектра. Более того, одни и те же обозначения в различных научных дисциплинах относятся к разным диапазонам частот.

В монографии приняты обозначения, используемые в геофизике. Инфранизкочастотный диапазон (ИНЧ) объединяет, в частности, диапазоны электромагнитных пульсаций у поверхности Земли, обусловленных процессами взаимодействия солнечного ветра с магнитосферной плазмой, и шумановского резонанса. Ниже в таблице представлена система разделения и сокращенного наименования диапазонов, рекомендованная в 1975 году Международным консультативным комитетом по радио в области радиоэлектроники.

Следует отметить, что в дальнейшем изложении электрические, магнитные, электромагнитные поля для краткости объединяются общим понятием "электромагнитные поля", при этом считается, что постоянные электрические и магнитные поля являются частным случаем электромагнитных с нулевой частотой.

ЧАСТОТНЫЕ ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СПЕКТРА



Обозначения

ИНЧ – инфранизкая частота, КНЧ – крайне низкая частота, СНЧ – сверхнизкая частота, ОНЧ – очень низкая частота, НЧ – низкая частота, СЧ – средняя частота, ВЧ – высокая частота, ОВЧ – очень высокая частота, УВЧ – ультравысокая частота, СВЧ – сверхвысокая частота, КВЧ – крайне высокая частота, ГВЧ – гипервысокая частота, КМКП – крайне медленные кожные потенциалы, ЭКГ – электрокардиограмма, МКГ – магнитокардиограмма, ЭЭГ – электроэнцефалограмма, МЭГ – магнитоэнцефалограмма, МВ – миллиметровые волны, ИК – инфракрасное излучение, ОИ – оптическое излучение, Уф – ультрафиолетовое излучение, Р – рентгеновское излучение, γ – гамма излучение.

ГЛАВА I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ И ИХ ПРИРОДА

I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

I.I. Солнце как источник электромагнитного и корпускулярного излучений

Солнце является источником электромагнитного (волнового) излучения в широком диапазоне длин волн - от низкочастотных радиоволн до гамма-излучения. Основная доля излучаемой Солнцем энергии приходится, как известно, на видимый диапазон спектра. Именно эта часть излучения вносит основной вклад в ту суммарную энергию, которая поступает от Солнца на Землю и которую принято характеризовать солнечной постоянной. Интегральная светимость Солнца как звезды отличается замечательной стабильностью - ее изменения не превышают 0,I%. За время существования биосферы (около 2.10^9 лет) светимоть Солнца не подвергалась заметным изменениям.

Корпускулярное излучение Солнца не играет существенной роли в его энергетическом балансе, но имеет важное значение для проблемы солнечно-земных связей, поскольку оно является весьма изменчивым. Эти изменения (как и изменения в некоторых участках электромагнитного спектра) связаны с солнечной активностью. Прежде чем их описывать, целесообразно напомнить некоторые данные о солнечной активности. Вся совокупность явлений, которую принято называть солнечной активностью, протекает на видимой поверхности Солнца и в его атмосфере. От видимой поверхности Солнца (фотосферы) до уровня в несколько тысяч километров солнечную атмосферу называют хромосферой. Далее располагается корона, которая находится в неустойчивом состоянии и постоянно расширяется, простираясь в виде так называемого солнечного ветра далеко за пределы земной орбиты. На расстоянии от фотосферы свыше десятка солнечных радиусов корону часто называют межпланетной средой. Химический состав солнечной хромосферы и короны (солнечного ветра) - водород с небольшой примесью гелия и других элементов. Нагретый до огромной температуры (в короне - миллионы градусов) водородный газ образует плазму - электрически нейтральную смесь заряженных частиц (электронов и ионов) [I] .

Подавляющее большинство явлений солнечной активности наблюдается в центрах активности (активных областях (АО)), где обнаруживается усиление МП. Физическая сущность явлений солнечной активности - превращение энергии, накапливающейся в солнечных МП, в энергию движения газовых масс, энергию быстрых частиц и коротковолнового элек-

тромагнитного излучения. В конечном итоге процессы солнечной активности поддерживаются за счет энергии процессов, протекающих в недрах Солнца. Однако по сравнению с общей энергией, излучаемой Солнцем, энергия, связанная солнечной активностью, ничтожна, и изменение уровня солнечной активности практически не сказывается на "энергоснабжении" Земли.

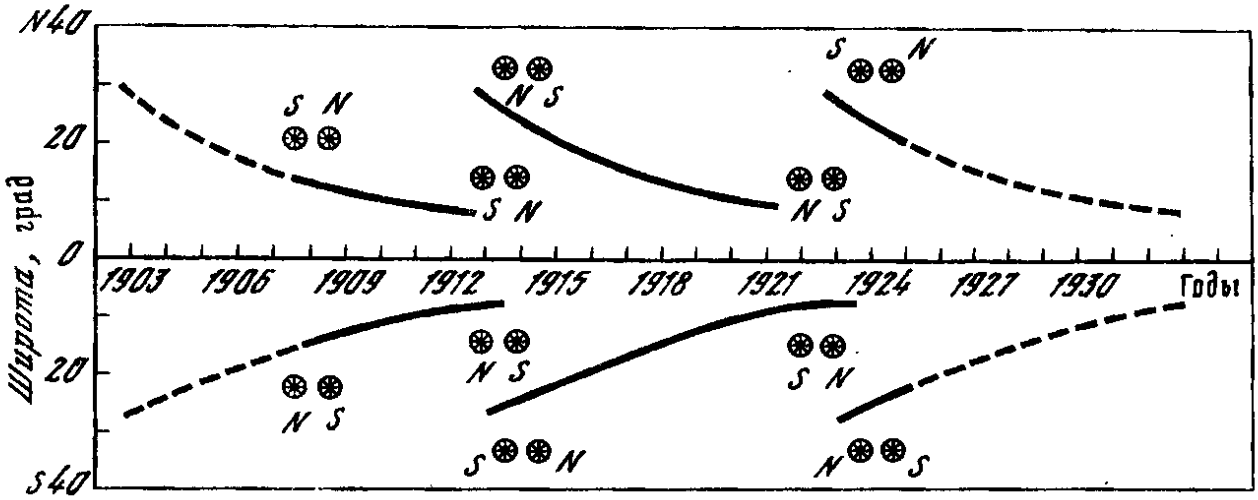
Наиболее легко наблюдаемое явление в АО - пятна. Они кажутся темными на фоне фотосферы, так как температура газа в пределах пятна ниже фотосферной температуры, что является следствием наличия в пятнах больших МП (вплоть до нескольких долей теслы). Пятна часто наблюдаются группами. Обычно нетрудно выделить в пределах группы области северной и южной полярностей МП, причем одна полярность приходится на ведущее (западное) пятно, а другая - на хвостовое (восточное). В простейшем варианте МП пятен в АО эквивалентно магнитному диполю, ориентированному вдоль параллели. По пятнам нетрудно исследовать вращение Солнца. Для земного наблюдателя период вращения экваториальной зоны Солнца ($\pm$ 10^0 гелиошироты) составляет 27 сут. Для более высоких широт период увеличивается, так как Солнце вращается не как твердое тело.

Корона над группой пятен активной области имеет более высокую плотность и является источником дополнительного излучения в коротковолновом и радиодиапазонах. Когда АО наблюдается на краю солнечного диска, можно видеть протуберанцы - жгуты плазмы, "висящие" на силовых линиях магнитного поля высоко в короне. На диске Солнца в свете линии H_α протуберанцы выглядят темными волокнами.

АО возникают как участки фотосферы, где МП усиливается. Одновременно возникают факелы. Затем появляются пятна, площадь которых постепенно увеличивается. По истечении некоторого времени пятна уменьшаются, дробятся, АО деградирует и наконец постепенно исчезает [2, 3]. Большинство АО проходит весь путь развития за интервал времени, меньший одного оборота Солнца (27 сут). Однако нередки случаи, когда АО наблюдается многие месяцы.

Наиболее важный процесс в изменении АО - хромосферные вспышки. Это взрывоподобное выделение энергии в виде тепла, излучения и ускоренных частиц (космические лучи), сопровождающееся выбросом облака плазмы. Яркость вспышки за несколько минут достигает максимума, а затем начинает постепенно спадать. В зависимости от мощности явления[I] вспышке приписывают определенный балл. Самые слабые эффекты обозначаются в каталогах как „ sf " (субвспышка малой яркости). Далее по возрастающей идут баллы I и 2 (при них индексы f, n (нормальная) и b (яркая)). Мощным вспышкам приписывается балл 3. Балл 4 соответствует событиям исключительной мощности. В достаточно

[I] Мощность характеризуется величиной площади свечения, его яркостью и продолжительностью.



Р и с. I. Схема изменения магнитных полярностей пятен в 22-летнем цикле солнечной активности

развитой АО слабые вспышки могут наблюдаться очень часто - иногда каждые несколько минут, мощные (балла 3) случаются лишь несколько раз за весь период жизни области. АО значительно различаются по уровню вспышечной активнооти [4]. Число АО, наблюдаемых на диске в среднем за год, подвержено, как известно, циклическим изменениям с периодом, близким к II годам, и пропорционально относительному числу пятен и числам Вольфа. Соответствующий цифровой материал и подробное описание многих закономерностей, обнаруженных при изучении циклических вариаций активности, можно найти, например, в работах [5, 6].

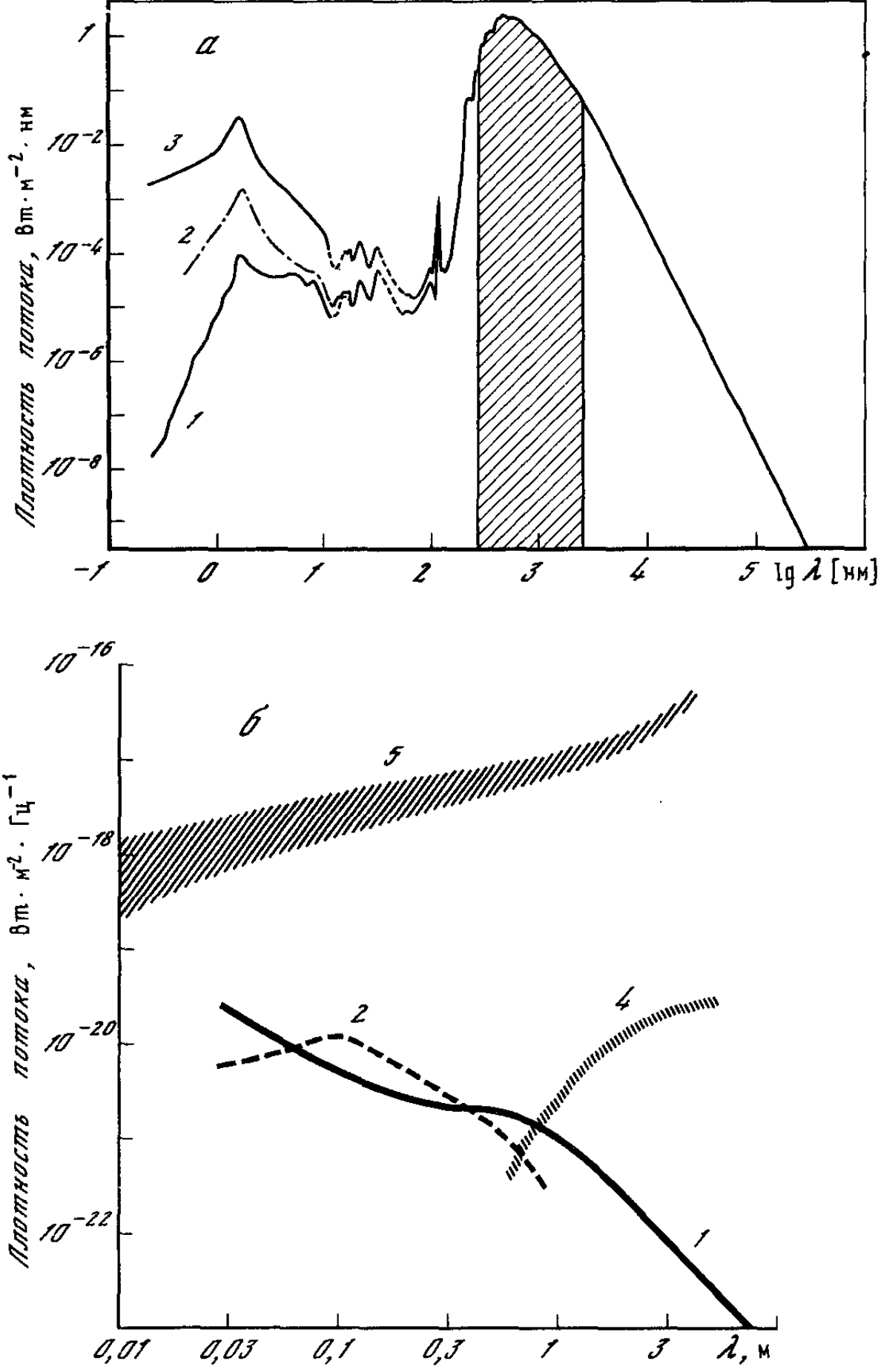
В результате исследования магнитных полей солнечных пятен выяснено, что основным периодом циклических изменений следует считать не II-, а 22-летний период, что связано с закономерностью изменений магнитных полярностей пятен. Смысл этой закономерности можно уяснить из рис.I. В начале цикла пятна располагаются по обе стороны экватора на широте около 30°. С приближением к максимуму и на опаде активности они систематически "сползают" к широте $\pm$ 10°. Ведущее пятно биполярной группы имеет в северном и южном полушариях противоположные полярности, причем в начале первой половины 22-летнего цикла ведущее (западное) пятно активной области (например, в северном полушарии) имеет южную полярность. К концу первого II-летнего цикла АО смещается к экватору, полярность пятен не меняется до начала следующего II-летнего цикла. В новом II-летнем цикле знак полярности пятен меняется в каждом полушарии на обратный. Весьма слабое общее МП Солнца также меняет свою полярность в каждом II-летнем цикле. Смена полярности общего поля Солнца обычно происходит близ максимума активности. Итак, полная продолжительность цикла солнечной активности составляет 22 года и включает два II-летних цикла (четный плюс нечетный). В изменении солнечной активности обнаруживаются и другие периоды, так что в целом получается картина целого набора периодов (циклов).

Еще раз подчеркнем, что изменения уровня активности Солнца не являются строго периодическими. Более того, некоторые из гармоник солнечной цикличности иногда не обнаруживаются. Это касается даже II-летнего цикла. Найдено, например, что пятна практически полностью отсутствовали всю вторую половину XVII в. (1645-1715 гг., так называемый маундеровский минимум) [7].

На рис.2 приведены спектры электромагнитной радиации Солнца за пределами земной атмосферы от инфракрасного излучения до жесткого рентгеновского в периоды минимума II-летнего цикла солнечной активности максимума ее и в период развития мощной вспышки (балла 3 b). Из графиков следует, что оптическое (включая видимое) излучение (290-700 нм) не изменяется при переходе от максимума к минимуму активности. Однако в области мягкого рентгеновского излучения величина потока меняется в несколько раз, причем амплитуда вариаций растет с уменьшением длины волны. Максимальные потоки коротковолнового излучения зафиксированы во время развития гигантских хромосферных вспышек. В период развития таких вспышек Солнце становится источником гамма-излучения (с энергией квантов до нескольких мегаэлектронвольт) . Большие изменения в коротковолновой части спектра от минимума к максимуму активности связаны о изменениями числа АО. Протекающие в них процессы и приводят к появлению дополнительного потока излучения.

На рис.2,а показана также область прозрачности атмосферы (заштрихована). Видно, что атмосфера пропускает сравнительно узкую часть спектра, именно этот участок длин волн - оптическое окно прозрачности атмосферы - организмы и воспринимают как свет. Излучение с длиной волны короче 290 нм, обладающее высокой биологической эффективностью (в больших дозах губительное для всех организмов), полностью поглощается атмосферой и земной поверхности не достигает. Поскольку именно коротковолновая область спектра подвергается изменениям в связи с вариациями солнечной активности, можно сказать,что поверхности Земли достигает только та часть излучения, которая от солнечной активности практически не зависит.

Поглощение коротковолнового излучения приводит к ионизации атомов верхней атмосферы и к появлению в ней слоев высокой электрической проводимости - ионосферы [8], которая играет важную роль во многих электромагнитных процессах на Земле. Следует отметить, что ионосфера является эффективным экраном для радиоволн космического происхождения в широком диапазоне частот: космическое радиоизлучение поглощается в ионосфере приблизительно от 10 МГц вплоть до очень низких частот 5 Гц. Излучение в области частот от 10 МГц (длина волны 30 м) до 37000 МГц (длина волны 0,8 мм) проникает до поверхности Земли. В этом диапазоне проводятся радиоастрономические наблюдения, в том числе и радионаблюдения Солнца (радиоастрономическое "окно прозрачности").



Р и с. 2. Схематизированный спектр электромагнитного излучения Солнца за пределами земной атмосферы (а) и спектр радиоизлучения Солнца в радиоастрономическом "окне прозрачности"(б)

I – минимум солнечной активнооти (спокойное Солнце), 2 – максимум солнечной активности, 3 – вспышка балла 3 *в*, 4 – магнитная буря, 5 – мощные радиовсплески

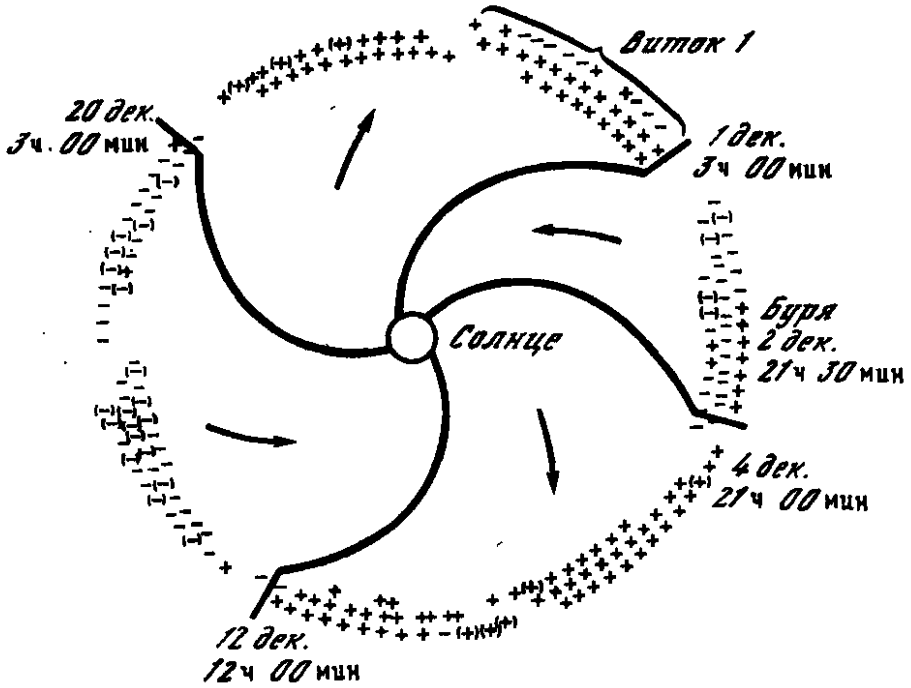
Изменения интенсивности солнечного радиоизлучения в пределах этого окна в связи с вариациями солнечной активности показаны на рис. 2,б , который является продолжением рис.2,а в сторону увеличения длин волн (самое большое значение потока на рис.2,б приблизительно в миллион раз меньше потока видимого излучения, показанного на рис. 2,а). Наиболее мощные возрастания интенсивности радиоизлучения Солнца (большие радиовсплески) совпадают с развитием гигантских хромосферных вспышек. Длительность радиовсплеска на метровых волнах, связанного со вспышкой балла 3, составляет несколько часов.

Другой весьма распространенный тип возмущения в радиодиапазоне - шумовые бури, источником которых являются некоторые АО с пятнами большой площади. Это излучение с длиной волны более I м может продолжаться несколько суток. Очень большие изменения потока солнечного радиоизлучения происходят на еще более низких частотах. Однако это излучение уже находится вне "окна прозрачности", оно поглощается в ионосфере и не может регистрироваться на земной поверхности. О нем стало известно только после того, как радиоастрономические наблюдения на низких частотах стали проводиться на спутниках выше ионосферы.

Итак, атмосфера надежно экранирует биосферу от большей части электромагнитного иэлучения: до поверхности Земли доходит лишь узкая полоса в области ближнего ультрафиолетового, видимого и ближнего инфракрасного излучений (не зависящих от изменений солнечной активности), а также часть радиоизлучения (зависящего от солнечной активности, но имеющего очень малую интенсивность).

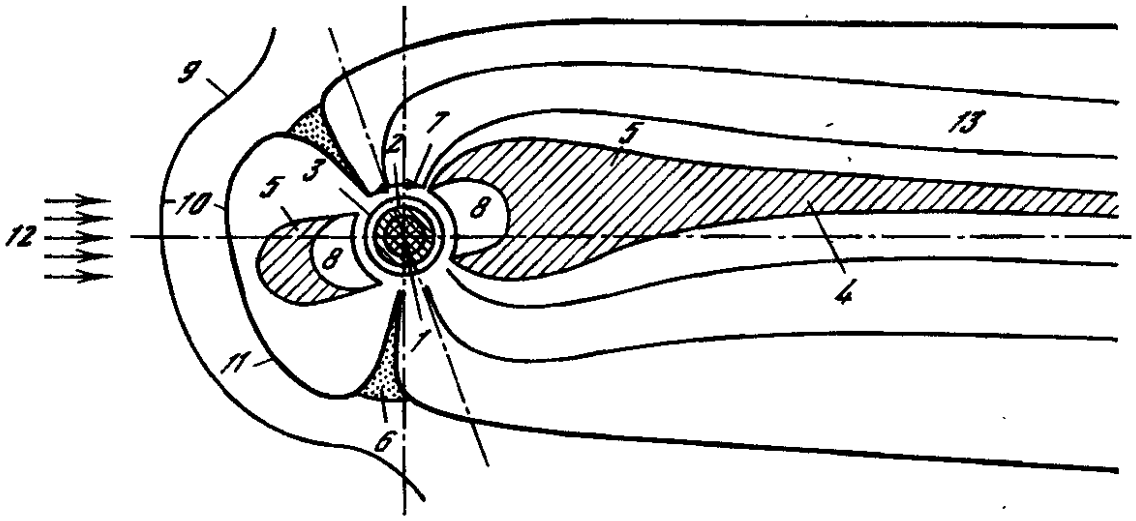
В отличие от электромагнитного корпускулярное излучение Солнца тесно связано с циклическими вариациями солнечной активности. Связь эта является довольно сложной. На орбите Земли плотность плазмы очень мала - около I0 ионов водорода в I $см^3$ - так называемый спокойный солнечный ветер. Важно, что плазма несет с собой МП солнечного происхождения: распространяясь, ветер увлекает МП солнечной короны, вытягивая его силовые линии. Индукция этого поля близ орбиты Земли невелика - всего около 4 нТл. Если смотреть со стороны северного полюса Солнца на плоскость гелиоэкватора, конфигурация силовых линий МП солнечного ветра имеет вид архимедовой спирали (рис.3). Такую форму линий понять нетрудно: пока ветер, переносящий поле, преодолеет расстояние Солнце-Земля, что требует около 4,5 сут ,Солнце успеет повернуться на угол около 60°.

В определенных интервалах гелиодолгот силовые линии поля направлены либо от Солнца (знак "+"), либо к Солнцу (знак "-"), образуя секторы МП определенной полярности (см.рис.3). Эта секторная структура довольно устойчива - при низкой или умеренной активности она может оставаться неизменной многие месяцы, повторяясь по отношению к наземному наблюдателю через каждые 27 сут. Секторная структура МП солнечного ветра является "продолжением" соответствующей структуры



Р и с. 3. Типичная для периода солнечной активности конфигурация силовых линий межпланетного магнитного поля в плоскости солнечного экватора

Знаками "+" и "–" показано направление поля от Солнца и к Солнцу соответственно; жирные линии – границы секторов, стрелки – преимущественные направления поля в пределах сектора



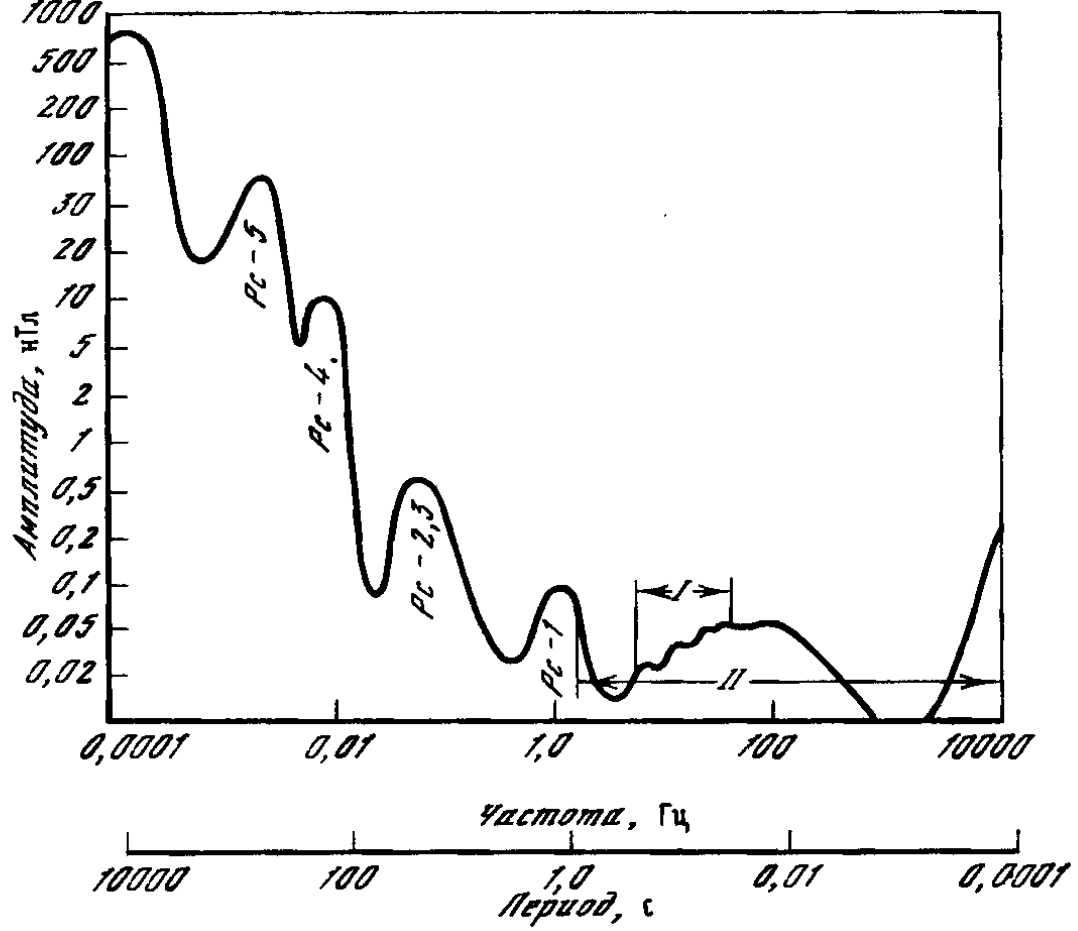
Р и с. 4. Схематическое строение магнитосферы в плоскости, проходящей через магнитные полюсы Земли и линию Солнце–Земля

I – ядро Земли, 2 – магнитоактивный слой земной коры, 3 – ионосфера, 4 – плазменный слой, 5 – кольцевой ток, 6 – касп, 7 – полярная шапка, 8 – плазмосфера, 9 – фронт ударной волны, I0 – переходный слой, II – граница магнитосферы (магнитопауза), I2 – солнечный ветер, I3 – хвост. Области токов заштрихованы

крупномасштабных ММП Солнца. Для земного наблюдателя прохождение границы сектора (смена знака ММП) через центральный меридиан Солнца (что может быть зафиксировано оптическими методами) сопровождается прохождением границы ММП у Земли опустя 4,5 сут. Этот интервал времени соответствует времени "транспортировки" силовых линий ветром от Солнца к Земле со скоростью 400 км/с. На границах между секторами параметры СВ и ММП окачкообразно меняются. Обычно наблюдается либо четыре сектора (смена знака поля для земного наблюдателя через 6–7 сут), либо два сектора (знак поля меняется через I3–I4 сут). Знак ММП (и соответственно границы между секторами) может быть определен из анализа геомагнитных измерений в полярных областях Земли [9] . Прохождение секторной границы близ Земли сопровождается характерными изменениями в индексах магнитной возмущенноти, напряженности ГМП, циркуляции нижней атмосферы на средних широтах и даже в грозовой активности.

Земное ММП является препятствием для солнечного ветра. Картина обтекания ветром этого препятствия напоминает то, что наблюдается при движении сверхзвукового самолета в атмосфере. Перед препятствием возникает ударная волна, за фронтом которой образуется полость – магнитосфера (рис.4). Границу магнитосферы – магнитопаузу отделяет от фронта ударной волны переходный олой. Солнечный ветер непосредственно в магнитосферу не проникает. С полуденной стороны граница магнитосферы располагается на расстоянии 7–I0 радиусов Земли от ее поверхности. С ночной стороны "сдуваемые" ветром силовые линии ГМП образуют хвост (магнитосферный шлейф), простирающийся далеко за орбиту Луны. Магнитосфера заполнена разреженным ионизованным газом (плазмой). Это отчасти "просочившийся" в полость солнечный ветер, отчасти – следы земной атмосферы. Нижняя область окружающей Землю плазмосферы переходит в ионосферу. Небольшая доля частиц плазмы СВ, попавших в магнитосферу, ускорена до энергий, близких к энергиям космических лучей, и образует пояса радиации. Эти околоземные космические лучи "заперты" в гигантской магнитной ловушке, образованной силовыми линиями ГМП (более подробно см., например, [I0]).

Таким образом, ГМП не позволяет оолнечному ветру приблизиться непосредственно к поверхности Земли. Но сама магнитосфера (с магнитосферным шлейфом и плазмосферой) под воздействием ветра оказывается источником электромагнитного излучения низкой и инфранизкой частоты. В области инфранизких частот ($f < 5$ Гц) ионосфера вновь станевится прозрачной для ЭМП, которое может регистрироваться на земной поверхности (рис.5). Колебания инфранизкой частоты обычно наблюдаются как микропульсации ГМП – чувствительные индикаторы процессов, протекающих в ближнем космосе, их параметры тесно коррелируют с солнечной активностью. Например, во многих микропульсациях отчетливо прослеживается II-летний цикл солнечной активности и его гармоники. Существенные изменения наблюдаются в отдельных частотных полосах микро-



Р и с. 5. Участок спектра естественных электромагнитных шумов в диапазоне инфранизких частот [10]. Обозначены основные типы микропульсаций ГМП; I – область резонанса в полости, II –область атмосфериков

пульсаций при прохождении близ Земли секторных границ ММП [11]. Особенно сильные возмущения в диапазоне микропульсаций фиксируются после хромосферных вспышек на Солнце. Вспышку в солнечной атмосфере можно уподобить точечному взрыву. В результате взрыва в межпланетное пространство выбрасывается с большой скоростью облако плазмы, которое при движении по спокойному СВ порождает ударную волну. Ударная волна и плазменное облако достигают орбиты Земли и обрушиваются на магнитосферу обычно спустя 40-50 ч после наблюдения оптической вспышки, вызывая магнитную бурю и бурю в микропульсациях.

Со вспышками тесно связан еще один вид корпускулярного излучения Солнца – солнечные космические лучи (см.п.I.3 наст.гл.) – ядра различных химических элементов, в основном – водорода (протоны), движущиеся со скоростью, близкой к скорости света. Естественный "ускоритель" работает в "импульсном режиме": за несколько минут начальной фазы развития вспышки в межпланетное проотранство из Солнца выбрасываются пучок частиц. Для частиц космических лучей межпланетная среда является средой рассеивающей ("мутной"). Рассеивающими элементами в ней служат нерегулярности ММП: опиральные силовые линии МП, описанные выше, как бы подернуты "рябью". Это является одной

из причин того, что даже наиболее энергичные частицы от вспышек попадают на Землю не за 8 мин (как электромагнитное излучение), а спустя 2–4 ч.

Итак, основной вид корпускулярного излучения Солнца – солнечный ветер. Магнитосфера не позволяет солнечному ветру приблизиться к Земле ближе, чем на 7–10 земных радиусов. В магнитосфере энергия СВ частично трансформируется в электромагнитное излучение низких и инфранизких частот, которое проникает до поверхности Земли, где регистрируется как микропульсации ГМП. Второй вид корпускулярного излучения Солнца – солнечные космические лучи – в подавляющем большинстве случаев поглощаются в полярных шапках и поверхности Земли не достигают. Защитные оболочки Земли эффективно экранируют среду обитания человека от наиболее изменчивых составляющих солнечного излучения – электромагнитных и корпускулярных. Но от инфранизкочастотного излучения самой протяженной оболочки Земли – магнитосферы – биосфера не защищена.

Литература

1. Франк-Каменецкий Д.А. Плазма – четвертое состояние вещества. М.: Госатомиздат, 1963, 283 с.
2. Брандт Дж., Ходж П. Астрофизика солнечной системы. М.: Мир, 1967. 488 с.
3. Солнце/Под ред. Койпера Дж.; Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. 609 с.
4. Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. М.; Мир, 1966. 426 с.
5. Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973. 257 с.
6. Waldmeier M. The sunspot activity in the years 1610–1960. Zürich, 1961. 172 p.
7. Эдди Дж. История об исчезнувших солнечных пятнах. – УФН, 1978, т.125, №2, с.315–329.
8. Физика верхней атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 406 с.
9. Мансуров С.М., Маноурова Л.Г. Секторная структура межпланетного магнитного поля в период МГГ и МГС. – Геомагнетизм и аэрономия, 1973, т.13, № 5, с.794–800.
10. Акасофу С.-И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1974. Ч.1. 384 с. 1975. Ч.2, 512 с.
11. Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. Ч.1. 270 с.; Ч.2. 219 с.

I.2. Солнечная активность и циркуляционные процессы в тропосфере

В последнее время становится все более очевидным, что явления на Солнце оказывают определенное влияние на погодные процессы в нижней атмосфере (тропосфере), хотя механизм связи остается неизвеотным. Возможно, существует несколько таких механизмов, так что общая картина реакции тропосферы на солнечное воздействие, несомненно, очень сложна.

Поскольку нет общепризнанного мнения о характере космического агента, влияющего на атмосферные процессы у поверхности Земли, исследователи пытаются найти связь изменений метеорологических элементов как с электромагнитным, так и с корпускулярным излучениями Солнца, а также с изменением ММП. Наиболее серьезным препятствием в отыскании таких связей является искажающая роль фоновых условий, т.е. того соотояния атмосферы, которое имело место в момент воздействия солнечной активности. Распределение метеорологических элементов неоднородно в пространстве и практически непрерывно меняется во времени. Солнечно-атмосферные эффекты развиваются, таким образом, на фоне предшествующей, часто весьма сложной, метеорологической обстановки. При этом фоновые изменения по величине в значительной степени перекрывают изменения, связанные с воздействием вариаций солнечной активности. Исключение фонового поля является поэтому одной из основных задач в проблеме солнечно-атмосферных связей.

Обычно применяются статистические методы исследования, из которых наиболее широкое распространение получил метод наложенных эпох [I] . При помощи этого метода рассматривается взаимосвязь двух временных рядов, один из которых состоит из дискретных событий солнечной активности: хромосферные вспышки, магнитные бури и т.п. Из этого ряда выбираются "ключевые даты", т.е. дни, когда данное событие произошло. Если обозначить ключевую дату через $Д_0$, то последующие за этой датой дни можно обозначить $Д_1$, $Д_2$,..., $Д_n$, а предшествующие дни - $Д_{-1}$, $Д_{-2}$,..., $Д_{-m}$. Затем для каждого дня такой последовательности выписываются соответствующие значения из ряда метеорологических наблюдений. Если, например, было выбрано k ключевых дат $Д_0$ и, следовательно, k последовательностей, то им будут соответствовать k последовательных значений метеорологического элемента. Далее для каждого дня вычисляют ореднее значение элемента. В итоге получают ряд, состоящий из средних величин метеорологического элемента, каждая из которых основана на k наблюдениях. Полагают, что при осреднении по достаточно большому числу k фоновые изменения сглаживаются и можно выделить сравнительно небольшие изменения, обусловленные воздействием вариаций оолнечной активности.

При исследовании длиннопериодных колебаний метеорологичеоких характеристик и их связи с II-летним циклом солнечной активности обычно в качестве ключевой даты берется год максимума чисел Вольфа. Однако в исследованиях кратковременных явлений такой определённости нет. Существуют различные мнения относительно того, какой из многочисленных фак-

торов солнечной активности следует считать основным. Например, Уилкокс [2] полагает, что следует использовать одну из основных крупномасштабных характеристик Солнца - секторную структуру ММП. Момент пересечения Земли границей сектора считается ключевой датой. Э.Р.Мустель [3] за основу берет "геомагнитный момент", совпадающий по времени с первым днем, когда сравнительно изолированное геомагнитное возмущение становится интенсивным. Известны работы [4], в которых ключевой датой служит момент возникновения хромосферной вспышки, дата прохождения активной области через центральный меридиан Солнца, поглощение в полярной шапке и т.д.

Многочисленные результаты, полученные методом наложенных эпох, практически не поддаются обобщению, что отмечается почти в каждом обзоре [2, 5]. В частности, пока не удалось установить начальный момент воздействия вариаций солнечной активности: реакция тропосферы на действие Солнца отмечается как до, так и после начала геомагнитной бури [4]. Это свидетельствует о том, что необходимы поиски новых путей исследования солнечно-тропосферных связей.

Наряду с применением корректных методов обработки данных не менее важен обоснованный выбор анализируемых атмосферных характеристик. Наиболее часто исследовались временные ряды средних значений давления, температуры, количества осадков. Большое внимание уделялось индексам зональной и меридиональной циркуляции, индексу площади завихренности и т.п. [2, 4, 5]. Накопленные к настоящему времени результаты дают основание сделать достаточно общий вывод, что увеличение солнечной активности может усиливать флюктуации атмосферы. Например, в работе [6] показано, что в максимумах 11-летнего цикла чисел Вольфа увеличивается повторяемость наиболее мощных высотных барических образований. Поэтому для оценки солнечно-атмосферных эффектов, по-видимому, целесообразно использовать показатели, характеризующие нестабильность атмосферных процессов. В частности, нами рассчитывалась изменчивость давления на уровне моря: дисперсия межсуточных изменений (σ^2) и межсуточная изменчивость (δP).

В 1974 г. нами была предпринята попытка использовать δP для оценки воздействия кратковременных явлений солнечной активности на погоду. Величина δP рассчитывалась по формуле

$$\delta P = \frac{\sum_1^n |\Delta P|}{n} ,$$

где $|\Delta P|$ - абсолютное значение межсуточного изменения давления в фиксированной точке пространства, n - количество точек.

В данном случае сглаживание фоновых изменений давления достигалось за счёт осреднения по площади. Здесь важен выбор оптимального пространственного масштаба. Возможно в принципе следует использовать глобальную сеть станций. В качестве первого шага нами рассмотрен сравни-

тельно небольшой район. Был выбран сектор, ограниченный меридианами 70° з.д. на западе, 180° в.д. на востоке и параллелью 45° с.ш. на юге. Количество использованных станций n = 150.

Расчеты δP выполнены для 10 случаев наиболее сильных геомагнитных возмущений, относящихся к периоду ноябрь-февраль 1949-1971 гг. Критериями при отборе случаев являлись значительная интенсивность возмущения (индекс геомагнитной активности $K_p > 7$) и наличие спокойной геомагнитной обстановки в течение 10 дней до начала и нескольких дней после окончания геомагнитного возмущения.

Рассматривались три уровня: поверхность Земли, изобарические поверхности 500 мбар (средняя тропосфера) и 100 мбар (нижняя стратосфера). Данные о давлении P на уровне моря и высоте изобарических поверхностей H_n выписывались с карт погоды ГМЦ СССР за 00 ч всемирного времени.

Временной ход δP и δH_n для всех случаев оказался примерно аналогичным. В табл.1 приведены величины межсуточной изменчивости давления на уровне моря и высот изобарических поверхноотей 500 и 100 мбар, осредненные методом наложенных эпох по данным 10 случаев. В качестве меры геомагнитной активности использован планетарный геомагнитный индекс A_p, R - число солнечных пятен (по Цюриху), F - радиоизлучение Солнца на волне 10,7 см.

Как видно из данных таблицы, изменчивость давления и геопотенциала неоднородна в течение рассматриваемого 15-дневного интервала времени. Основной максимум изменчивости давления совпадает по времени с увеличением значений как солнечных (R, F), так и геомагнитных (A_p) индексов. Таким образом, даже при использовании данных на ограниченной территории удается обнаружить реакцию нижней атмосферы на солнечное воздействие.

Полученные результаты, подтвержденные затем в [7], показали, что есть все основания для постановки более глубокого исследования временных и пространственных закономерностей изменчивости метеорологических полей в проблеме солнечно-атмосферных связей.

В связи с этим нами была поставлена задача проанализировать длиннопериодные колебания давления с использованием большого массива данных. Исходным материалом послужили ежедневные значения давления на уровне моря (срок наблюдений - 12 ч всемирного времени) в узлах географической сетки северного полушария, в интервале широт 20 -85° с.ш., с шагом 5° по широте и долготе за период 1934-1975гг. [8].

Раочеты проводились на ЭВМ ЕС-1040. Вычислялась дисперсия межсуточного изменения давления (σ^2) эа холодное полугодие (ноябрь - апрель). Значения σ^2 рассчитывались в каждом уэле сетки. Кроме того, оценивались крупномасштабные характеристики. С этой целью северное полушарие было разграничено меридианами 0, 60, 120, 180, 240, 300° в.д. на 6 секторов. Значения σ^2 оценивались по данным в 12 узлах сетки вдоль каждого круга широты с шагом 5°. В итоге получено 6 меридиональных разрезов. В данной статье мы приведем результаты анализа временных рядов σ^2

Таблица I.

Межсуточная изменчивость наземного давления (δP) и высот изобарических поверхностей 500 (δH_{500}) и I00 мбар (δH_{I00})

Характеристика	$Д_{-6}$	$Д_{-5}$	$Д_{-4}$	$Д_{-3}$	$Д_{-2}$	$Д_{-I}$	$Д_0$	$Д_I$	$Д_2$	$Д_3$	$Д_4$	$Д_5$	$Д_6$	$Д_7$	$Д_8$
A_p, нТл	I2	I0	9	7	7	7	7I	59	42	28	22	I4	I2	8	I0
$P, I0^{-22}$ Вт/(м^2·Гц)	I55	I60	I60	I58	I6I	I6I	I6I	I57	I55	I50	I47	I45	I44	I39	I36
R	I03	I08	II2	II3	II5	II7	II9	II9	II0	I03	98	92	89	92	90
δP, мбар/сут	7,0	6,4	7,0	7,3	7,5	8,4	8,2	7,6	7,4	7,3	6,7	7,2	7,0	6,7	6,7
δH_{500}	6,5	6,6	6,7	7,0	7,0	7,8	8,2	7,7	7,4	7,4	6,8	7,3	7,I	6,4	6,3
δH_{I00}	6,I	6,0	6,0	6,2	5,9	6,7	6,8	6,0	5,8	5,8	9,7	6,2	5,4	6,0	6,0

Примечание. Значения δH_{500} и δH_{I00} даны в геопотенциальных декаметрах.

над Азией (сектор 60-II5° в.д.), где широтные закономерности в длиннопериодных колебаниях σ^2 выражены наиболее четко.

При численной обработке временных рядов σ^2 использован традиционный метод спектрального анализа. Случайный процесс предполагался стационарным, обладающим эргодическим свойством. По данным временных рядов σ^2 рассчитывалась нормированная корреляционная функция. Спектральная плотность случайного процесса определялась как преобразование Фурье от соответствующей корреляционной функции. Для сглаживания корреляционной функции использовалась простейшая весовая функция Бартлетта $\lambda(\tau)$:

$$\lambda(\tau) = \begin{cases} 1 \text{ при } |\tau| \leq \tau_m, \\ 0 \text{ при } |\tau| > \tau_m, \end{cases}$$

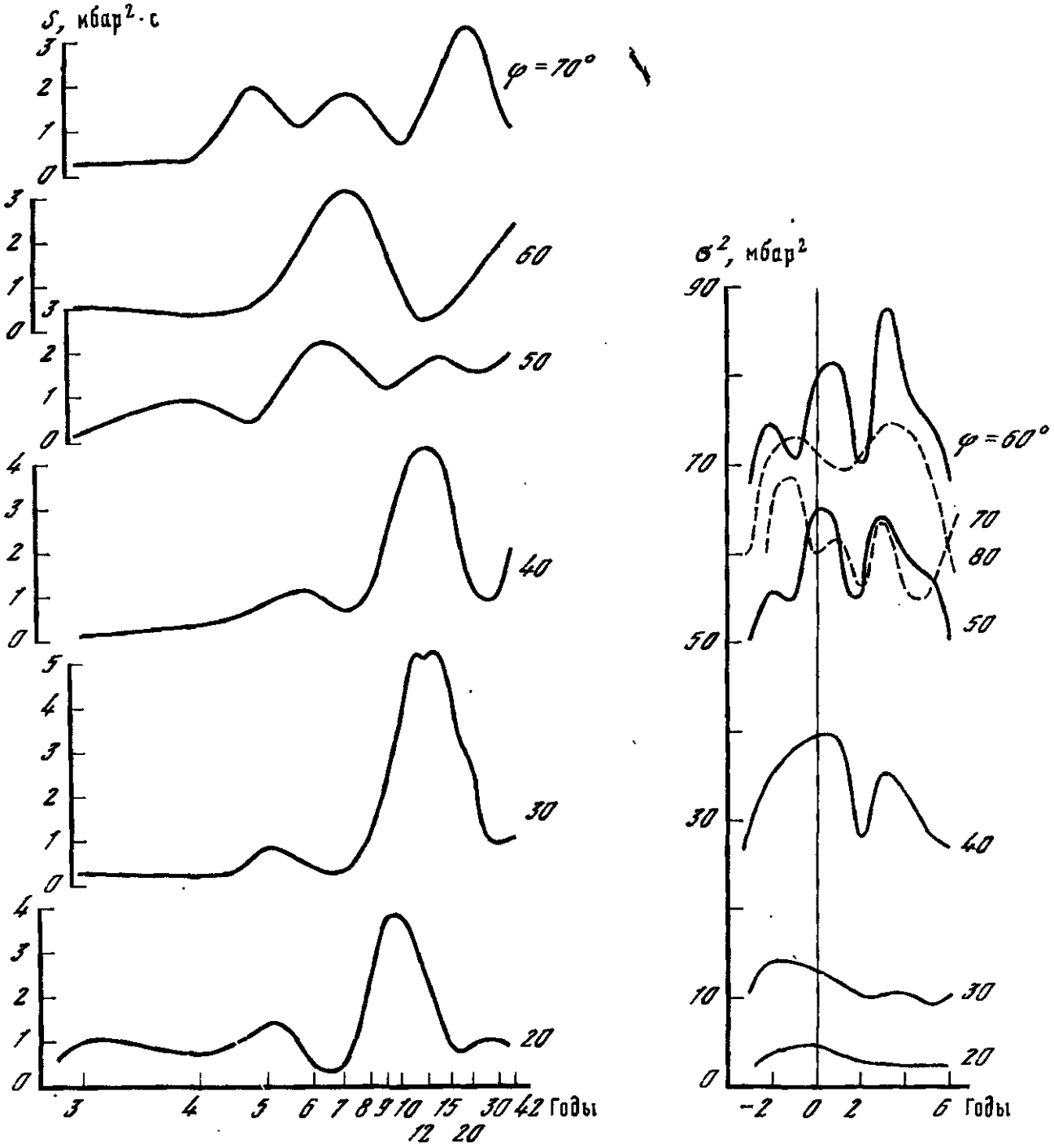
где τ_m – точка среза корреляционной функции.

Проведен числовой анализ влияния величины τ_m на оценку спектральной плотности. Анализ показал, что при изменении τ_m в пределах 10 – 20 лет (длина временного ряда равна 42 годам) основные закономерности спектров сохраняются. Мы остановились на τ_m = 15 лет. Статистическая значимость пиков спектральной плотности оценивалась для 5%-ных (низкие широты) и 10%-ных (оредние широты) уровней значимости.

Результаты спектрального анализа временных рядов σ^2 приведены на рис.6. Как следует из рисунка, на низких широтах (20 – 40° с.ш.) выделяется значимый максимум спектральной плотности, соответствующий периоду около 11 лет. Раосмотрение всего интервала широт ясно показывает переход спектральной картины от 11-летней периодичности на низких широтах к совершенно иному характеру спектров на средних широтах, где 11-летний период проявляется слабо и не является отатистически значимым (50° с.ш.) или совсем не выражен (60° с.ш.). На средних широтах основными являются колебания с периодами 6 – 8 лет. На широте 70° с.ш. значимых периодов не имеется.

Временные ряды σ^2 были также проанализированы методом наложенных эпох. Средние циклические кривые σ^2, построенные по данным 4-х циклов (1934 – 1975 гг.), представлены на рис.7. В качестве ключевой даты выбран год максимума чисел Вольфа.

Данные рис.7 ясно показывают рост σ^2 с увеличением широты; атмосферные процессы наиболее изменчивы на средних широтах (60° с.ш.). Характерной особенностью средних циклических кривых является наличие двух пиков активности атмосферных процессов: один из них соответствует максимуму чисел Вольфа, а другой наблюдается на фазе спада цикла солнечной активности. Примечательно, что максимум σ^2, наблюдающийся на фазе спада цикла, растет с увеличением широты и на средних широтах сравним (50° с.ш.) или несколько выше (60° о.ш.) основного максимума σ^2, соответствующего максимуму чисел Вольфа, тогда как на низких широтах картина обратная. Эта закономерность нарушается на более высоких широтах (70°, 80° с.ш.).



Р и с. 6. Спектральная плотность S дисперсии межсуточных изменений давления в различных широтных зонах φ в I934-I975 гг.

Р и с. 7. Средние циклические кривые дисперсии σ^2 межсуточной разности давления в I934-I975 гг. (О - ключевая дата)

Коэффициент линейной корреляции временных рядов σ^2 и среднегодовых чисел Вольфа имеет наибольшее значение на низких широтах (около 0,5), на средних широтах он близок к 0. Корреляционная связь временных рядов σ^2 и среднегодовых значений индекса геомагнитной активности A_p практически отсутствует во всём рассмотренном интервале широт.

Таким образом, результаты опектрально-корреляционного анализа, а также средние циклические кривые показывают наличие четко выраженных широтных изменений в цикличности атмосферных процеосов. На низких

широтах основной является 11-летняя периодичность и слабо прослеживается период 5 – 6 лет. На средних широтах преобладающей является 6 – 8-летняя периодичность, 11-летний период выражен слабо.

Полученный результат наводит на мысль, что широтные различия спектральных кривых могут быть обусловлены различным характером передачи воздействий солнечной активности (крайнего солнечного ультрафиолета, рентгеновского и корпускулярного излучений, потоков плазмы солнечного ветра, переносимых ею магнитных полей и т.п.) из верхней атмосферы в тропосферу. Известно, что в верхней атмосфере (ионосфере) 11-летние вариации параметров (критические частоты, поглощение радиоволн) на средних и экваториальных широтах являются регулярными, т.к. в основном определяются ионизующим излучением Солнца. Состояние высокоширотной ионосферы в большой степени зависит от вторжения потоков заряженных частиц, генерируемых в околоземном космическом пространстве в процессе взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем Земли. Интенсивность и повторяемость авроральных геофизических явлений, наблюдающихся на высоких широтах в зоне аврорального овала (полярные сияния, авроральное поглощение, полярные магнитные возмущения), не обнаруживают тесной связи с 11-летним циклом чисел Вольфа, т.к. в авроральном овале важны нерегулярные изменения, связанные с корпускулярными вторжениями. Часто отмечается [9] наличие в солнечном цикле двух максимумов активности авроральных явлений: один из них возникает в максимуме чисел Вольфа, а другой – на фазе спада цикла солнечной активности, вблизи его минимума, подобно тому как в тропосфере отмечается два пика изменчивости давления. Таким образом, установленные нами широтные изменения в спектрах длиннопериодных колебаний σ^{-2}, а именно, более четкое проявление 11-летнего цикла с уменьшением широты места, соответствуют характеру циклических изменений параметров ионосферы.

Прослеживание этого (одного из возможных) пути воздействия вариаций солнечной активности на тропосферу требует сопоставлений изменений параметров верхней и нижней атмосферы. Нами пока рассмотрены спектры изменчивости давления над Азией. Предварительный анализ данных показал, что, по-видимому, имеются не только широтные, но и долготные закономерности в цикличности атмосферных процессов. Следовательно, для более глубокого совместного анализа периодов максимальной активности процессов в верхней и нижней атмосфере необходимо иметь пространственную картину спектров в масштабе полушария.

В заключение отметим, что дальнейший поиск наиболее информативных атмосферных характеристик является одним из важных вопросов статистического анализа солнечно-тропосферных связей. Опыт проведенной работы показал, что целесообразнее пользоваться не средними значениями метеорологических характеристик, а параметрами, характеризующими интенсивность развития атмосферных процессов. В частности, нами показано, что с увеличением солнечной активности растёт изменчивость давления, т.е. атмосферные процессы активизируются.

Наиболее существенным с нашей точки зрения реэультатом является установление широтных закономерностей в длиннопериодных колебаниях иэменчивости давления. Как известно, отсутствие II-летнего цикла в спектрах колебаний метеорологических элементов иногда служит поводом для отрицания влияния вариаций солнечной активности на погоду. Следует, однако, учесть, что солнечная активность - явление сложное. Числа Вольфа являются лишь одним из целого ряда индексов, каждый из которых характеризует только часть сложной картины солнечной или геомагнитной активности. Различные проявления солнечной активности обнаруживают II-летнюю периодичность, но не всегда их максимумы совпадают с максимумом пятнообразования. Поэтому нет оснований ожидать наличия четко выраженного II-летнего цикла во всех географических районах. Согласно нашим данным, II-летний цикл хорошо проявляется в колебаниях изменчивости давления исключительно на низких широтах. По мере приближения к зоне аврорального овала, где основными являются нерегулярные изменения, связанные с корпускулярными вторжениями, цикличность атмосферных процессов приобретает более сложный характер. Для раскрытия физической природы цикличности атмосферных процессов важно оценить спектры давления за другие интервалы времени с менее высокими, чем в I934 - I975гг., макоимумами чисел Вольфа (отметим, что в I957 - I958 гг. отмечен абсолютный максимум чисел Вольфа за весь период наблюдений с I749г.).

Литература

I. Пановский Г.А.,Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Л.; Гидрометеоиздат, I972. 207 с.

2. Wilcox J. M. Solar activity and the weather. - J. Atoms. and Terr. Phys., 1975, vol. 37, N 2, p.237-256.

3. Мустель Э.Р. Современное состояние вопроса о реальности корпускулярно-атмосферных связей.- В кн.: Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоиздат, I974. с.7-I8.

4. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеоиздат, I976. 350 с.

5. King J.W. Sun-weather relationships. - Aeronautics and Astronautics, 1975, vol.13, N4, p.10-19.

6. Сазонов Б.И. Высотные барические образования и солнечная активность. Л.: Гидрометеоиздат, I964. I30 с.

7. Ugarova K.F. The estimate of the intensification of the atmospheric circulation during the periods of high solar activity. - In : IAGA, IAMA Joint Assembly: Abstracts, USA, 1977, p. 56.

8. Ежедневные значения давления на уровне моря в узлах регулярной сети по северному полушарию, январь I899 - декабрь I972. Обнинск : ВНИИГМИ МЦД, I977.

9. Оль А.И. Циклические изменения авроральных явлений. - В кн.: Высокоширотные геофизические явления. Л.: Наука, I974. с. 7-2I.

I.3. Вариации космических лучей в биосфере

Биосфера зародилась, развивалась и продолжает эволюционировать в условиях постоянно действующего фона ионизирующих излучений. Этот фон создается в основном за счет естественной радиоактивности почвы, Мирового океана и атмосферы; некоторый вклад вносят также космические лучи галактического (ГКЛ) и солнечного (СКЛ) происхождения /I/.

В последние два десятилетия, когда началось активное освоение космического пространства, перед исследователями четко обозначились следующие задачи, связанные с биологическим действием космических лучей (КЛ):

I) КЛ как один из определяющих факторов мутагенеза и эволюции органического мира;

2) относительный вклад КЛ в космобиологическую ситуацию на Земле;

3) опосредованное влияние КЛ на биосферу за счет их воздействия на верхние слои атмосферы (опустошение озонного слоя, образование радиоуглерода и т.д.);

4) радиационная опасность при космических полетах;

5) учет радиационных эффектов КЛ в поисках следов жизни на других планетах, в биологическом освоении внеземных территорий и т.д. Эти вопросы частично рассмотрены в /2/; ниже приведены некоторые новые данные, касающиеся в основном первых трех задач.

I. В геологическом маоштабе времени космические лучи - один из постоянно действующих радиационных факторов внешней среды. Диапазон энергий ГКЛ весьма широк - от 10^6 до 10^{21} эВ. В потоке ГКЛ в межпланетном проотранстве преобладают протоны (около 85%), остальное - ядра гелия ($\geqslant$ I2%) и более тяжелых элементов ($\leqslant$ 2%), а также электроны ($\leqslant$ I%). Относительное содержание различных ядер остается довольно стабильным во времени, за исключением области малых энергий ($\mathcal{E} \leqslant$ I0 МэВ/нуклон), где потоки ядер тяжелее гелия зависят от уровня солнечной активности.

До поверхности Земли не доходит ни одна первичная частица (независимо от ее энергии). В земной атмосфере первичный поток ГКЛ существенно преобразуется за счет столкновений с ядрами азота, кислорода и других газов. Разрушение атомов воздуха при таких столкновениях порождает каскад вторичных частиц - протонов, нейтронов, π- и μ-мезонов, электронов и т.д. Интенсивность вторичных частиц нарастает с глубиной лавинообразно. Достигнув максимума примерно на высоте 25 км, вторичные компоненты начинают поглощаться по определенному закону по мере углубления в атмосферу. Важнейшими вторичными компонентами являются протонно-нейтронная (нуклонная) и μ-мезонная (мюонная). Последняя обладает большой проникающей способностью (вплоть до подземных глубин более I500 м водного эквивалента). В нуклонной компоненте преобладают нейтроны (> 86%), поэтому ее чаще называют нейтронной. Эта компонента чувствительна к потоку первичных частиц с энергией $\mathcal{E} = 10^9 \div 10^{10}$ эВ, а мюонная - к частицам с $\mathcal{E} > 10^{10}$ эВ.

СКЛ, источником которых являются солнечные вспышки, значительно отличаются от ГКЛ. Диапазон их энергий (10^6 – 10^{10} эВ) гораздо уже, чем у ГКЛ. В потоке СКЛ протоны обычно составляют более 90%, α – частицы – чуть меньше 10%, а доля более тяжелых ядер в отличие от ГКЛ не превышает 0,1%. Но самая отличительная особенность СКЛ – внезапность, а следовательно, непредсказуемость их появления у Земли. После мощных солнечных вспышек поток вторичных нейтронов на поверхности Земли может за полчаса возрасти на 100 – 1000% относительно невозмущенного потока, создаваемого ГКЛ, как это случилось, например, 23.II 1956 г. В начальный период поток СКЛ у Земли резко анизотропен, а после достижения максимума становится близким к изотропному. Спад интенсивности СКЛ до уровня ГКЛ может продолжаться десятки часов.

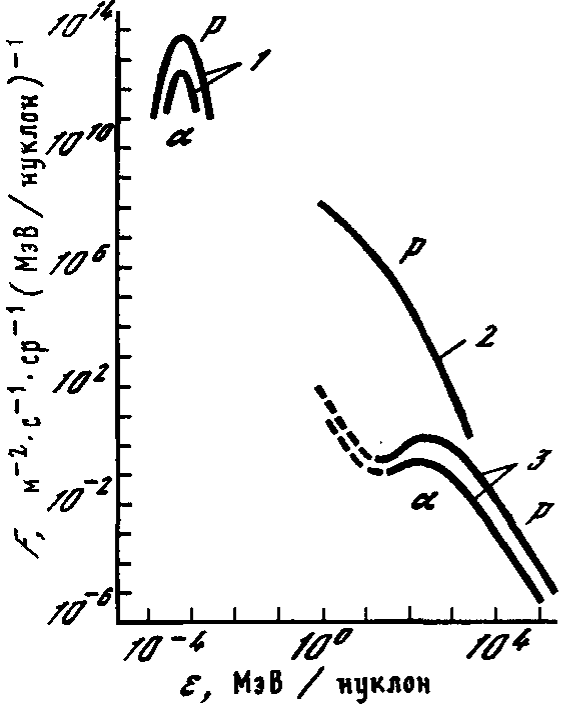
На рис.8 показано распределение по энергиям частиц различного происхождения в межпланетном пространстве [3]. Спектры протонов СКЛ (кривая 2) и ГКЛ (кривая 3) заметно различаются по интенсивности частиц и крутизне наклона. На рис.8 приведен также спектр протонов и α -частиц солнечного ветра – непрерывного потока плазмы из солнечной короны. Солнечный ветер является основным переносчиком возмущений от Солнца к Земле. От его мощности зависит, в частности, уровень возмущённости геомагнитного поля(ГМП). Магнитные поля, вмороженные в солнечный ветер, рассеивают поток космических лучей, вызывая заметные вариации их интенсивности. Таким образом, вариации солнечной активности, геомагнитной возмущенности и потока космических лучей оказываются тесно связанными между собой.

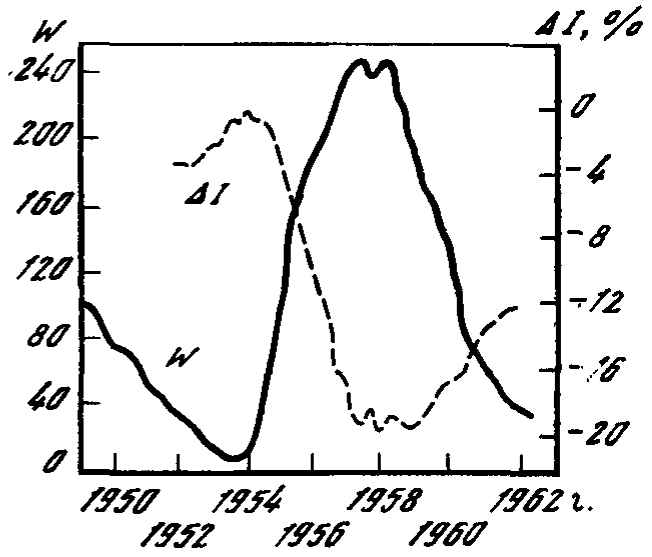
Очевидно, биосфера Земли успешно приспособилась к космическим лучам. Однако механизм приспособления далеко не очевиден, и его изучение представляет несомненный интерес для понимания эволюции и прогнозирования будущего биосферы [4, 5].

Прямых доказательств гипотезы о решающей роли ионизирующих излучений в эволюции биосферы пока нет. Более того, имеются данные об исключительных способностях адаптации некоторых живых существ к высокому уровню радиации.

В эволюционном аспекте радиационный фон на поверхности Земли зависит от частоты вспышек сверхновых звезд (основного источника ГКЛ), частоты инверсий (переполюсовок) геомагнитного поля (при "исчезновении" магнитного поля облучение Земли космическими частицами усиливается) и частоты мощных вспышек СКЛ (подробнее см. [2]).

Доза радиации на уровне моря на широте $50^{\circ}N$ в настоящее время равна $\sim 2{,}5 \cdot 10^{-4}$ Дж/(кг.год) [4]. Скорость изменения дозы за счет уменьшения геомагнитного поля при инверсии составляет примерно 0,001 % в год, тогда как за счет изменения солнечной активности в 11-летнем цикле – около 0,4 % в год. Самая мощная из вспышек СКЛ 23.II 1956 г.) вызвала на геомагнитной широте $79{,}9^{\circ}N$ возрастание





Р и с. 8. Дифференциальный энергетический спектр протонов (р) и альфа-частиц (α) в межпланетном пространстве [3]

I - солнечный ветер, 2 - протоны солнечных вспышек, 3 - галактические космические лучи

Р и с. 9. Изменение интенсивности ΔI галактических космических лучей в процентах к максимальному уровню и II-летний цикл солнечной активности (по числу пятен W) [1]

потока мюонов, эквивалентное удвоению дозы от ГКЛ за 2 ч. Соответствующее возрастание в нейтронной компоненте на геомагнитной широте $52^{\circ}N$ было эквивалентно удвоению потока нейтронов на уровне моря за 12 ч. Но даже и в этом случае доза радиации мала по сравнению с дозой от мюонов. Таким образом, вклад СКЛ в среднюю дозу на уровне моря при нулевом геомагнитном поле, согласно оценкам [4], пренебрежимо мал.

Что касается частиц радиационных поясов ($\mathcal{E} < 90$ МэВ) и солнечного ветра ($\mathcal{E} \lesssim 10^4$ эВ), то они не представляют опаоности для биосферы даже при нулевом ГМП. Не опасны в генетическом аспекте и радиоактивные изотопы, образованные в атмосфере космическими лучами (см., например, [4]).

2. Чтобы оценить биоэффективность космических лучей на коротком временном интервале, необходимо рассмотреть их относительный вклад в "коомобиологическую ситуацию" [2], создаваемую в заданной точке пространотва (в коомоое, в атмосфере, на поверхности Земли и т.д.) совокупностью всех космофизических факторов. Среди посследних отметим в первую очередь гравитационное притяжение Солнца, Земли и Луны, тепловое излучение Солнца, осевое вращение Земли (суточные ритмы геофизических параметров), движение Земли вокруг Солнца (смена се-

зонов). Не менее важное, но также опосредованное влияние космос может оказывать на биосферу через метеофакторы (давление, температуру, влажность воздуха и т.д.) и особо опасные метеоявления (ураган, наводнение, засуха и др.). Еще сложнее (и поэтому - опаснее) более "тонкие" воздействия космоса, возможные на уровне различных систем живого организма (сердечно-сосудистой, кроветворной, нервной и т.д.), за счёт излучений и электромагнитных полей космического происхождения [7].

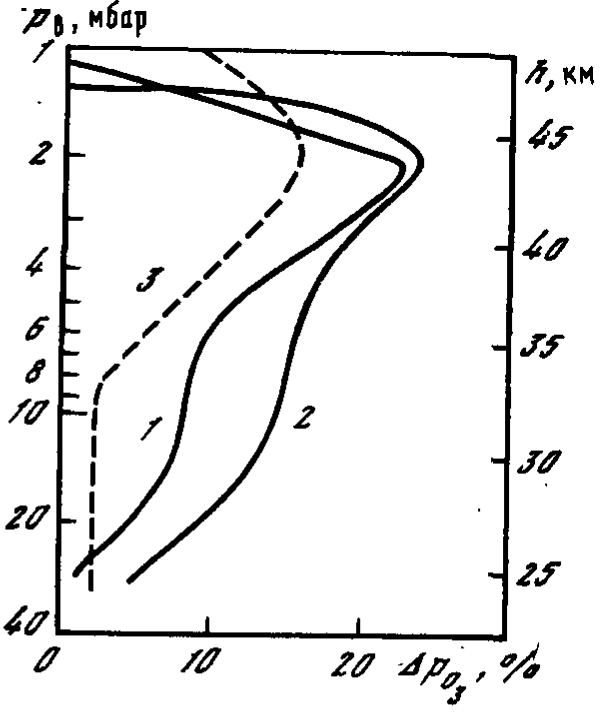
К последней группе факторов следует отнести солнечную активность (пятна, вспышки, выбросы вещества, солнечный ветер, СКЛ, электромагнитное излучение Солнца и т.д.) и ее земные проявления (геомагнитные и ионосферные возмущения, вариации космических лучей, нарушения атмосферной циркуляции и др.). Уже из этого перечня видно, насколько сложной, "многоэтажной" может быть иерархия космичеоких воздействий на биосферу. Эффект воздействия будет зависеть от того, какой из факторов вносит наибольший вклад в космобиологическую ситуацию в данный момент времени в определенной точке пространотва. Это видно, в частности, на примере космических лучей. У поверхности Земли они практически не опасны для человека, тогда как в открытом космосе существует реальная опасность облучения, оообенно во время солнечных вспышек. Относительный вклад космических лучей в космобиологическую ситуацию зависит от амплитуды вариаций их потока при изменениях солнечной активности и состояния магнитосферы и атмосферы Земли.

При усилении солнечной активности поток ГКЛ у Земли ослабевает, а при ослаблении, наоборот, - растет. Это хорошо видно на примере II-летней вариации потока ГКЛ (рис.9), которая находится в противофазе с II-летним циклом числа солнечных пятен. Амплитуда этой вариации у поверхности Земли может достигать $\sim$ 20% для мюонов и $\sim$ 30% для нейтронов. Другие вариации ГКЛ межпланетного происхождения, как правило, значительно меньше.

В геомагнитном поле происходит сепарация ГКЛ по зарядам и энергиям, начиная с энергии 20 ГэВ и меньше. Сильнее всего отклоняющее действие геомагнитного поля проявляется вблизи экватора. Поэтому вклад ГКЛ в радиационный фон у поверхности Земли минимален на экваторе и достигает максимума на геомагнитных широтах выше 60°. Вариации ГКЛ, связанные с возмущениями геомагнитного поля, невелики - не более десяти процентов.

Изменения температуры и давления атмосферы вызывают вариации потока вторичных частиц на величины порядка - (0,I - 0,2)%/$^{\circ}$C (для мюонов) и -0,7%/мбар (для нейтронов) соответственно(минус означает, что поток частиц падает (растет) при повышении (понижении) температуры или давления воздуха). Таким образом, относительный вклад вариаций ГКЛ в космобиологическую ситуацию на поверхности Земли, по-

Р и с. I0. Процентное уменьшение парциального давления озона по отношению к усредненному уровню за 7 дней, предшествовавших вспышке 4.УIII I972 г., как функция давления воздуха $p_в$ /8/ I,2 – через 8 и I9 дней после протонного события, 3 – расчетное уменьшение содержания озона спустя 28 дней после вспышки



видимому, мал. Вместе с тем нельзя пренебрегать косвенным вкладом космических лучей (особенно СКЛ) в некоторые геофизические процессы, важные для существования биосферы.

3. В работе [6] был предложен механизм косвенного воздействия СКЛ на биосферу. Ионизация, производимая в стратосфере частицами СКЛ, приводит к образованию окиси азота. Несколько мощных вспышек СКЛ в течение года могут произвести такое же количество окиси азота, какое дает главный ее источник (окисление двуокиси азота), и значительно больше того, что дают ГКЛ. При этом окись азота эффективно разрушает атмосферный озон, тем самым уменьшая надежность озонной защиты биосферы Земли от ультрафиолетового излучения Солнца. Хотя самое мощное возрастание потока СКЛ длится не более суток, время существования окиси азота в стратосфере велико, а ее воздействие на озонный слой продолжается, вероятно, несколько лет.

Эффект воздействия СКЛ на озонный слой получил первое экспериментальное подтверждение в работе [8]: во время вспышки 4.УШ I972 г. было зарегиотрировано значительное (до 25%) понижение содержания озона в полярной стратосфере в интервале широт 75–80°.

На рис.I0 хорошо видна временная динамика этого эффекта: опустошение озонного слоя, как и следовало ожидать, происходило с некоторой задержкой относительно вспышки СКЛ, а восстановление до невозмущенного состояния требовало заведомо больше месяца. В этой связи уместно заметить, что хотя наблюдаемая частота наиболее мощных вспышек не превышает I–2 случаев в год, современные гелиофизические данные не исключают возможности появления сверхмощных вспышек при экстремально высокой солнечной активности [9].

Непосредственное отношение к обсуждаемому вопросу имеют, на наш взгляд, результаты измерений [I0] прямой солнечной радиации в I966–I970 гг. В указанный период солнечная активность повышалась

от минимума 1965 г. до максимума 1969–1970 гг., что нашло отражение, в частности, в повышении частоты вторжений СКЛ в стратосферу. Авторы [10] обнаружили плавную зависимость солнечной постоянной от солнечной активности, причем амплитуда вариации не превышала 1,2%, а максимум ее достигался при среднем уровне активности (при этом были исключены антропогенные воздействия на солнечную постоянную в период 1961–1967 гг.).

Наличие зависимости солнечной постоянной от чисел Вольфа можно объяснить совместным действием СКЛ и ГКЛ. Дело в том, что воздействия СКЛ и ГКЛ разделяются как по времени (различные периоды солнечной активности), так и по высотам. Основное поглощение ГКЛ происходит на высотах 9–16 км, где находятся локальный минимум концентрации водяного пара и локальный максимум концентрации двуокиси азота. В то же время максимум поглощения СКЛ (благодаря их меньшей средней энергии по сравнению с ГКЛ) расположен на высотах 35–40 км, где находится максимум отношения концентраций двуокиси и окиси азота. В свете этих данных уменьшение солнечной постоянной при высокой солнечной активности авторы [10] приписывают эффекту вторжения СКЛ. С другой стороны, снижение солнечной постоянной при слабой активности вызвано, по-видимому, воздействием ГКЛ, интенсивность которых растет при уменьшении солнечной активности. Таким образом, космические лучи, изменяя состав атмосферы, в конечном счете активно участвуют в преобразовании солнечной радиации с длиной волны 3300 – 3500 Å (330–350 нм) в тепло (за счет "парникового эффекта", т.е. поглощения этих волн молекулами двуокиси азота и переизлучения их энергии в инфракрасном диапазоне).

Добавим к этому, что изменение полного содержания озона в атмосфере на 25% может привести, согласно некоторым оценкам [11], к изменению средней температуры на уровне моря на 1° С, т.е. на величину, достаточную для того, чтобы вызвать заметные климатические изменения. Подобную точку зрения разделяют и другие исследователи. В частности, авторы [12] в результате детального исследования влияния космических лучей на атмосферные процессы пришли к следующим выводам: 1) одним из агентов, переносящих возмущения из космоса в тропосферу, является излучение СКЛ и ГКЛ с энергией выше 10^8 эВ; 2) несмотря на малую величину энергии, вносимой в атмосферу Земли космическим лучами, они стимулируют развитие высотных циклонов, воздействуя таким способом на общую циркуляцию атмосферы, погоду и климат (подробнее о геофизических эффектах СКЛ см. обзор [13]).

Таким образом, в настоящее время имеются теоретические и экспериментальные предпосылки для комплексного анализа роли вариаций космических лучей в биологических процессах на Земле. Вопрос о возможных путях их воздействия и о механизмах адаптации организмов к космической радиации далек от окончательного решения. Эффекты, сопровождающие инверсию ГМП, по-видимому, следует рассматривать как

отдельные компоненты общего стресса окружающей среды, воздействующего на данный биологический вид. В связи с развитием гелиомагнитобиологии вопрос о причинах вымирания организмов в далеком прошлом Земли приобретает принципиальное значение. Выяснение роли космических, геологических, климатических и других возможных факторов в эволюции биосферы предоставляется весьма актуальным также для решения проблемы сохранения окружающей среды.

Литература

I. Мирошниченко Л.И. Космичеокие лучи в межпланетном пространстве. М.: Наука, I973. I58 с.

2. Мирошниченко Л.И. Биологические эффекты космических лучей. - В кн.: Мутагенез при действии физических факторов. М.: Наука, I980, с.I87-205.

3. Вернов С.Н., Логачев Ю.И., Писаренко Н.Ф. Физические характеристики межпланетного пространства. - В кн.: Основы космической биологии и медицины. М.: Наука, I975, т.I, с.47-II8.

4. Чечев В.П., Крамаровский Я.М. Радиоактивность и эволюция Вселенной. М.: Наука, I978. 207 с.

5. Степанов А.М. Эволюционный подход к определению генетически значимых доз радиации. - В кн.: Мутагенез при действии физических факторов. М.: Наука, I980, с.I76-I86.

6. Reid G.C., Isaksen I.S.A., Holzer T.E., Crutzen P.J. Influence of ancient solar proton events on the evolution of life. - Nature, 1976, vol. 259, N 5540, p.177-179.

7. Владимирский Б.М. Активные процессы на Солнце и биосфера. - Изв. АН СССР. Сер.физ., I977, т.4I, № 2, с.403-4I0.

8. Heath D.F., Krueger A.J., Crutzen P.J. Solar proton events: Influence on stratospheric ozone. - Science, 1977, vol.197, N 4306, p. 886-889.

9. Sakurai K. The nature of the solar activity and its relation to solar cosmic-ray production. - Astrophys. and Space Sci., 1979, vol.63, N 2, p.369-378.

I0. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А. Солнечная активность и климат. - Докл. АН СССР, I978, т.243, № 3, с.607-6I0.

II. Black D.I. Cosmic ray effects and faunal extinctions at geomagnetic field reversals. - Earth and Planet. Sci.Lett., 1967, vol.3, p.225-236.

I2. Loginov V.F., Sazonov B.I. Cosmic rays and tropospheric circulation. - Phys. Solariterrestris (Potsdam), 1978, N 8, p.85-92.

I3. Мирошниченко Л.И. Солнечные космические лучи в системе солнечно-земных овязей. - В кн.: Проблемы солнечно-земных связей. Ашхабад: Ылым, I98I, с.42-62.

I.4. Геомагнитные поля и их вариации

Исследование влияния ЭМП на биосферу находится на самой начальной стадии. Поэтому еще не ясно, какие именно участки спектра геомагнитных или геоэлектрических вариаций более биоэффективны и каковы энергетические соотношения геофизических и биологических явлений. В связи с этим представляется необходимым наряду с результатами исследований по проблеме электромагнитобиологии дать краткий обзор сведений о ГМП, наблюдаемых на поверхности Земли и в околоземном пространстве.

Геомагнитное поле Земли слагается из двух частей различной природы: очень медленно меняющейся, почти постоянной, источники которой расположены собственно внутри Земли, и переменной, генерируемой электрическими токами, текущими в ионосфере и магнитосфере. Напряженность переменной части поля составляет не более 2% от части внутреннего происхождения.

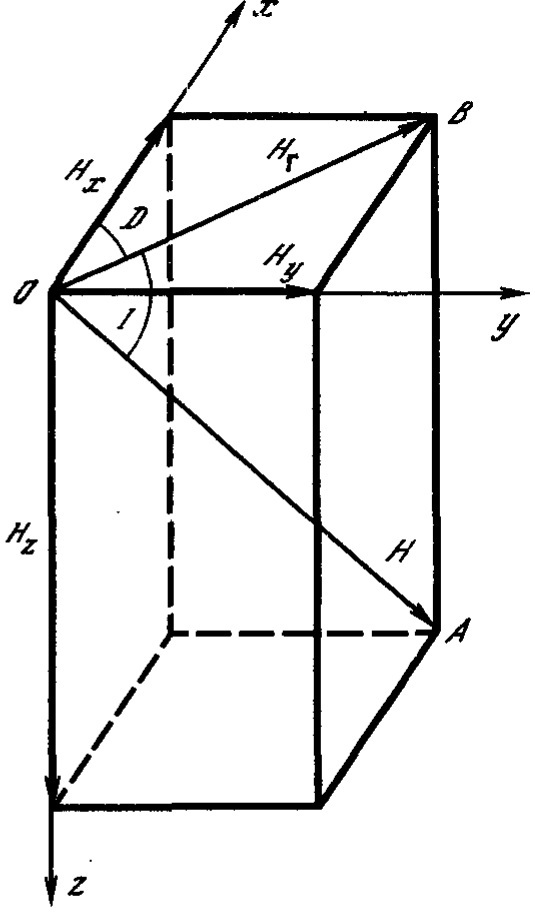
ГМП в грубом приближении подобно полю однородно намагниченного шара с магнитным моментом $M = 2{,}7 \cdot 10^{12}$ А/м^2 и осью, наклоненной к оси вращения Земли на угол $\sim 11{,}5^\circ$. Геомагнитные полюсы расположены в точках с координатами $11{,}5^\circ$с.ш., 290°в.д. и $11{,}5^\circ$ю.ш., 110°в.д..

Распределение ГМП в пространстве обычно характеризуют тремя магнитными элементами: горизонтальной составляющей $H_r = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$, наклонением $\mathcal{J}$ (углом между направлением вектора поля $H = \sqrt{H_r^2 + H_z^2}$ и горизонтальной плоскостью) и склонением $\mathcal{D}$ (углом между направлениями на геомагнитный и географический полюсы) или тремя прямоугольными составляющими: $H_x = H_r \cos \mathcal{D}$ (направлена на географический север), $H_y = H_r \sin \mathcal{D}$ (на восток) и $H_z = H_r \operatorname{tg} \mathcal{J}$ (вертикально вниз). Соотношения между магнитными элемеитами и прямоугольными составляющими даны на рис.11.

Величины магнитных элементов на поверхности Земли изменяются от $\mathcal{J} = 90^\circ$, $H_r = 0$, $H_z = 0{,}065$ мТл на северном геомагнитном полюсе до $\mathcal{J} = -90^\circ$, $H_r = 0$, $H_z = -0{,}065$ мТл на южном; в районе геомагнитного экватора $\mathcal{J}$ проходит через нуль, а H_r достигает наибольшей величины 0,032 мТл. Склонение $\mathcal{D}$, обусловленное несовпадением геомагнитных и географических полюсов, в средних и низких широтах невелико (неоколько градусов), а в высоких - может достигать любых величин, вплоть до 180°. При удалении от поверхности Земли ГМП уменьшается примерно обратно пропорционально r^3, где r - геоцентрическое расстояние данной точки.

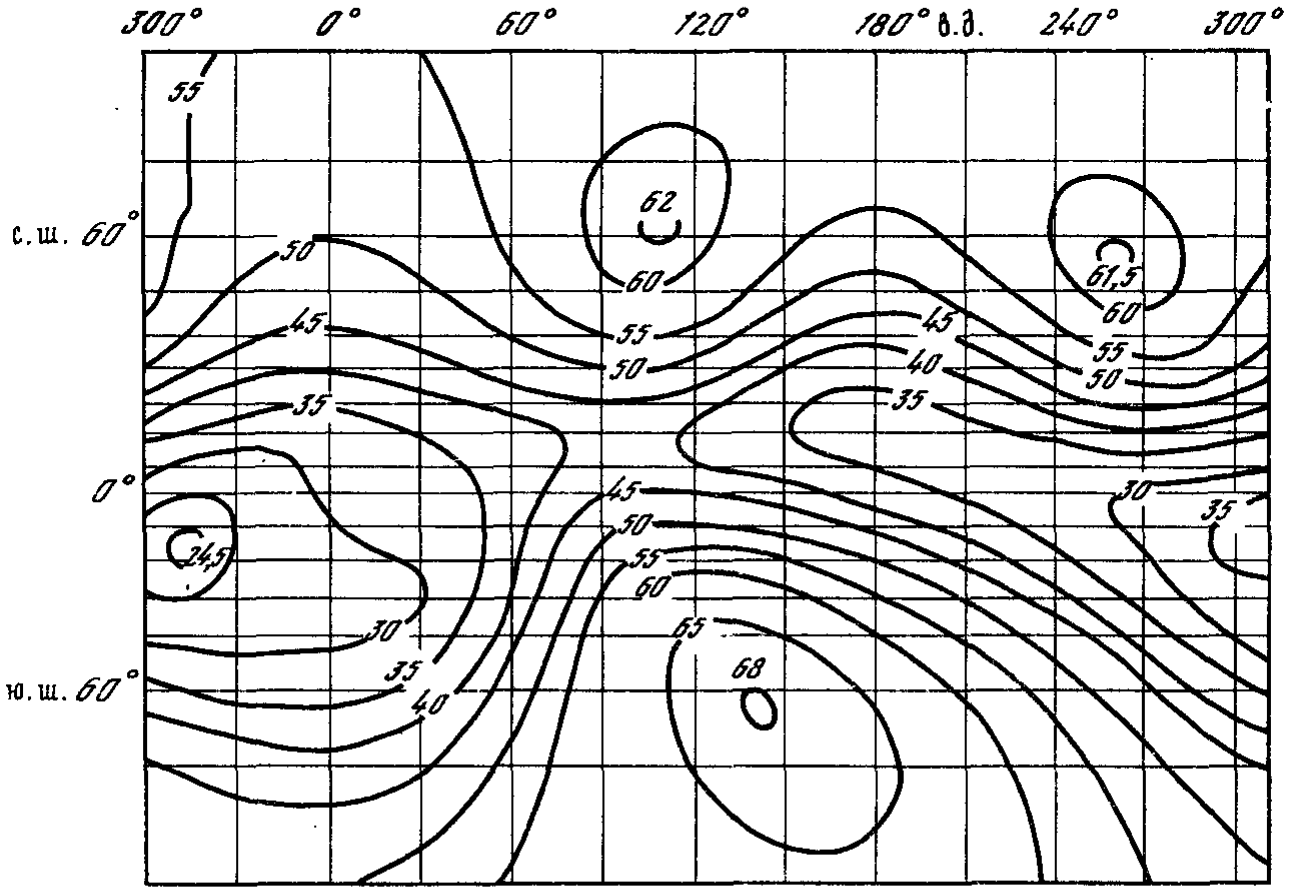
Действительное пространственное распределение ГМП много сложнее: в северном и южном полушариях геомагнитное поле не вполне тождественно, существуют области с повышенными или пониженными значениями магнитных элементов - магнитные аномалии (см. гл.Ш, п.3.3). Магнитные аномалии очень разнообразны по размерам, интенсивности и конфигурации. Наиболее крупные из них соизмеримы с материками (материковые), наиболее мелкие имеют протяженность от единиц до сотен километров (локальные и региональные). На рис.12 представлена схема распределения ГМП, заимствован-

Р и с. II. Элементы земного магнетизма



Р и с.I2.Изодинамы модуля полного вектора $\vec{H}$ для эпохи 1975г. [1]

Цифры у кривых – значения $\vec{H}$ в 10^3 нТл



ная из [I] . В связи с малым масштабом карты распределение на ней ГМП настолько сглажено, что проявляются лишь материковые аномалии.

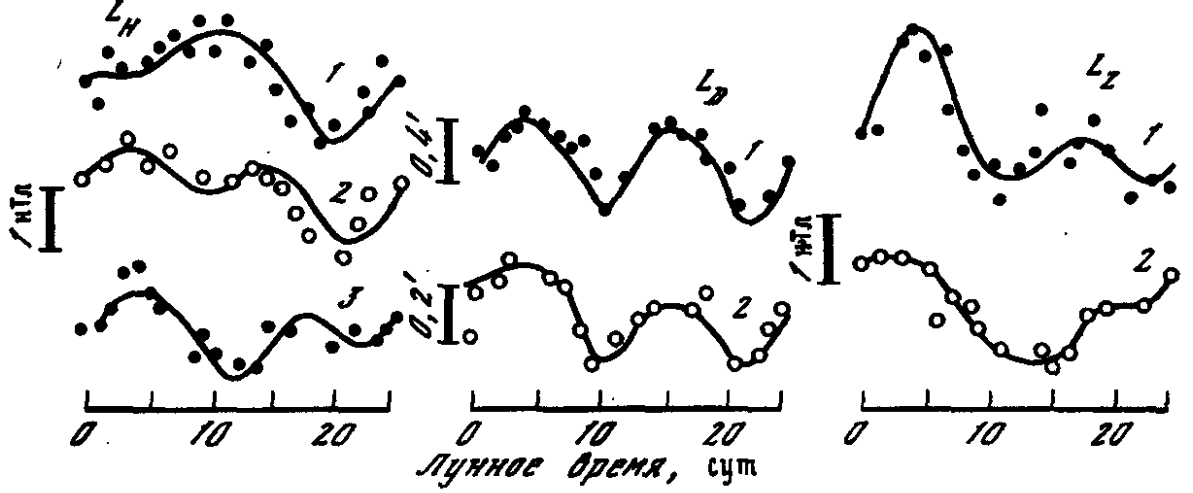
Региональные и локальные аномалии вызываются намагничиванием неравномерно распределенных в земной коре горных пород, обладающих ферромагнитными свойствами. В целом они ответственны лишь за очень малую часть ГМП (~I%); среднеквадратичная величина поля мелкомасштабных

аномалий, осредненная по всей поверхности Земли, составляет ~ 200 нТл. Тем не менее поле отдельных аномалий, в особенности связанных с близким к поверхнооти залеганием больших рудных масс, может быть достаточно велико (превышать 0,II мТл). Примером интенсивных локальных аномалий является широкоизвестная Курская аномалия.

Основная крупномасштабная часть ГМП (поле однородного намагничения и материковых аномалий), называемая "главным" полем, создается электрическими токами, текущими во внешней жидкой части земного ядра, состоящего из расплавленных железоникелевых масс. Электрические токи индуцируются в результате конвективных движений высокопроводящих масс в первичном очень слабом поле, природа которого к настоящему времени не ясна. Этот механизм генерации ГМП подобен механизму создания поля в обычной динамо-машине. Существенным доводом в пользу динамо-теории ГМП является обнаружение магнитных полей у других планет, имеющих жидкие ядра (Юпитер, Меркурий, Венера). Измерения, выполненные на космических аппаратах, обнаружили сходство полей этих планет с земным полем: поля Юпитера и Меркурия в грубом приближении также являются полями однородного намагничения с осями, близкими к осям вращения этих планет. МП Луны мало по величине и определяется магнетизмом слагающих лунную кору пород.

Главное МП Земли меняется со временем как по величине, так и по конфигурации. Изменения ГМП (вековые вариации) включают в себя колебания с разными характерными временами: от немногих десятков лет (известны, например, 20-летние вариации) до десятков тысяч лет. Изучение МП за прошедшие годы и в прошлые геологические эпохи осуществляется архео- и палеомагнитными методами, суть которых заключается в следующем: изверженная горная порода, содержащая ферромагнитные компоненты, намагничивается, остывая в земном МП, и как бы "запоминает" его. Поэтому, измеряя магнитные свойства образцов горных пород, можно определить величину и направление ГМП в период их образования. Также намагничиваются во время обжига кирпичи или глиняная посуда, что позволяет изучать ГМП в разные исторические эпохи.

Первые инструментальные измерения склонения, начатые с развитием мореплавания в XУ в., и измерения наклонения (с XУII в.) вместе с археомагнитными исследованиями надежно обнаружили вариации ГМП с периодами порядка 60 лет и циклические изменения с характерными временами в несколько сот лет (преимущественно 600 лет). Выявлены также и более длительные цикличности, например, колебания ГМП продолжительностью порядка 8-I0 тыс. лет. Описанные вековые вариации ГМП находят объяснение в рамках динамо-теории главного поля как результат изменений токовой системы земного ядра и, в частности, наличия в нем крупномасштабных волновых процессов - МАК-волн, т.е. волн, образующихся в результате непрерывного взаимодействия максвелловских, архимедовых и кориолисовых сил.



Р и с.I3.Лунносуточные вариации магнитных элементов (L_H, L_D, L), вычисленные по трем обсерваториям [2]:I - Тбилиси, 2 - Москва, 3 - Южно-Сахалинск

Палеомагнитные исследования позволили обнаружить исключительно интересное свойство ГМП - обращения полярности (инверсии) главного поля, которые многократно имели место в течение геологической истории Земли. Последняя изученная инверсия была в середине четвертичного периода (0,8 млн. лет назад).

Теория динамо-механизма ГМП допускает возможность инверсий (существование двух равноправных решений уравнений, определяющих генерацию поля). Однако появление инверсий отнюдь не закономерно и рассматривается как стохастический процесс. Продолжительность периода инверсии ($\sim 10^4$ лет) обычно короче периода стабильного намагничения. Большинство исследователей считает, что во время инверсии поле не исчезает полностью, а сильно уменьшается по величине и теряет свой регулярный характер.

Механизм инверсий окончательно еще не установлен. Во время некоторых инверсий можно проследить путь перемещения геомагнитного полюса из одного полушария через экватор в другое. Но каким бы ни был процесс обращения поля, он, вероятно, влияет на другие геофизические свойства Земли и биосферу. В периоды обращения изменяются экранирующие свойства ГМП и проникновение к Земле заряженных частиц солнечного ветра, играющих большую роль в тепловом балансе земной атмосферы. Изучение длиннопериодных колебаний ГМП (включая инверсии) и их связь с изменениями климата, вращением Земли и солнечной активностью привлекает в настоящее время внимание геофизиков.

Магнитные вариации внешнего происхождения состоят из нескольких типов полей, различающихся между собой спектральными, энергетическими и другими характеристиками. Условно эти вариации можно разделить на следующие группы: медленные (циклические), периодические, возмущенные и короткопериодные. Детальная классификация вариаций ГМП с указанием основных характеристик (продолжительности колебаний и амплитудных границ) дана в табл. 2.

Таблица 2. Геомагнитные вариации на поверхности Земли

Тип вариаций	Обозначение	Период колебаний	Амплитуда B, нТл
	Медленные вариации		
Вековые	V	Десятки и сотни лет	I0–I50
Циклические	C	II лет	I–20
	Периодические (спокойные) вариации		
Годовые	У	I год	5–30
Лунносуточные	L	24 ч 50 мин	I–7
Солнечносуточные	S_q	24 ч	I0–70
	Возмущенные вариации		
Апериодические	D_{st}	I0–200 ч	I0–400
главная фаза		3–I0 ч	I0–400
начало фазы восстановления		6–I2 ч	I0–400
фаза восстановления		I–7 сут	I00–I0
Солнечносуточные	S_d	24 ч	I0–400
Бухтообразные	B	0,5–3 ч	30–I000
Иррегулярные	I	5–60 мин	I0–3000
	Короткопериодные вариации		
Устойчивые	Pc I	0,2–5 с	0,0I–I
	Pc 2	5–I0 с	0,I–I0
	Pc 3	I0–45 с	0,4–20
	Pc 4	45–I50 с	0,5–25
	Pc 5	I50–600 с	0,5–40
	Pc 6	>600 с	I–I00
Иррегулярные	Pi I	I–40 с	0,03–2
	Pi 2	40–I50 с	I–20
	Pi 3	I50–400 с	5–I00
	Pi 4	400–600	I0–300

Солнечносуточные S_q и лунносуточные L – вариации ГМП изучены наиболее полно. Они создаются электрическими токами, индуцированными в ионосфере на высотах ~ 90–I20 км в результате приливных движений ионизированных масс воздуха в МП Земли (динамо-механизм). Зависимость ионизации (и, следовательно, электропроводности) воздуха от зенитного угла Солнца, а также регулярный суточный ритм солнечных и лунных приливных колебаний обусловливают строго периодический характер S_q- и L -вариаций (рис. I3). Суточные вариации невелики по амплитуде, закономерно меняются с географической широтой и временем года, возрастая к экватору и летом; они достаточно хорошо описываются несколькими первыми членами гармонического ряда $\sum_n C_n \cos(nt + \alpha_n)$,

где n - номер гармоники, t -местное время (солнечное или лунное). В S_q -вариациях наибольший член - суточный, в L -вариациях - полусуточный [2].

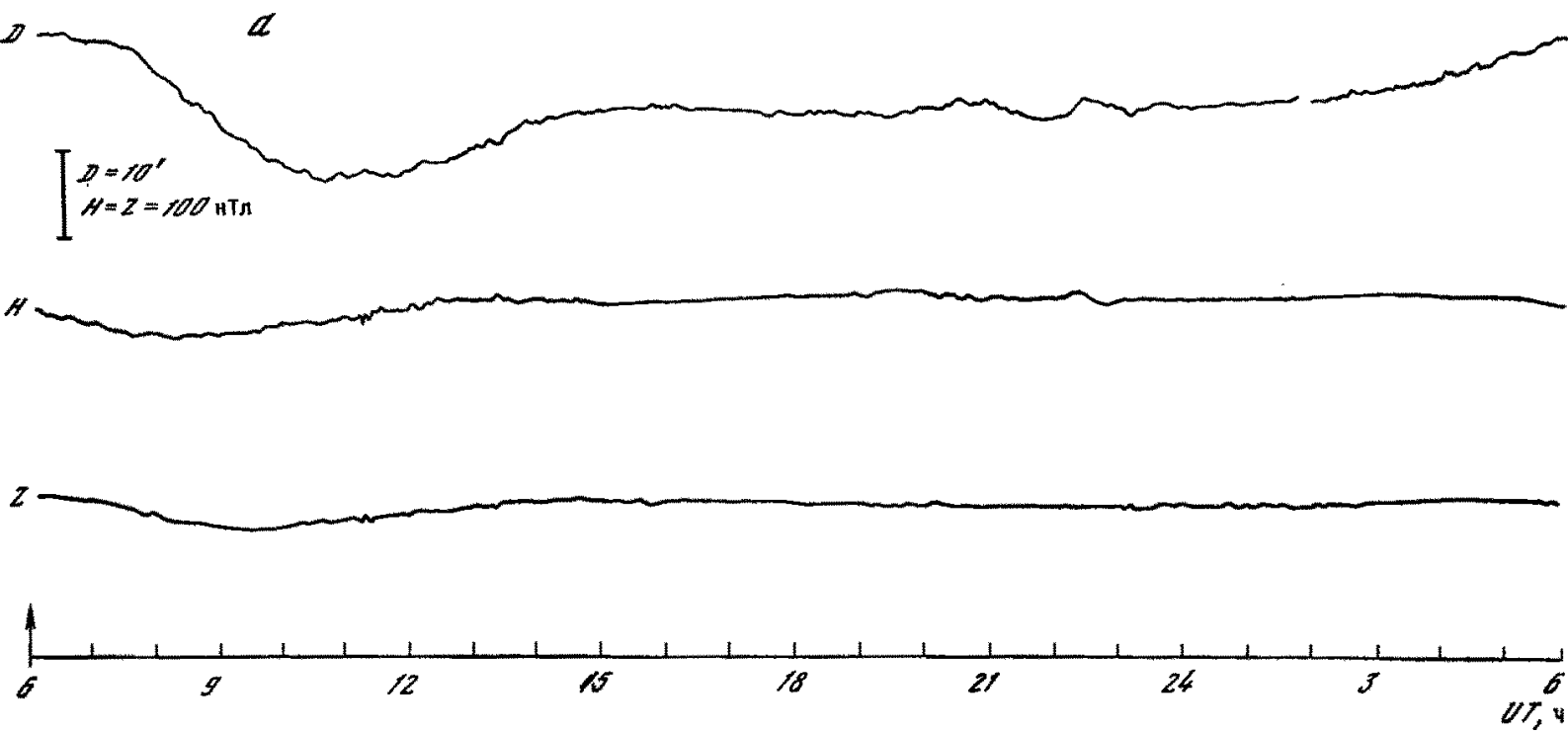
На рис. I4 представлены магнитограммы обсерватории Красная Пахра (Московская обл.) за двое суток. На рис. I4,а хорошо проявляются плавные изменения элементов поля (S_q - вариации), а рис. I4, б иллюстрирует сильное возмущение ГМП - магнитную бурю.

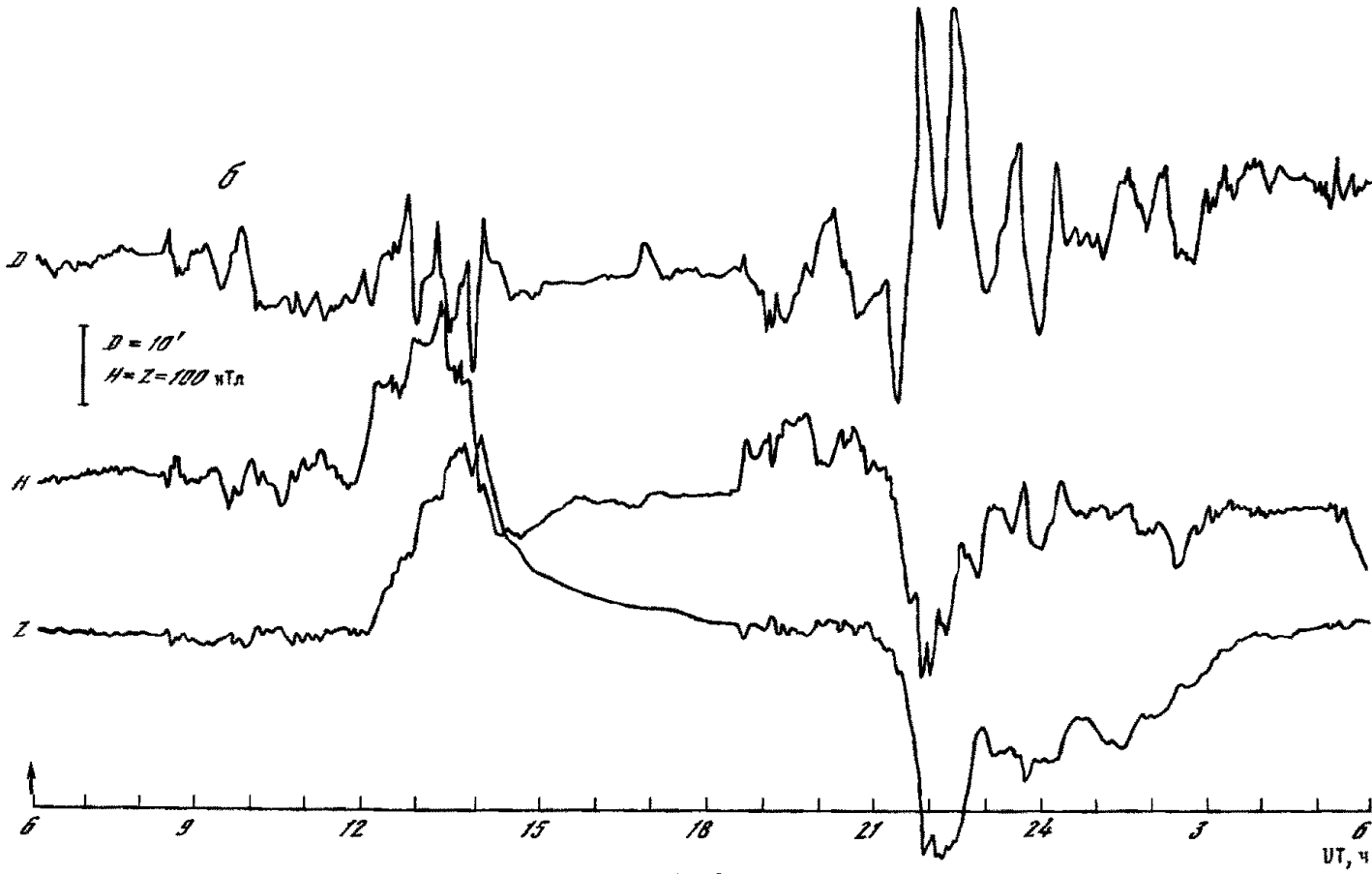
Во время бури колебания магнитных элементов иррегулярны, имеют часто большие амплитуды, особенно в высоких широтах, превышая иногда верхний предел 3000 нТл. Возмущенные вариации ГМП объединяют не только бури, но любые (разные по характеру и амплитуде) отклонения в ходе магнитных элементов от спокойного регулярного суточного хода. Несмотря на нерегулярность, хаотичность изменений ГМП во время возмущений и, в частности, в период бурь, к настоящему времени выявлены достаточно четкие морфологические закономерности этих явлений.

Прямые измерения показали, что Солнце непрерывно излучает поток разреженной плазмы - солнечный ветер, который,встречая на своем пути Землю с окружающим ее ГМП, образует полость, называемую магнитосферой. ГМП не проникает за границы магнитосферы, а СВ лишь частично проникает внутрь ее.

На рис. 4 схематично представлен меридиональный разрез Земли и магнитосферы ; указано расположение электрических токовых систем - источников ГМП. Положение границы магнитосферы определяется равенством давлений СВ и ГМП. Под давлением СВ силовые линии ГМП вытягиваются в антисолнечном направлении, образуя магнитосферный хвост. Плазменный слой хвоста и его центральная часть - нейтральный слой, где силовые линии разного направления приближаются друг к другу и ГМП очень мало, - играют важную роль в генерации магнитных возмущений. Плазменный слой всегда, даже в самых спокойных условиях, заполнен частицами высоких энергий. Некоторое количество частиц все время высыпается через "рога" плазменного слоя в ионосферу высоких широт, вызывая там электрические токи, текущие вдоль зоны полярных сияний, и, следовательно, магнитные возмущения. Эта зона в любое время является наиболее возмущенной.

Во время солнечных возмущений потоки частиц СВ с возросшей энергией и плотностью диффундируют в нейтральный слой через далекую область хвоста, вызывая генерацию ЭП, усиление конвективных движений в магнитосфере, поступление частиц в высокие широты, полярные сияния и резкое возрастание силы электрических токов, создающих магнитные бури. Если усиление СВ непродолжительно и сравнительно мало интенсивно, то в магнитосферу проходит как бы один импульс, отражающийся в ГМП в виде единичного бухтообразного возмущения (суббуря по современной терминологии). Большие солнечные возмущения вызывают продолжительную интенсификацию СВ, в магнитосферу поступают импульсы один за дру-


а
D
D = 10′
H = Z = 100 нТл
H
Z
6
9
12
15
18
21
24
3
6
UT, ч



Р и с. I4. Магнитограммы магнитных элементов H, D, Z обс. Красная Пахра (Московская обл.) для спокойного интервала 7 апреля I976 г.(а) и во время магнитной бури I мая I976 г.(б)

гим, что приводит к последовательности суббурь, к их наложению. В целом последовательность суббурь составляет сложную картину большой магнитной бури.

Во время суббурь частицы СВ проникают во внутреннюю магнитосферу также через полярные каспы (см.рис.4), образуемые силовыми линиями в приполюсной области на дневной стороне магнитосферы. Частицы, проникающие через каоп, ответственны за "дневные" полярные сияния, усиление в дневном секторе полярной электроструи и магнитные возмущения. Геометрическое место внедрения частиц (из каспа – с дневной стороны и из нейтрального слоя – с ночной) является наиболее возмущенной зоной на поверхности Земли (авроральный овал).

Одновременно о проникновением частиц в высокие широты во время оуббурь увеличивается также плотность частиц плазменного слоя, что приводит к усилению экваториального кольцевого тока (см.рис.4). Кольцевой ток радиусом(3-5)R_3 западного направления существует всегда и в спокойное время вносит небольшой вклад в главную часть ГМП. Во время большой магнитной бури (при масоовых поступлениях частиц СВ) кольцевой ток сильно возрастает (до 10^6 – 10^7 А), вызывая значительные понижения горизонтальной составляющей МП. Отдельные всплески суббурь, накладываясь один на другой и на общее понижение H_r , дают картину сложных колебаний, представленную на рис.14,б.

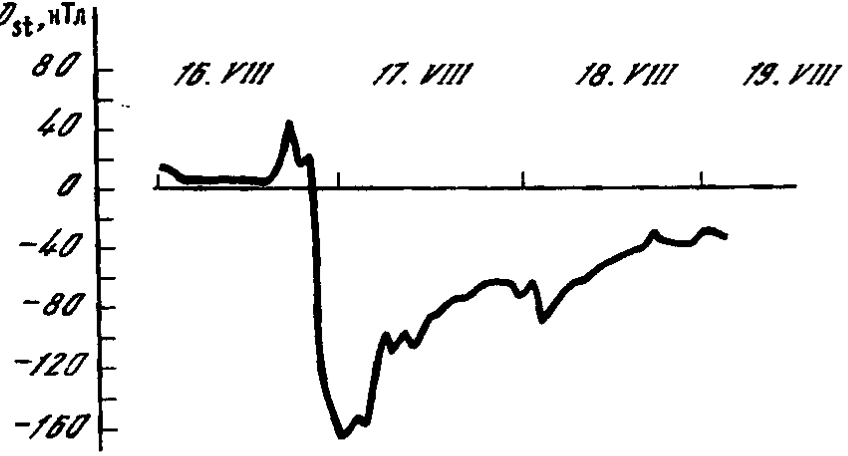
Среди возмущенных вариаций МП наиболее характерной являетоя апериодическая вариация поля $\mathcal{D}_{st}$, проявляющаяся особенно отчетливо в H_r(или X)- компоненте низкоширотных обсерваторий (рис.15). В поведении $\mathcal{D}_{st}(H_r)$ - вариации обычно выделяют три фазы: начальную (небольшое усиление поля), главную (резкое понижение поля) и фазу восстановления (постепенный возврат поля к начальному состоянию).

$\mathcal{D}_{st}$ - вариация на поверхности Земли является суммарным полем трехмерной токовой оистемы, включающей токи на поверхности магнитосферы, вдоль магнитных силовых линий, нейтрального слоя хвоста магнитосферы и магнитосферный кольцевой ток, который является преобладающим источником поля.

Магнитные суббури на поверхности Земли проявляются в виде бухтообразных возмущений и нерегулярных колебаний ГМП по преимуществу в зоне магнитной активности (~ 62-68° геомагнитной широты). Они вызываются восточным и западным электроструйными токами, образующимися во время магнитных суббурь в полярной ионосфере каждого полушария. Нерегулярные изменения поля вблизи экватора связаны с экваториальной ионосферной электроструей. Во время бури происходит также усиление токов в среднеширотной исносфере, что отражается на возмущенных солнечносуточных вариациях S_d .

Исследования последних лет показали, что для возникновения и развития магнитосферной бури большую роль играет не только плотность и скорость частиц СВ, но и ММП, уносимое потоком частиц из Солнца. Несмотря на небольшую величину этого поля (несколько нанатесл) от его

Р и с.15. Апериодическая D_{st} - вариация магнитной бури 19.УШ 1970 г.



направления зависит геоэффективность плазменного потока СВ. Установлено , что суббуря развивается в основном при повороте вертикальной компоненты ММП к югу (перпендикулярно плоскости эклиптики). Воздействие ММП на состояние магнитосферы объясняетоя механизмом пересоединения на границе магнитосферы силовых линий ММП и ГМП. Выделяемая при этом энергия и служит, по-видимому, пусковым механизмом для генерации магнитосферной суббури. Кроме того, от направления азимутальной компоненты ММП зависят вариации в приполюсных областях, куда ММП имеет прямой доступ через каспы. Обнаружены также корреляции ММП с другими геофизическими явлениями, например, с состоянием ионосферы, некоторыми тропосферными процесоами и т.д., что указывает на исключительно большое значение ММП в развитии физических явлений в околоземном пространстве.

Заканчивая описание магнитной бури, следует указать, что общая энергия, поступающая в магнитосферу во время бури, колеблется в пределах 10^{16} - 10^{17} Дж, поток энергии ~ 10^{13} Дж.с $^{-1}$. Это составляет 10^{-8}- 10^{-9} от общей энергии волнового и корпускулярного излучений Солнца во время активных процессов.

Изложенные выше представления о природе магнитных возмущений объясняют многие, давно известные свойства воэмущений, а именно [3] :

I) широтное распределение возмущенности с основным максимумом в зоне авроральной активности;

2) возмущенный суточный ход: в средних широтах один максимум приходится на вечерние часы, в полярных широтах имеются два максимума - утренний и вечерний;

3) сезонный (годовой) ход с максимумами в эпохи равноденствий, обусловленный тем, что Земля в течение года проектируется на различные гелиографические широты Солнца, а следовательно, на различные активные области;

4) II-летний циклический ход, следующий за II-летними колебаниями солнечной активнооти с запаздыванием максимумов магнитной активности на I-3 года [4];

5) 27-дневную повторяемость магнитных возмущений, объясняющуюся 27-дневным синодическим периодом вращения Солнца;

6) запаздывание магнитных возмущений на 2–4 дня относительно прохождения активных областей на Солнце через центральный меридиан (определяется скоростью потоков СВ).

Эти закономерности, а также некоторые корреляционные связи магнитной возмущенности с другими гелио- и геофизическими явлениями получены не только путем анализа отдельных возмущений, но также путем статистических исследований магнитных характеристик, т.е. числовых и балловых оценок возмущенности. В настоящее время для характеристики магнитной активности чаще всего употребляются индексы К, АЕ, D_{st}.

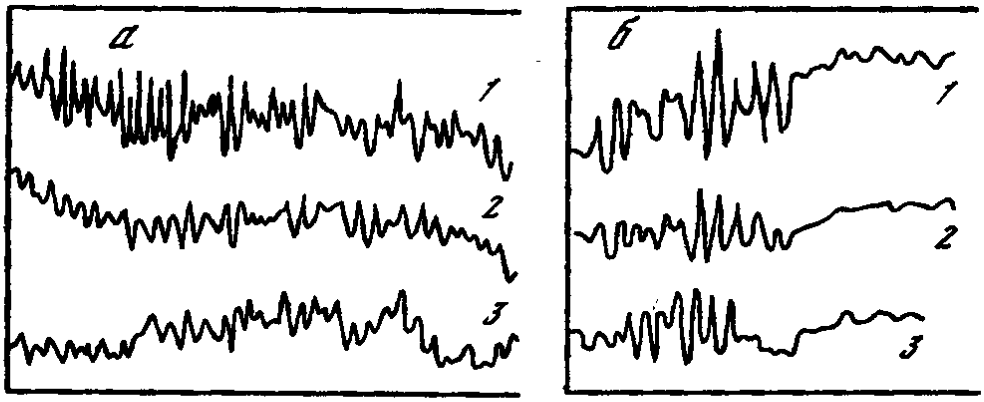
Индекс К – трехчасовая 10-балловая характеристика: 0 – совершенно спокойное поле, 9 – очень сильное возмущение. Баллы К-индекса даются в соответствии с амплитудой колебаний магнитных элементов, причем амплитудные шкалы для обсерваторий в разных широтных зонах подобраны так, чтобы по возможности распределения К-индексов сделать одинаковыми на всей мировой сети обсерваторий. Среднее значение К по нескольким субавроральным обсерваториям, определенное с точностью до 0,1 и обозначаемое K_p, является наиболее объективной мерой магнитной активности в планетарном масштабе. Для оценок активности суток в целом используются $\sum K$ или $\sum K_p$, а также суммы $\sum a_p$, где a_p – приведенная амплитуда колебаний поля за трехчасовой интервал.

Индекс АЕ основан на амплитудах колебаний (расстоянии между верхней и нижней огибающими) записей поля в обсерваториях, расположенных на широтах зоны полярных сияний и равномерно распределенных по долготе. Индекс АЕ является мерой активности полярных электроструй. Его можно представить с неограниченным временным разрешением, однако для практических целей используются 2,5-минутные и часовые значения.

В средних и низких геомагнитных ширстах в качестве меры изменения поля часто используют среднечасовые значения горизонтальной составляющей поля отдельной обсерватории или индекс D_{st}, полученный осреднением значения $H_г$ на 3–7 низкоширотных обсерваториях, распределенных более или менее равномерно по долготе. Использование магнитных характеристик дает возможность количественного оформления статистических закономерностей и связей (в том числе магнитобиологических).

Группа короткопериодных колебаний (КПК) по своей структуре и природе существенно отличается от рассмотренных выше макровозмущений. КПК объединяют вариации с периодами от долей секунд до 10 мин и более. Они разделяются на устойчивые периодические колебания Pc (рис.16,а) и иррегулярные колебания Pi (рис.16,б), которые в свою очередь делятся на подгруппы (см. табл.2) в зависимости от величины периода Т [4,5].

Амплитуды пульсаций, как правило, растут с увеличением периода. Некоторые типы КПК сопровождают магнитные возмущения и наблюдаются преимущественно в высоких широтах, тогда как другие генерируются исключительно при спокойном поле. Схематическая картина пульсаций во время различных фаз магнитной бури приведена в [5, рис.93].



Р и с.16.Примеры пульсаций типа Pc 4 (а) и Pc 2 (б) полного вектора $\vec{H}$ на сети станций: 1 - Лервик, 2 - Эскдалемюр, 3 - Хартленд

Согласно современным представлениям генерация пульсаций связана с развитием кинетических и гидромагнитных неустойчивостей магнитосферной плазмы и плазмы СВ, а также с возбуждением резонансных процессов внутри магнитосферы.

Генерация Pi типична для возмущенных условий в магнитосфере. Иррегулярные пульсации по существу являются элементами развития магнитосферной суббури. Их возбуждение происходит в довольно локализованных областях и сопровождается развитием других геофизических процессов. Генерация Pc-колебаний характеризует более крупномасштабные изменения структуры магнитосферы и в значительной мере реагирует на общепланетарное изменение возмущенности ГМП [5].

Частоты пульсаций Pc I близки к гирочастотам протонов в экваториальной плоскости магнитосферы на оболочке более $4R_3$, поэтому можно полагать, что генерация Pc I связана с развитием неустойчивостей протонов кольцевого тока в окрестности плазмопаузы. Механизм циклотронной неустойчивости в результате анизотропии распределения протонов по питч-углам обеспечивает необходимый частотный диапазон, а нелинейные эффекты обусловливают и динамический спектр Pc I.

Пульсации Pc 2 наблюдаются значительно чаще в полярной шапке, чем в авроральной зоне и средних широтах. При этом вблизи геомагнитных полюсов генерация Pc 2 регистрируется при низком уровне магнитной активности, а в средних широтах - в условиях повышенной возмущенности. При возрастании возмущенности ГМП область максимальных амплитуд смещается из района геомагнитных полюсов в более низкие широты, оставаясь, по-видимому, в полярной шапке или в авроральной зоне. Следовательно, можно полагать, что источник Pc 2 расположен в хвосте магнитосферы.

Геомагнитные пульсации Pc 3 и Pc 4 - самые распространенные пульсации, регистрируемые на поверхности Земли, они зависят от уровня магнитной активности, от параметров плазмосферы и кольцевого тока. Так, параметры пульсаций Pc 3 тесно связаны с изменением структуры

плазмосферы, а Pc 4 – с процессами распада кольцевого тока. В высоких широтах несомненна связь возбуждения Pc 3 и Pc 4 с модуляцией потоков авроральной плазмы.

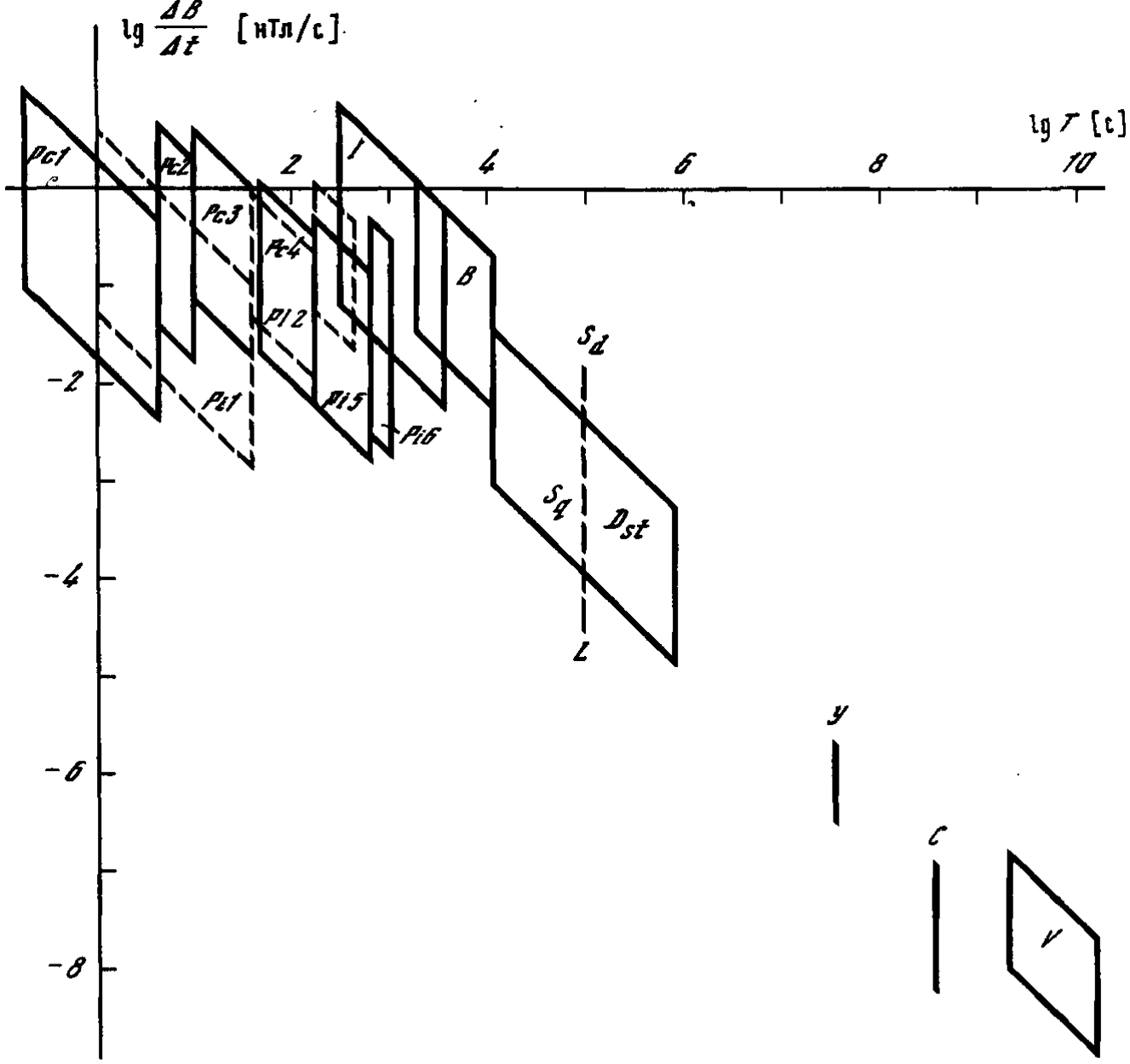
Пульсации Pc 5 являются следствием процессов дрейфа на дневную сторону и распада плазменных неоднородностей, содержащих авроральные энергичные частицы. Можно полагать, что возбуждения в послеполуденном секторе связаны с протонными неоднородностями, дрейфующими на запад. Возможно также, что длиннопериодные пульсации в диапазоне Pc 5 возбуждаются в области магнитопаузы.

Поведение высокоширотных длиннопериодных пульсаций Pc 6 различно в дневном и ночном секторах. Эти различия обусловлены тем, что дневной и ночной регионы полярной шапки проектируются в разные структурные области магнитосферы: в область дневного каспа и хвоста. Возбуждение ночных пульсаций связано с колебательным режимом хвоста магнитосферы, а источниками дневных пульсаций могут быть либо колебания поверхности магнитосферы, либо флюктуации солнечного ветра. В настоящее время пока нельзя однозначно определить, расположен источник пульсаций Pc 6 на границе магнитосферы или в солнечном ветре.

В диапазоне иррегулярных пульсаций Pi I выделяют несколько типов колебаний, различающихся по своим физическим свойствам: $Pi\,B$ – пульсации типа шумовых всплесков, $Pi\,C$ – колебания с преобладающим периодом 5–10 с, КУП – колебания с убывающим периодом и другие. Генерация КУП наблюдается в области развития восточной авроральной электроструи (на фоне положительных бухт) и связана с развитием неустойчивостей протонов в магнитосфере на фоне интенсивного развития асимметричной части кольцевого тока в вечернем секторе магнитосферы. Однако источники КУП расположены в области развития восточной электроструи, т.е. КУП составляют микроструктуру положительной бухты.

Области пульсирующих полярных сияний и генерации геомагнитных пульсаций $Pi\,C$ непосредственно примыкают к экваториальной кромке овала полярных сияний или авроральной электроструи. Генерация пульсаций $Pi\,C$ является следствием распада электронных форм сияний на отдельные пятнообразные структуры. Генерация $Pi\,B$ во время суббури обычно сопровождает возбуждение $Pi\,2$ и происходит в областях, удаленных от экваториальной области магнитосферы. Местоположение источника $Pi\,2$ совпадает с силовыми трубками ГМП, в которых активно развиваются авроральные явления. Генерация $Pi\,2$ происходит на фоне широкого круга геофизических процессов, связанных в той или иной мере с развитием кинетических неустойчивостей магнитосферной плазмы: инжекцией электронов и протонов в полярную ионосферу, ОНЧ – излучением, пульсациями Pi I и т.д.

Современные представления о структуре поля иррегулярных пульсаций в высоких широтах отражают существование по крайней мере трех видов колебаний в диапазоне Pi 3: $Pi\,p$ – полярных иррегулярных пульсаций, Ps 6 – пульсации суббури, $il\,Pc$ – иррегулярных длиннопериодных пульсаций полярной шапки. Местоположение источника пульсаций $Pi\,p$ связано



Р и с.17.Допустимые пределы скорости изменения ($\Delta B/\Delta t$) магнитного поля для вариаций различных периодов (Т)

с движущейся к полюсу выпуклостью полярных сияний во время взрывной фазы суббури. Максимум амплитуд пульсаций Ps 6 приурочен к центральной части авроральной электроструи. Пульсации $ilPc$ связаны с проникновением колебаний, возбуждаемых на границе магнитосферы, в область дневного каспа.

Представленные в табл.2 сведения о продолжительности и величине всех перечисленных выше типов геомагнитных вариаций приводят к заключению, что магнитные вариации изменяются в исключительно широком диапазоне периодов (от $2\cdot10^{-1}$ до $2\cdot10^{10}$ с) и амплитуд (от $1\cdot10^{-2}$ до $3\cdot10^{3}$ нТл). Используя количественные значения периодов колебаний Т и величин амплитуд В вариаций, приведенных в табл. 2, нами сделаны оценки скорости изменения поля $\Delta B/\Delta t$ для каждого типа вариаций.

На рис.17 дана зависимость $lg\ (\Delta B/\Delta t)$ от $lg\ T$ в виде отрезков прямых (для строго периодических вариаций Y, L, S_q, S_d) или

параллелограммов (для остальных вариаций), представляющих допустимые границы как по скорости изменения поля, так и по периоду. Из рис.I7 видно, что для медленных, периодических и части возмущенных вариаций ($\mathcal{D}_{st}$, S_d) изменения $\Delta B/\Delta t$ малы, тогда как для вариаций Pc I-Pc 4 и иррегулярных колебаний эти изменения достигают нескольких единиц нанотесла в секунду.

Из всех типов вариаций, приведенных в табл.2, наибольшие временные изменения ГМП достигаются КПК, иррегулярными вариациями и бухтообразными возмущениями. Периоды этих вариаций заключены во временном интервале от 0,2 с до 3 ч (частотный диапазон от 5 до $2{,}8\cdot10^{-4}$ Гц). Так как эти вариации в основном связаны с протеканием магнитной бури, то совершенно ясно, что при статистических иоследованиях эффективности ГМП в биологических процесоах в первом приближении можно использовать каталоги магнитных бурь.

Однако следует отметить, что изменения ГМП в диапазоне от 0,2 с до 3 ч происходят и при относительно опокойных геомагнитных условиях. Поэтому, если эти вариации действительно биоэффективны, то при использовании в статиотике только магнитных бурь можно получить недостаточно высокий коэффициент корреляции исследуемых явлений. Возможно, более корректнс изучать связь биологических процессов не с магнитными бурями, а с отдельными частотными диапазонами ГМП. Выбор диапазонов частот (периодов) необходимо проводить на основании биоритмики. Пока же согласно рис.I7 можно ожидать, что при исследовании биологичеоких процесов наиболее эффективными окажутся геомагнитные вариации PcI - Pc3.

Литература

I. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, I978, 592 с.
2. Бенькова Н.П., Загуляева В.А., Кацишвили Н.А. и др. L - вариации геомагнитного поля и ионосферы по данным советских станций. - Геомагнетизм и аэрономия, I964, т.4, №3, с.6II-6I3.
3. Бенькова Н.П. Магнитное поле Земли и его вариации. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.:Наука, I975,т.I,с.I3-24.
4. Справочник по переменному магнитному полю СССР/Под ред. В.И.Афанасьевой. Л.: Гидрометеоиздат, I954, 268 с.
5. Цудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч.2. Короткопериодические колебания геомагнитного поля. Л.: Изд-во ЛГУ, I976, 27I с.

I.5. Электрические поля атмосферы Земли и их природа

Электрическая структура атмосферы - газовой оболочки Земли - тесно связана с процессами, протекающими в пространстве от уровня земной поверхности до высот в десятки земных радиусов. Изменение электрических

свойств атмосферы при переходе от нижних к более высоким ее слоям обусловлено двумя основными факторами: уменьшением с высотой плотности воздуха и размещением основного источника энергии - Солнца - вне земной атмосферы.

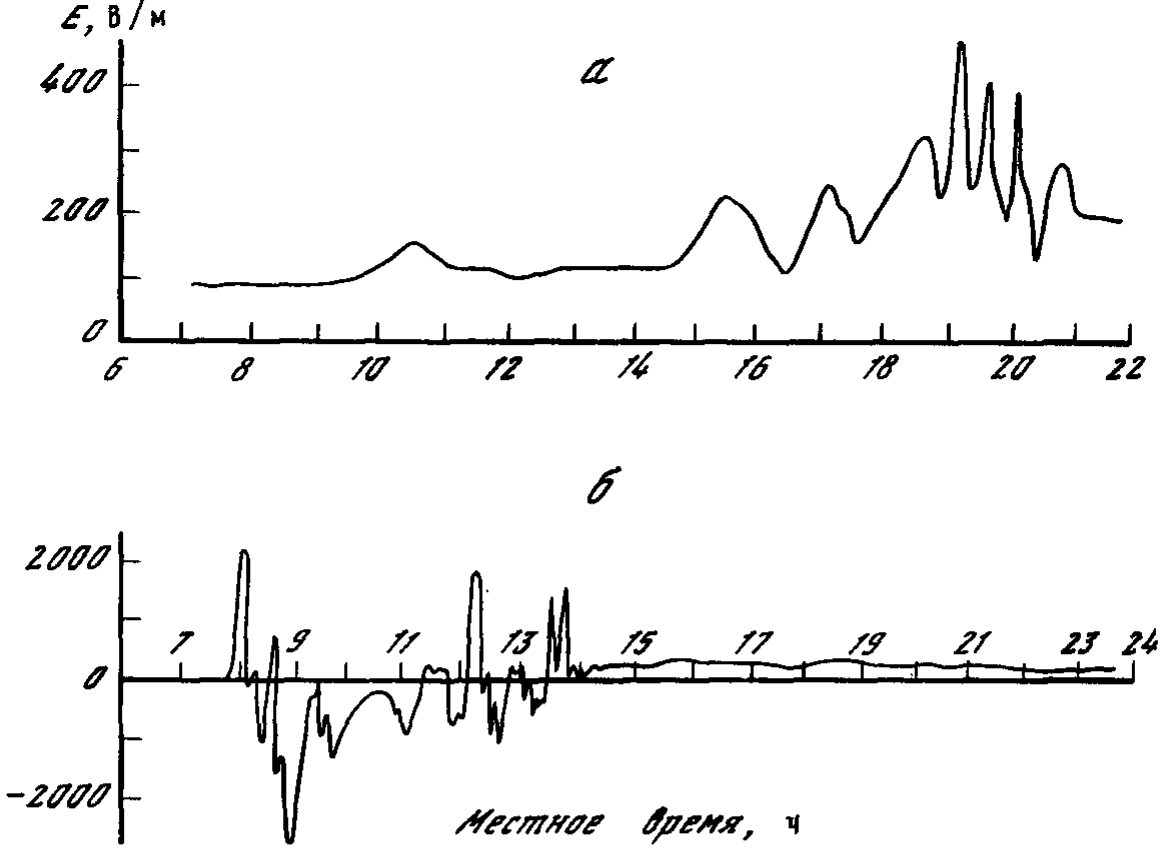
Одним из наиболее существенных эффектов действия на атмосферу солнечного излучения является ионизация составляющих ее газов. Она вызывается ультрафиолетовым и рентгеновским космическим излучениями. Преимущественное поглощение ионизирующего излучения Солнца в верхних слоях атмосферы и понижение плотности воздуха с высотой создают значительную неоднородность в высотном ходе удельной электрической проводимости воздуха, которая приблизительно экспоненциально увеличивается с высотой от значения 10^{-18} См·м$^{-1}$ у поверхности Земли, достигая величины порядка 10^{-7} См·м$^{-1}$ на высоте 100 км. Это различие величин проводимости позволяет рассматривать воздух у Земли как хороший изолятор, а в ионосфере и выше - как проводник. Ввиду еще более высокой электрической проводимости среды околоземного космического пространства Земля вместе с атмосферой относительно межпланетной среды представляется нейтральной. В земной атмосфере, однако, действует глобальный процесс разделения зарядов, в результате которого атмосфера постоянно содержит избыточный положительный объемный заряд, а на земной поверхности индуцирован нейтрализующий его поверхностный отрицательный заряд. Это разделение зарядов является причиной существования электрического поля в тропосфере. Величина и направление ЭП широко варьируют в пространстве и времени и зависят от погодных условий, орографии местности, времени года, суток и других факторов. В безоблачную погоду ЭП приблизительно вертикально и его напряженность уменьшается с высотой в среднем от 130 В/м у поверхности Земли до нескольких вольт на метр на высоте 10 км.

Одной из особенностей электрических процессов атмосферы является их двойственный характер - они одновременно порождают нелегко отделяемые один от другого эффекты местного и глобального масштабов.

Эффекты глобального масштаба проявляются в одновременном по всей Земле изменении напряженности ЭП атмосферы (унитарные вариации). Известны по крайней мере четыре периода унитарных вариаций ЭП: 11-летний, годовой, 27-суточный, суточный /1/. В годовом периоде поле принимает минимальное значение в июне, а максимальное - в январе /2/. В суточном периоде унитарная компонента поля минимальна в утренние часы (3-8 ч) и максимальна около 19 ч всемирного времени. Средние значения напряженности поля зависят от широты: они максимальны в умеренных широтах и минимальны у экватора и в полярных областях /3/.

Эффекты местного масштаба определяются метеорологичеокими условиями, характерными для данного района /4/ : облака, осадки, туман, метели, пыльные бури вызывают изменение напряженности поля с периодами в диапазоне от долей секунды до неокольких часов (рис. 18).

Источниками наиболее сильных полей в атмосфере являются грозовые облака, напряженность поля под которыми у земной поверхности дости-



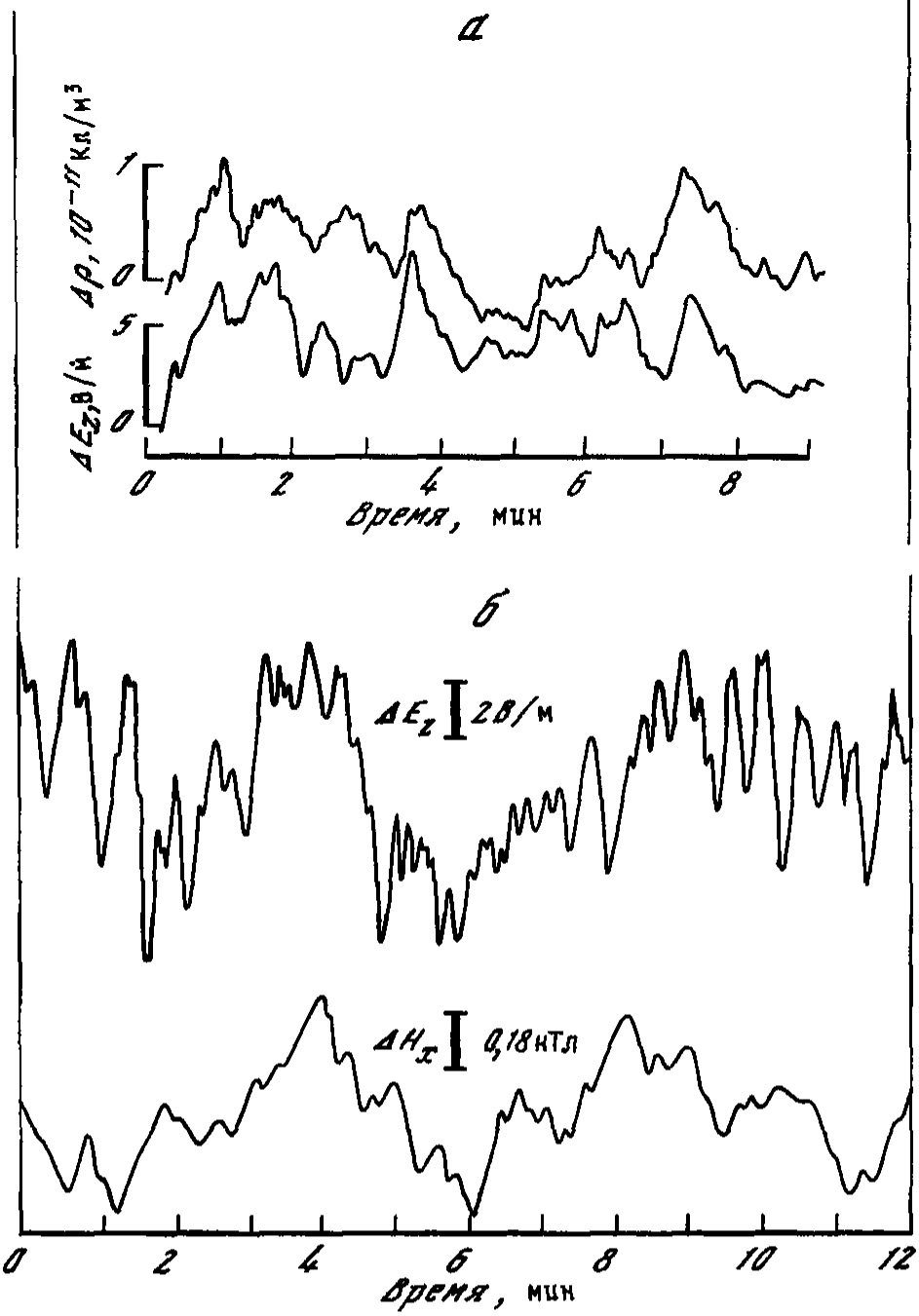
Р и с. I8. Изменение напряженности поля на на склоне Эльбруса (3060 м над уровнем моря)

а – в хорошую погоду и в тумане (после I5 ч), б – во время дождя и в хорошую погоду (после I4 ч)

гает 10^4 В/м. Грозовое облако являетоя также генератором электрических разрядов, вызывающих скачки напряженности поля у земной поверхности. Кучевые облака, в частности облака хорошей погоды, вызывают небольшие отрицательные изменения ЭП.

Флюктуации напряженности электрического поля в диапазоне периодов от I до 10^2 с наблюдаются в тропосфере даже при ясной погоде. Они могут порождаться многими источниками, определение которых производится по корреляции изменений напряженности электрического поля с другими гесфизическими характеристиками, например, с изменениями плотности объемного заряда воздуха (рис. I9,а). Поскольку источники геомагнитных пульсаций у поверхности Земли могут быть космической природы (см. п.I.6 наст. гл.), то частичная корреляция /5/ флюктуаций напряженностей электрического и магнитного полей (рис. I9,б) наводит на мысль о возможном существовании источников электрических пульсаций за пределами тропосферы.

За последние десятилетия значительно возрасла относительная роль антропогенных факторов в формировании электрических полей у земной поверхности. Радио- и телевизионные станции, линии электропередач, объемные заряды, возникающие в атмосфере в результате действия промышленности и транспорта, вследствие процессов горения, испарения, диспергирования веществ в воздухе, создают дополнительные изменения ЭП. Кроме

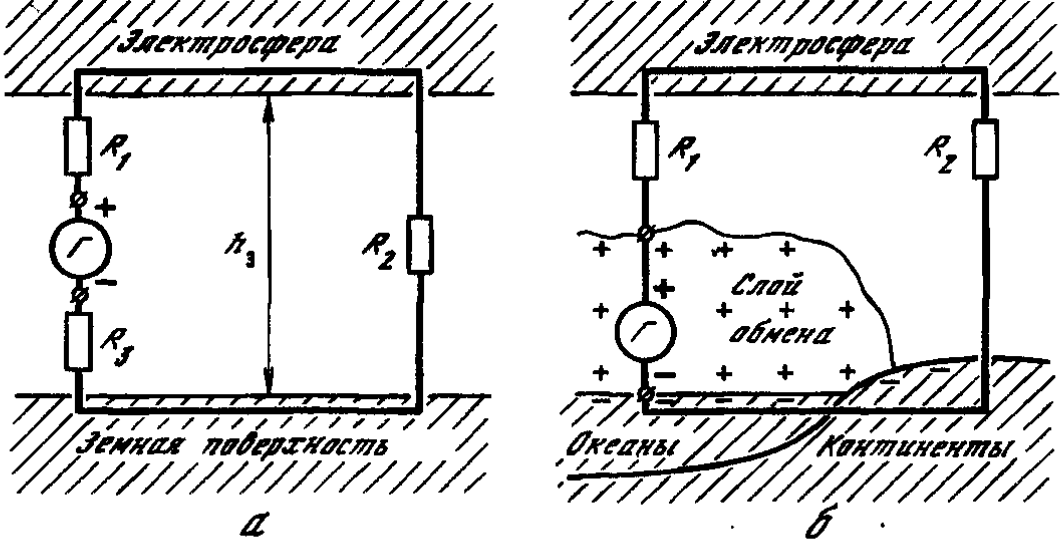


Р и с. I9. Одновременно измеренные пульсации плотности объемного заряда и вертикальной компоненты напряженнооти электрического поля (г. Долгопрудный, Московская обл.) (а) и напряженности электрического ΔE_z и магнитного ΔH_x полей (г.Борок, Ярославская обл.) (б)

того, искусственное введение веществ в атмосферу изменяет электричес - кую проводимость воздуха и влияет таким образом на напряженность естественного поля.

Итак, электрическое поле тропосферы является результатом векторного сложения компонент полей от различных источников: унитарной $\vec{E}_у$, общей для всей Земли, метеорологической $\vec{E}_м$ от местных метеорологичеоких источников, от источников солнечной и космической природы $\vec{E}_к$ и полей антропогенного происхождения $\vec{E}_а$:

$$\vec{E} = \vec{E}_у + \vec{E}_м + \vec{E}_к + \vec{E}_а \,. \qquad (I)$$



Р и с. 20. Эквивалентная схема атмосферной электрической цепи
а - общий случай, б - модификация для случая океанической модели

Из общих соображений, основанных на факте существования унитарной вариации с суточным и годовым периодами, следует, что электризация атмосферы причинно связана с положением Земли относительно Солнца. Механизм этой связи, как и механизм генерации атмосферных зарядов, в настоящее время полностью не раскрыт и составляет одну из главных проблем теории атмосферного электричества.

Для простоты рассуждений о возможной природе вариаций электричего кого поля обычно рассматривают эквивалентную схему глобальной электрической цепи (рис. 20), которую в простейшем случае можно моделировать генератором тока, расположенным в тропосфере, с последовательно включенными сопротивлениями R_1 - между верхним положительным полюсом генератора и проводящей верхней атмосферой - электросферой, R_2 - между электросферой и земной поверхностью в области отсутствия генерации зарядов, R_3 - между земной поверхностью и нижним отрицательным полюсом генератора (в случае, если процесс разделения зарядов происходит ощественно над земной поверхностью).

Использование условия непрерывности плотности вертикального тока проводимости j в виде

$$j = \lambda_0 E_y = \bar{\lambda} \bar{E}_y = \bar{\lambda} \varphi_э / h_э \quad , \qquad (2)$$

где E_y, $\bar{E}_y$, λ_0, $\bar{\lambda}$ - приземные и средние по вертикальному столбу величины напряженности унитарной компоненты ЭП и проводимости воздуха в точке измерения, $\varphi_э$, $h_э$ - потенциал и эффективная высота нижней границы электросферы в точке измерения, позволяет выразить унитарную компоненту в районе измерений соотношением

$$E_y = \bar{\lambda} U_г R_2 / \lambda_0 h_э (R_1 + R_2 + R_3), \qquad (3)$$

где $U_г$ - разность потенциалов на полюсах генератора.

В настоящее время существует несколько теоретических моделей физической сущности процесса разделения зарядов в глобальном масштабе. Наиболее распространенной является модель, в которой предполагается, что генераторами являются грозовые и другие облака, и унитарная вариация раосматривается как следствие изменения числа гроз (грозовая модель).

В грозовой модели атмосферного электричества выражение (3) может быть приведено к виду, явно отражающему одновременное действие n гроз:

$$E_y = \bar{\lambda} U_г R_2 n / \lambda_0 h_э (R_1^0 + n R_2 + R_3^0) \quad , \qquad (4)$$

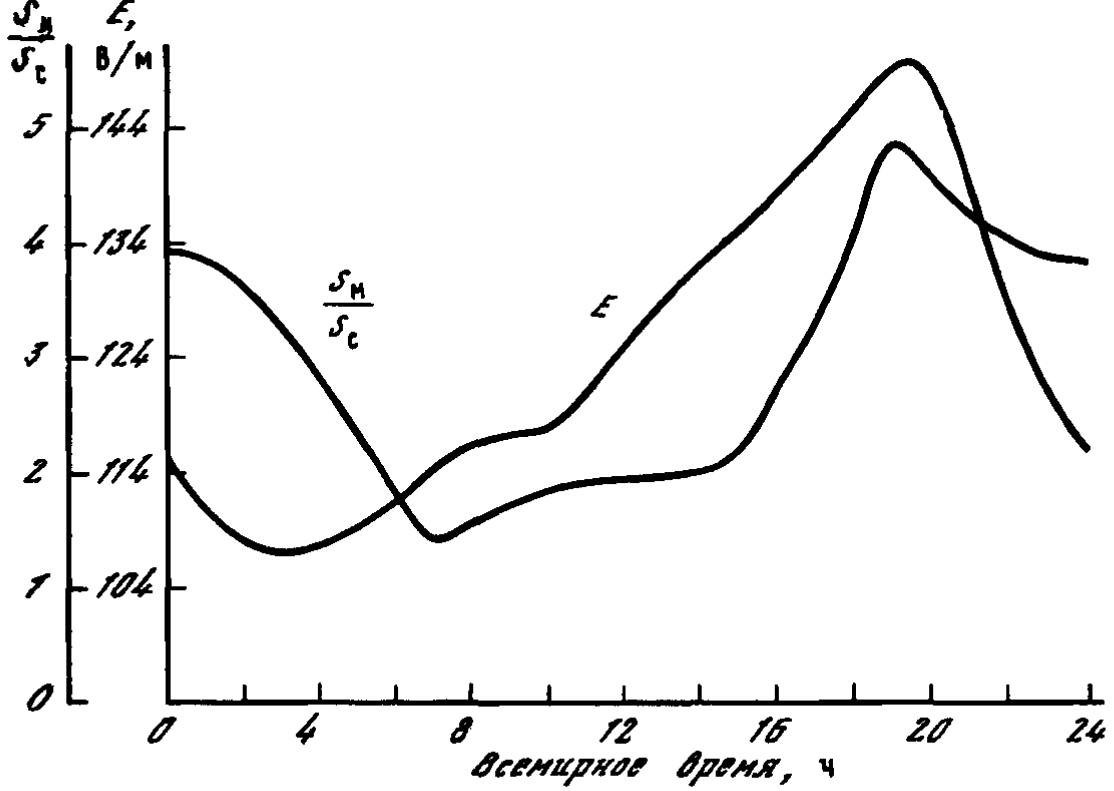
где R_1^0, R_3^0 – сопротивления атмосферы выше и ниже одного среднего грозового облака соответственно.

Поскольку в среднем на всей Земле происходит около I800 гроз /6/, т.е. n = I800, а по некоторым оценкам /7/ $R_1 = 2 \cdot 10^7$ Ом, R_2 = I45 Ом, то в выражении (4) $R_1^0 \gg n R_2$ и, следовательнс, при постоянных электрических параметрах атмосферы унитарная компонента пропорциональна числу гроз на Земле. Прямая зависимость между изменениями числа гроз на Земле и унитарной вариацией наблюдается в суточном периоде. В годовом периоде напряженность поля E_y с числом гроз n изменяется в противофазе /2,8/, что свидетельствует о превалирующей роли других факторов в формировании унитарной вариации.

Альтернативной является океаническая модель, строящаяся на эмпирическом факте корреляции (рис. 2I) унитарной вариации в суточном и годовом периодах с площадями океанов, освещаемых Солнцем /9,I0/. В океанической модели предполагается, что основным физическим процессом, приводящим к разделению зарядов в глобальном масштабе, является перенос испаряющейся водой положительного заряда в количестве порядка 10^{-10} Кл на I г испаренной воды /II/.

Источником поля в глобальном масштабе является положительный объемный заряд, перешедший с испаряющейся водой в слой обмена на уровне 2 –3 км над акваториями и находящийся в динамическом равновесии, т.е.в состоянии, когда ток генерации зарядов равен току его нейтрализации. Нейтрализация генерированного объемного заряда происходит токами, основная часть которых протекает через электросферу и тропосферу над сушей. Предполагается также, что унитарная вариация обусловлена периодической изменчивостью величин сопротивлений участков атмосферы над акваториями и над сушей. Эквивалентная схема атмосферно-электрической цепи, модифицированная на случай океанической модели (см. рис. 20,б), состоит из генератора, расположенного в слое обмена над акваториями, сопротивления между слоем обмена над акваториями и электросферой R_1, сопротивления атмосферы между земной поверхностью и электросферой над сушей R_2 ; $R_3 = 0$.

При положении Солнца, наиболее благоприятном для освещения аквато-



Р и с. 2I. Унитарная вариация ЭП и изменение площади океанической поверхности, освещаемой Солнцем, в суточном периоде [9]

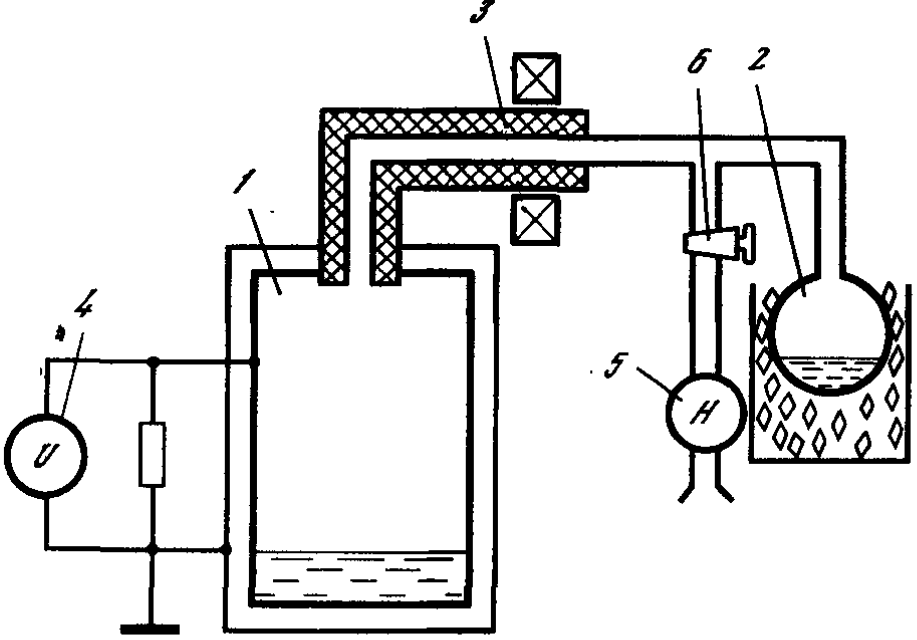
$S_м$ – площадь поверхности морей и океанов, $S_с$ – площадь суши

рий, иносфера над акваториями максимально ионизована и, следовательно, сопротивление атмосферы R_I между слоем обмена и электросферой минимально, а потенциал электросферы $\varphi_э$ и унитарная компонента $E_у$ согласно выражению (3) максимальны. При "неблагоприятном" положении Солнца величины $\varphi_э$ и $E_у$ минимальны.

Отсутствие надежных доказательств существования процесса разделения зарядов при испарении воды в нужном направлении и достаточном количестве в значительной степени связано с трудностью наблюдения тока и отсутствием обоснованных предотавлений о физическом механизме разделения заряда на поверхности раздела жидкой и твердой фаз. К настоящему времени известны лабораторные эксперименты, в которых наблюдался перенос положительного заряда паром при испарении воды с плоской жидкой поверхности [I2], с псверхности льда [I3], с поверхности капель [I4], а также при перегонке воды в вакууме [I5].

Одно из устройств для наблюдения переноса паром положительного заряда при испарении воды состоит из двух сообщающихся сосудов, частично наполненных водой (рис. 22).

Сосуд I, электрически изолированный от Земли и от сосуда 2 , помещен в электростатический экран. Сосуд 2 помещен в охладитель-нагреватель. Для предотвращения обводнения внутренней поверхности паропровод 3, выполненный из изоляционного материала, подогревается. Воздух из сосудов откачивается насосом 5 до давления пара. Создаваемое неравенство температур воды в сосудах приводит к перегонке пара в направлении более



Р и с. 22. Вариант устройства для наблюдения переноса паром при перегонке в вакууме положительного заряда /II/

I – изолированный сосуд с водой в экране, 2 – охлаждаемый или нагреваемый сосуд с водой, 3 – паропровод (изолятор) с нагревом, 4 – электрометрический вольтметр, 5 – вакуумный насос, 6 – вакуумный кран

холодного сосуда, при этом сосуд I заряжается отрицательно при перегонке пара в сосуд 2 и положительно при перегонке в сосуд I. Скорость заряжения определяется по падению напряжения на сопротивлении в цепи сосуда I и имеет порядок $3 \cdot 10^{-11}$ Кл на I г перегнанной воды /I5/.

Наблюдение разделения зарядов при испарении воды в лабораторных условиях является дополнительным подтверждением реальности океанической модели, тем не менее механизм разделения зарядов остается не выясненным. Анализ использованных методов наблюдения разделяющихся зарядов показывает, что результаты большой совокупности лабораторных работ, в том числе работ с отрицательными результатами /I6,I7/, могут быть объяснены на основе представления о чрезвычайно низкой подвижности переносчиков зарядов. К частицам, удовлетворяющим этому требованию, следует отнести сильно гидратированный ион и неионизированную молекулу воды, несущую гипотетический заряд величиной порядка 10^{-14} от элементарного /I2/. Окончательное решение вопроса о механизме разделения заряда требует дальнейших исследований.

Океаническая модель позволяет с единой позиции интерпретировать некоторые кажущиеся несвязанными наблюдаемые атмосферно-электрические эффекты. Рассмотрим некоторые из них.

1. Широтная зависимость унитарной вариации.

Выражение (3) и представление о влиянии солнечной (в основном волновой) радиации на проводимость атмосферы позволяет качественно объяснить известные широтные зависимости средних значений электрических полей (с максимумом в умеренных широтах) неоднородностью эффективной вы-

соты нижней границы $h_э$ электросферы: с увеличением уровня верхней границы тропосферы к экватору $h_э$ растет, а E падает; с увеличением углов освещения освещения атмосферы Солнцем к более высоким широтам условия для ионизации воздуха стансвятся менее благоприятными.

2.Вариации с максимумом в местный полдень и местное лето.

Соотношение (3) позволяет предвидеть наблюдаемые в ряде случаев вариации ЭП с максимумами в местный полдень (в суточном периоде) и местное лето (в годовом периоде), что объясняется снижением эффективнсй высоты электросферы при уменьшении зенитного угла освещения Солнцем местной атмосферы. Эта вариация должна наиболее четко проявляться на пиках гор, где вертикальное расстояние до электросферы минимально. Она наблюдается, в частноти, при измерениях суточных вариаций на склоне Эльбруса /I8/ и согласуется с суточными вариациями электронной плотности в ионосфере /I9/, которая характеризует ход проводимости в этой области (рис. 23).

3.Рост напряженности электрического поля после восхода Солнца.

С позиции океанической модели наблюдаемый рост поля в утренние часы над сушей может быть обусловлен двумя причинами: понижением эффективной высоты электросферы при освещении атмосферы Солнцем над точкой наблюдений и повышением скорости испарения влаги с земной поверхности. Аналитически рост напряженности поля в этот период выражается с учетом (2) соотношением

$$\frac{dE}{dt} = 4\pi\left(\alpha\frac{dm}{dt} - \lambda_0 E\right) + \frac{d}{dt}\left(\frac{\bar{\lambda}\varphi_э}{\lambda_0 h_э(t)}\right),$$

где $\frac{dm}{dt}$ - скорость испарения воды с единицы площади; $\alpha = 2\cdot10^{-10}$ Кл$\cdot$г$^{-1}$ /9/.

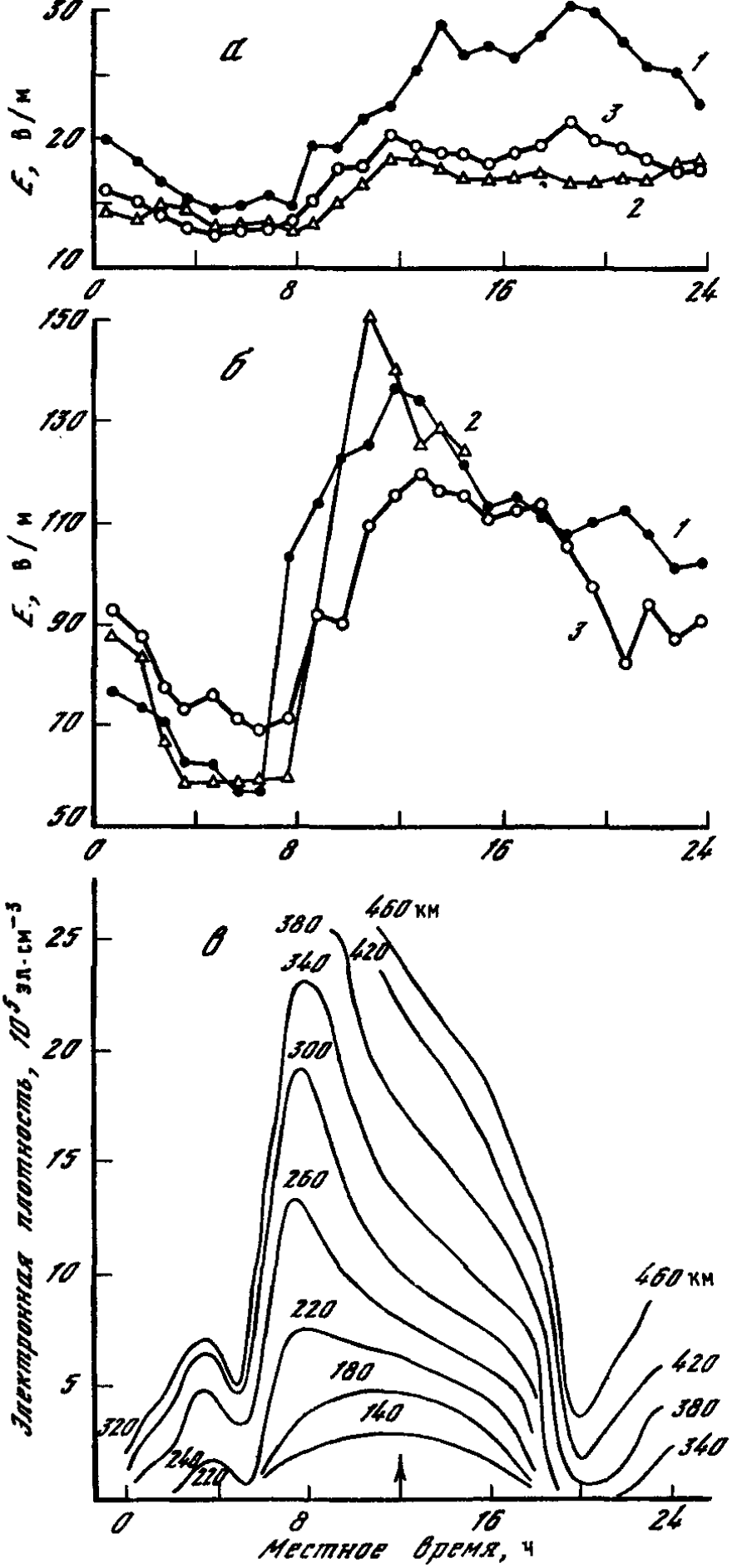
Если принять $\frac{dm}{dt} = 3\cdot10^{-6}$ г$\cdot$(см$^2\cdot$с)$^{-1}$ (что обычно реализуется в естественных условиях), то скорость роста напряженности электрического поля за счет испарения воды может составить 0,4 В$\cdot$(м$\cdot$с)$^{-1}$. Этой величины достаточно для количественного объяснения эффекта восхода Солнца.

4.Пульсации электрического поля.

Как отмечено выше, пульсации электрического поля в безоблачную погоду могут быть вызваны причинами как местного, так и глобального масштабов. Однако до настоящего времени остается открытым вопрос о механизмах действия ксемических факторов, которые могут быть причиной корреляции электрических и геомагнитных пульсаций типа Pc 2-4, наблюдающихся у поверхности Земли в средних широтах /20/.

Если считать доказанным, что причиной геомагнитных пульсаций является неустойчивость окружающей Землю космической плазмы, то установление корреляционной связи электрических и магнитных пульсаций дает основание для заключения о наличии у поверхности Земли космической компоненты электрического поля.

Механизм, обусловливающий корреляцию одновременных изменений электрического и магнитного полей, можно гипотетически построить в рамках



Р и с. 23. Суточные вариации напряженности электрического поля, усредненные за годы 1957 (1), 1958 (2), 1959 (3), в районе Эльбруса [18] (а,б) и пример суточных вариаций концентраций электронов в ионосфере [19] (в)

а – долина Азау, 2140 м над уровнем моря, б – пик Терскол, 3060 м над уровнем моря

океанической модели. Ввиду существенно неоднородного распределения акваторий на земной сфере положительные объемные заряды слоя обмена над акваториями и отрицательные заряды, индуцированные на испаряющей водной поверхности, могут быть аппроксимированы совокупностью диполей с моментами порядка $10^{8} - 10^{9}$ Кл·м, которые способны создавать на расстояниях до 1-2 земных радиусов в магнитосфере ЭП напряженностью 10^{-2}-10^{-1} В/м.

Эти крупномасштабные поля ввиду дипольного характера не могут быть полностью экранированы в ионосфере и требуют для своей компенсации объемного распределения зарядов за ее пределами, т.е. в магнитосфере. Существование дипольного периодически изменяющегося поля в магнитосфере ст истсчника в тропосфере должно приводить к ряду эффектов, а именно :

к ускорению заряженных частиц вдоль силовых линий магнитного поля на расстояниях, сравнимых с земным радиусом, до энергии порядка 10 - 100 КэВ;

к накоплению объемных зарядов в магнитных сболочках магнитосферы до состояния, обеспечивающего их эквипотенциальность, и к образованию компоненты ЭП у земной поверхности от объемных зарядов в магнитосфере;

к дрейфу накопленных объемных зарядов в скрещенных электрическом и магнитном полях и возникновению вследствие этсго электричеоких токов, создающих у земной поверхности компоненту МП. В этих условиях изменяющаяся во времени деформация магнитосферы солнечным ветром должна приводить к перераспределению в ней объемных зарядов и, следовательно, к одновременным пульоациям электрического и магнитного полей.

Приведенная качественная картина, возможно, не является единственной причинсй корреляции электрических и магнитных пульсаций, однако для развития исследований в этой важной области она, с нашей точки зрения, может быть плодотворной.

Таким образом, анализ фактического материала приводит к заключению, что эффект разделения зарядов при испарении воды с поверхности акваторий, турбулентный перенос объемных положительных зарядов над земной поверхностью, периодическое изменение степени ионизации верхних слоев атмосферы под действием солнечного излучения являются основными процессами в формировании унитарных вариаций ЭП атмосферы. Изменение метеорологических условий - облака, осадки и т.д., а также антропогенные источники вызывают дополнительные локальные изменения поля у поверхности Земли. Пульсации электрического поля в безоблачную погоду вызываются переносом объемных зарядов воздухом в окрестности точки измерения и, возможно, быстрыми изменениями электрического состояния атмосферы в глобальном масштабе.

Задача дальнейших исследований в области атмосферного электричества ссстоит в разработке методики выделения из общей совокупности полей у земной поверхности компонент от различных источников, в изучении морфологии и закономерностей их изменений и в создании на основе этого количественной теории работы глобальных и локальных источников электрических полей.

Литература

I. Israel H.R, Stmosphärisohe Electrizität. Leipzig: Akad. Verl., 1961, Bd.1. 503 S.

2. Парамонов Н.А. О годовом ходе градиента атмосферно-электрического потенциала. - Докл. АН СССР, I950, т.7I, № I, с.34-40.

3. Лободин Т.В. О связи унитарной вариации градиента атмосферно-электрического потенциала с грозовой деятельностью.-Геофиз.бюл.МГК при Президиуме АН СССР, I963, № I3, с.34-37.

4. Красногорская Н.В. Атмосферно-электрические измерения в районе Эльбруса. - В кн.: Физика облаков и осадков. М.: Изд-во АН СССР, I96I, с.I27-I33.

5. Красногорская Н.В., Ремизов В.П. О некоторых результатах измерения вариаций электрического поля Земли. - Докл. АН СССР, I973, т.2I2, № 2, с.345-348.

6. Brooks C.E.P. The distribution of thuderstorms over the globe. - Geophys. Met., 1925, N 24, p.145.

7. Каземир Г. Грозовое облако. - В кн.: Проблемы атмосферного электричества. Л.: Гидрометеоиздат, I969, с.I46-I65.

8. Krumm H.C. Die Weltzeitliche Tagesgang der Gewitterhäntigkeit. - Zitschr. Geophys., 1962, Bd.28, N 2, S. 85-104.

9. Герасименко В.И. К вопросу о причинах унитарной вариации электрического поля атмосферы. - Ученые зап. Лен.высш. инж. морского уч-ща им. адм. Макарова, I958, вып.I0, с.79-84.

I0. Герасименко В.И. Годовые вариации электрического поля атмосферы и планетарной неоднородности освещенной поверхности Земли. - Тр. ГГО, I974, вып.323, с.I37-I42.

II. Похмельных Л.А. О существовании электризации воды при испарении. - Тр.ЦАО, I980, вып.I42, с.I09-I20.

I2. Похмельных Л.А. О механизме регенерации положительных зарядов земной атмосферы. - В кн.: Анализ современных задач в точных науках, М.: УДН, I973, с.I49-I56.

I3. Latham J., Stow C.D. Electrification of evaporation of ice crystals. - Tokyo Conf., Tokyo, 1965, p.352-356.

I4. Allier I., Lafargue C. Electrisation de gouttes de solutions salines aqueuses par évaporation ou par condensation de la vapeur d'eau. - J.rech.atoms., 1977, vol.II(2), p.121-139.

I5. Krasnogorskaya N.V., Pokhmelnikh L.A. On the origin of variation of the electric field of the Earth's atmosphere. - In: Intern. Conf. on Atmos.Electricity. Manchester, 1980.

I6. Israel H., Knopp R. Zum Problem der Ladungbildung beim Verdaumpfen. - Arch.Meteorol., Geophys. and Bioklimatol., 1962, vol. A 13, p.199-206.

I7. Azad A.K., Latham J. Electrification associated with the evapo-

ration of water and ionic solutions. - J. Atmos. and Terr.Phys., 1967, vol.29, N 11, p.1403-1410.

I8.Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, I972. 322 с.

I9.Ван Зант Т., Кнехт Р. Строение и физика верхней атмосферы. - В кн. Космическая физика /Под ред. Д.П.Ле Гелли, А.Розена. М.: Мир, I966, с.I55 - 220.

20.Красногорская Н.В., Ремизов В.П. Вариации электрического поля атсосферы Земли. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, I975, т.I, с.49-56.

I.6. Электромагнитное поле атмосферы Земли инфранизкочастотного диапазона

Исследование физики верхних слоев атмосферы при помощи ракет и спутников открывает новые возможности в решении проблемы установления причин временных изменений ЭП. Изучение потенциала Земли по отношению к космическому пространству и его вариаций в связи с процессами на Солнце и другими крупномасштабными геофизическими явлениями, а также дальнейшее развитие методов диагностики свойств магнитосферной плазмы по наземным данным требуют постановки и проведения комплексных экспериментов по измерению пульсаций электрических и магнитных полей.

Возмущения электрических параметров тропосферы (градиента потенциала, объемных зарядов и тока проводимости) изучались ранее /I,2 / в связи с метеорологическими условиями. В возмущенных условиях погоды пульсации ЭП и тока определяются перемещением в пространстве зарядов, носителями которых являются частицы облаков, осадков, тумана. Но пульсации тока проводимости и электрического поля, как указано в п.I.5 наст. гл., осуществуют и в безоблачную погоду.

Механизмы возмущения электрических параметров тропосферы, наряду с другими причинами, обусловлены атмосферной турбулентностью и содержанием аэрозоля /3/, что приводит к образованию областей с различной проводимостью и к формированию объемных зарядов, так что пульсации атмосферно-электрических величин должны рассматриваться как результат процесса атмосферного обмена. Характерный период пульсаций, рассматриваемых в работе /3/, составляет более 300с. Пульсации атмосферно-электрических параметров существуют и при меньших периодах - ст сотен до единиц секунд (см., например, рис. I9). За этой областью частот следуют пульсации, вызванные грозовыми разрядами (см. п. I.7 наст. гл.).

Физической предпосылкой для постановки экспериментальных исследований связи электрических и магнитных вариаций ЭМП атмосферы Земли послужил сложный комплекс явлений взаимодействия магнитосферы Земли с потоками солнечной плазмы (солнечным ветром). Как результат этих

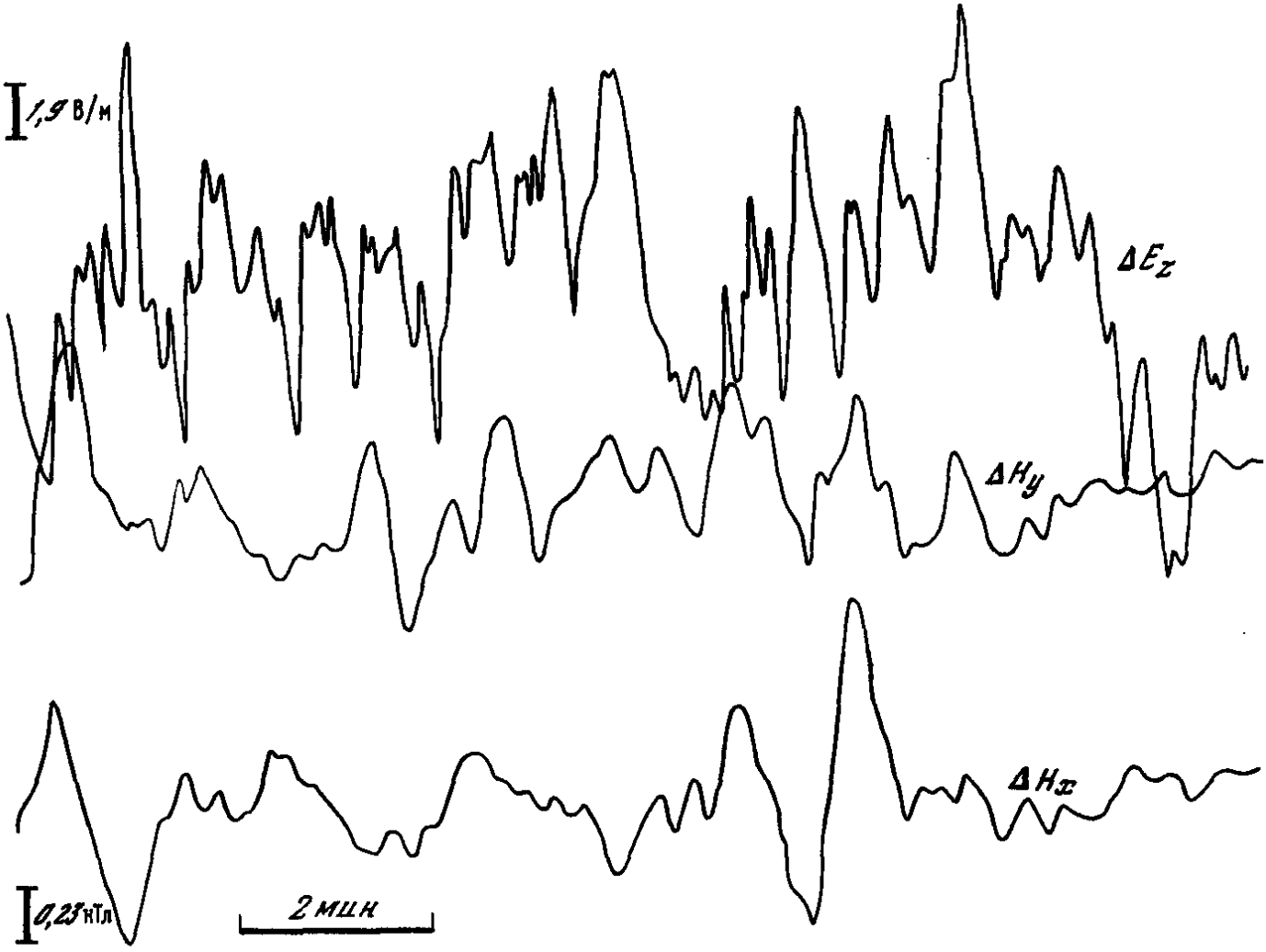
процессов, в наземных условиях регистрируются геомагнитные пульсации в диапазоне частот меньше 5 Гц /4/. Обнаружен также ряд экспериментальных фактов /5,6/, указывающих на связь пульсаций градиента потенциала ЭП тропосферы с авроральной активностью.

Исследование корреляционных связей пульсаций электрического и магнитного полей основывается на предположении, что волновые процессы, обусловленные электродинамическими явлениями в магнитосфере и ионосфере, являются источниками единого электромагнитного поля в тропосфере. Электромагнитное поле пульсаций при наблюдениях на поверхности Земли может быть аппроксимировано плоской неоднородной волной, что связано с одновременным существованием шести компонент естественного ЭМП /7/. Вследствие горизонтального распространения пульсаций ЭМП (которое для магнитных компонент обнаружено экспериментально) волновой вектор плоской неоднородной волны имеет горизонтальную проекцию. Поэтому ряд закономерностей временного и пространственного поведения возмущений магнитного и электрического полей тропосферы может быть общим. Однако полное совпадение морфологических характеристик электрических и магнитных пульсаций невозможно, так как условия распространения в волноводе Земля-ионосфера электрических и магнитных составляющих ЭМП определяются различными факторами (см., напр., п. I.4 и I.5 наст. главы). Следовательно, попытка провести общую классификацию электрических и магнитных пульсаций не оправдана, тем более что на характер электрических пульсаций в тропосфере оказывает влияние ряд дополнительных факторов не только в возмущенную погоду (изменение объемного заряда частиц облаков, осадков, тумана и пр., не влияющих на магнитные компоненты), но и в безоблачную погоду (турбулентный перенос объемных зарядов, обусловленных источниками аэрозольных загрязнений, влажностью, процессами испарения и конденсации и т.д.).

В п.I.5 рассмотрена проблема вариации электрического поля атмосферы Земли в диапазоне периодов от годовых и суточных до короткопериодных пульсаций электрического поля, генерируемых различными источниками как глобального, так и местного масштабов. Мы же проанализируем спектральные характеристики синхронных измерений магнитных и электрических пульсаций в диапазоне частот от 0,002 до 0,2 Гц.

Измерения пульсаций вертикальной составляющей ЭП E_z выполнялись динамическим полемером (см. т.I, гл.Ш, п.I.I), частотная характеристика которого выбиралась близкой к частотной характеристике магнитометра, регистрировавшего горизонтальные составляющие ГМП H_x и H_y. Измерения проводились в период I972 - I976 гг. в средних широтах (г.Борок, Ярославская обл. и с. Михайловское, Московская обл.)/8/.

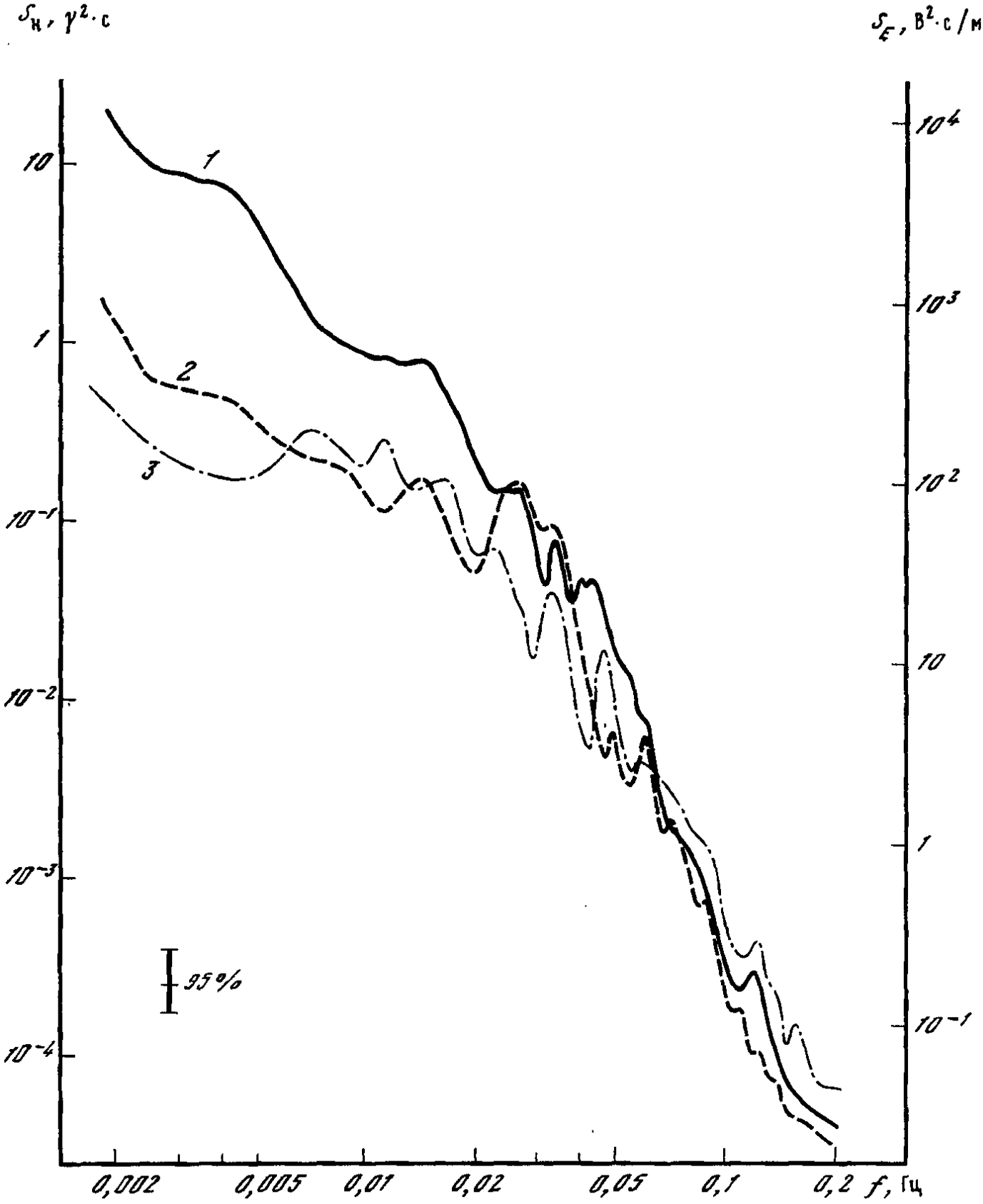
Примеры временных реализаций составляющих электрического и магнитного полей E_z, H_x, H_y в безоблачную погоду приведены на рис.24 а.



Р и с. 24а. Примеры временных реализаций электрических E_z и магнитных H_x и H_y составляющих пульсаций (г.Борок, Ярославская обл.)

Для вычисления оценок корреляционной функции и частотного спектра длина реализации выбиралась обычно равной 60 мин. Аналоговые записи дискретизировались с интервалом Δt, равным 2,4 с. Величина интервала дискретизации Δt выбиралась с учетом резкого спада частотной характеристики использованных электрических фильтров для периодов меньше 5 с. Максимальная частота $f_N = 1/2\Delta t$, для которой вычислены спектральные оценки, равна в нашем случае 0,21 Гц. Сглаженные оценки спектральной плотности $S(f)$ получены при использовании корреляционного окна Тьюки, ширина полосы частот которого l равна [9]: $l = 1{,}333\, m^{-1}\, \Delta t^{-1}$, где m - число точек корреляционной функции.

Несмотря на то что оценки спектральной плотности получены с интервалом $\Delta f = 1/2m\Delta t$, разрешение по частоте вследствие сглаживания определяется расстоянием между двумя некоррелированными оценками $S(f)$ и равно ширине полосы частот спектрального окна. Таким образом, все особенности частотных спектров магнитных и электрических пульсаций можно считать статистически обоснованными, если их ширина больше или сравнима с шириной полосы частот спектрального окна. Для



Р и с. 24б. Спектральные плотности энергии магнитных H_x и H_y (кривые I,2) и электрической E_z (кривая 3) составляющих электромагнитного поля атмосферы Земли инфранизкочастотного диапазона

устранения низкочастотных трендов и связанных с ними искажений спектра в области высоких частот исходные реализации подвергались предварительной низкочастотной фильтрации. Цифровой фильтр задавался в виде:

$$\tilde{x}_i = \frac{1}{2p} \sum_{q=0}^{2p} x_{i+q} \left[1 + \cos \frac{\pi (q-p)}{p} \right], \quad 1 \leq i \leq N - 2p ,$$

где $\tilde{x}_i$ - сглаженный ряд, x_i -исходный ряд, N - число точек исходной реализации, p - параметр фильтра. Результаты фильтрации вычитались из исходного ряда x_i, находился пульсационный ряд $x_i' = x_{i+p} - \tilde{x}_i$, длина которого равна $N - 2p$ точек, i - номер точки. Параметр p принимался равным 75. Оценки спектральной плотности в области низких частот были выполнены с учетом частотной характеристики фильтра.

Сглаженные спектральные оценки спектральной плотности являются случайными величинами, плотность вероятности которых имеет χ^2 - распределение с ν степенями свободы, и требуют определения доверительных интервалов. Число степеней свободы ν сглаженных спектральных оценок при использовании окна Тьюки равно [9]: $\nu = 2,667 N/m$.

Доверительные интервалы с требуемой вероятностью при известных ν находятся по таблицам χ^2 - распределения (в нашем случае доверительный интервал с вероятностью 0,95 указан на рис.24 б).

Длина отобранного для обработки ряда составляла 1500 точек, а длина корреляционной функции задавалась в интервале от 100 до 200 точек. Ширина спектрального окна изменялась соответственно от 0,0056 до 0,0026 Гц, а число степеней свободы - от 20 до 40. Таким образом, по часовым реализациям при выбранной длине корреляционной функции можно получить частотные спектры электрических и магнитных пульсаций в диапазоне периодов от 5 до 480 с.

Типичные частотные спектры электрических и магнитных пульсаций приведены на рис.24б. Как следует из графиков, в экспериментальных спектрах можно выделить два участка. В области частот 0,025 Гц $\leq f \leq$ 0,15 Гц зависимость спектральной плотности аппроксимируется степенной функцией: $S(f) \sim f^{-n}$, где величина n близка к 4.

Характерной особенностью спектральных кривых в этом диапазоне частот являются отчетливо выраженные пики, которые достаточно хорошо разрешены по частоте. В области частот ниже 0,025 Гц наклон спектральных кривых уменьшается. Однако выбор аппроксимирующей функции затруднителен, так как для этого необходимо знать поведение спектров на более низких частотах.

Наличие пиков в спектрах электрических и магнитных составляющих отражает, возможно, природу возбуждения ЭМП [10].

Следует отметить, что наиболее мощные пики в спектрах электриче-

ских и магнитных составляющих совпадают по частоте: 0,014, 0,025, 0,032, 0,05 Гц. Поэтому представляет интерес определение степени взаимосвязи между этими процессами. Коэффициент взаимной корреляции H_x и H_y достаточно высок и достигает 0,8. Коррелированность электрических и магнитных пульсаций значительно ниже и не превышает 0,3, что указывает на слабую статистическую связь этих процессов или на нелинейный механизм их взаимодействия.

Итак, исследования по большим реализациям корреляционной связи между вертикальной электрической и горизонтальными магнитными компонентами электромагнитного поля в диапазоне частот 0,01 - 0,1 Гц приводят к заключению об отсутствии линейной зависимости между геомагнитными и электрическими компонентами электромагнитных полей в указанном диапазоне частот (если не ограничиваться при обработке лишь теми участками записи, где корреляция наблюдается визуально). Полученный вывод находится в соответствии с предположением о том, что электрическая и магнитная компоненты электромагнитной волны подвергаются влиянию физических факторов неодинаковой природы, что ослабляет ожидаемую корреляционную зависимость.

Синхронные измерения электрических и магнитных пульсаций в нескольких пунктах на различных широтах будут способствовать более точному определению глобальной электрической компоненты ЭМП.

Литература

1. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоиздат. 1949. 252 с.
2. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 323 с.
3. Israel H. Die luftelektrische unruhe. - Ztschr.Geophys., 1958, Bd.24, N 4/5, S.277-283.
4. Пудовкин М.И., Распопов О.Н., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976. Ч.2. 270 с.
5. Olson D.E. The evidence for auroral effects on atmospheric electricity. - Gageoph., 1971, vol.84, N 1, p.118-138.
6. Жулин И.А., Землянкин Г.А., Канониди Х.Д. и др. Авроральные эффекты в медленных вариациях и короткопериодических колебаниях градиента потенциала атмосферного электричества магнитосферного происхождения.-Геомагнетизм и аэрономия, 1977, № 5, с.879-884.
7. Липская Н.В. О выборе модели естественного переменного электромагнитного поля. - Изв. АН СССР. Физика Земли, 1978, № 12, с.60- 71.
8. Красногорская Н.В., Ремизов В.П. О некоторых результатах измерения вариаций электрического поля Земли.- Докл. АН СССР, 1973, т. 212, № 2, с.345-349.

9. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1971. Т. I. 316 с.; Т.2. 287 с.
10. Devidson W.J. Averege diurnal characteristics of geomagnetic power spectrums in the period range 4.5 to 1000 seconds. - JGR, 1964, vol. 69, N 23, p.5116-5119.

1.7. Атмосферики и их природа

Радиотехника начиналась с приема и регистрации атмосфериков, но если с результатами ее развития теперь практически знакомы все, то о работах по исследованию атмосфериков знают только специалисты. В этих работах ставились и решались совершенно конкретные задачи о создании методов дистанционного обнаружения и локализации грозовых очагов, о получении характеристик естественных помех радиоприему, об изучении особенностей распространения радиоволн в волноводе Земля-ионосфера. Не нужно было задумываться над вопросами о связи атмосфериков с молниями или о возможном влиянии атмосфериков на радиоприем - атмосферики сами заявляли об этом, все связи и влияния проявлялись непосредственно без участия каких-либо посторонних факторов.

Атмосферики, генерируемые молниями, подобно всем очень коротким электромагнитным импульсам, имеют широкий спектр, т.е. могут приниматься во всем радиодиапазоне и даже на частотах порядка единиц герц. Поэтому для регистрации формы атмосфериков с помощью электронно-лучевых трубок применялась аппаратура, имеющая с учетом эквивалента антенны широкую полосу пропускания различных частот (обычно от десятков герц до десятков или сотен килогерц) и принимающая радиоволны длиной больше километра. На небольших расстояниях от молнии (примерно до 100 км) атмосферики имеют вид короткого апериодического импульса преимущественно положительной полярности [1-3]. При дальнейшем увеличении расстояния атмосферики постепенно приобретают колебательный характер и на больших расстояниях (порядка нескольких тысяч километров) имеют вид квазисинусоидальных колебаний, содержащих примерно до десятка квазипериодов. Такое изменение формы сигнала характерно для случая прохождения его через узкополосный фильтр, которым в естественных условиях является "щель" между поверхностью Земли и нижней границей ионосферы, называемая волноводом Земля-ионосфера. Лишь изредка, при не вполне выясненных до сих пор условиях их возбуждения, низкочастотные атмосферики могут проходить через ионосферу, распространяясь вдоль магнитных силовых линий и возвращаясь на Землю в магнитосопряженной точке (иногда и обратно). Вследствие воспринимаемого на слух характерного изменения частоты колебаний низкочастотные атмосферики получили название "свистящих атмосфериков" или просто "свистов" [4]. Изучение свистов представляет большой интерес для исследований магнитосферы, но, как правило, они значительно слабее обычных

атмосфериков, распространяющихся в волноводе Земля-ионосфера, и поэтому рассматриваться не будут.

Основная (головная) часть атмосферика с квазичастотой порядка f = 10 кГц сопровождается иногда на больших расстояниях очень низкочастотным "хвостом", имеющим форму сильно затухающего колебания с квазичастотой порядка сотен герц. Промежуток между "головной" частью и "хвостом" возрастает с увеличением расстояния до разряда, однако попытки использовать этот параметр для локализации источников атмосфериков [3,5] нельзя считать достаточно обоснованными [6]. Дискретный характер имеют как сами атмосферики, появляющиеся в виде отдельных импульсов или пакетов инфранизкочастотных колебаний со скважностью, значительно превышающей их длительность, так и узкополосные составляющие атмосфериков, регистрируемые настроенными приемниками с рабочей частотой выше нескольких сотен герц, если чувствительность их не слишком высока и полоса пропускания не слишком мала. Однако на частотах в десятки герц при ширине полосы такого же порядка и большой чувствительности приемника атмосферики сливаются в непрерывный шумовой сигнал с отдельными всплесками, которые примерно один раз в минуту в 2-3 раза больше уровня фона и один раз в 10 мин превышают фон в 10 раз [7]. Эти всплески создаются в любом месте земного шара лишь теми из молний, которые имеют исключительно большую силу. По ориентировочной оценке такой силой обладает только одна из 4000 молний [8].

В среднем атмосферики характеризуются достаточно определенно выраженной зависимостью их амплитуд от частоты, на которой они принимаются. Установлено, что в диапазоне частот примерно выше 10 кГц средние амплитуды атмосфериков обратно пропорциональны частоте [9]. На частотах ниже 5-10 кГц средние амплитуды атмосфериков убывают вплоть до частного минимума около 2 кГц, вызванного интенсивным поглощением радиоволн в области критической частоты волновода Земля-ионосфера [3,10]. Дальнейшее снижение частоты сопровождается снова ростом спектральных амплитуд атмосфериков, но остающийся нижний участок спектра становится все более узким.

Спектры индвидуальных атмосфериков могут иметь значительные нерегулярные отклонения от указанных оредних зависимостей, что делает, в частности, малоэффективным использование соотношения амплитуд на разных частотах для оценки расстояния до источников атмосфериков [11]. Однако осредненные компоненты спектров близких атмосфериков (так же, как их форма) практически существенно не зависят от места наблюдений. Например, счетчики местных грозовых разрядов, работающие на частоте 60 кГц и проградуированные в Главной геофизической обсерватории (то есть в условиях северо-запада Европейской части СССР), регистрировали разряды в той же заданной зоне до 200 км как в других районах СССР, так и в Экваториальной Африке /12/.

Однотипность средних характеристик атмосфериков позволяет наблюдать за естественным фоном импульсных электромагнитных колебаний путем регистрации атмосфериков, принятых в течение определенного времени. В качестве обязательного элемента в счетчиках молний имеется антенна. Магнитные (рамочные) антенны, обладающие резко выраженной направленностью и сравнительно меньшей чувствительностью в диапазоне длинных волн, потребовали бы использования усилительных устройств, что крайне нежелательно по ряду практических соображений. Поэтому в счетчиках молний применяются только электрические (преимущественно штыревые) антенны. Частотная характеристика счетчиков, которой в значительной степени определяются их рабочие свойства, существенно зависит от характеристики (эквивалента) антенны. В диапазоне длинных волн эквивалент применяемых коротких антенн имеет емкостный характер.

Современные полупроводниковые счетчики [13] местных грозовых разрядов с автономным питанием от сухих батарей, работающих в течение целого сезона (особенно в случае рационального выбора рабочего диапазона, очень коротких штыревых антенн и электромеханического цифрового счетчика вместо самописца), являются достаточно простыми и весьма надежными приборами. На основании известных данных о распространении радиоволн [3,9] для приема близких атмосфериков в радиусе меньше 200–400 км естественно использовать диапазон волн короче 10 км, применяя соответствующий фильтр верхних частот (образованный входной цепью вместе с антенной), а для приема дальних атмосфериков – длиннее 10 км. Целесообразно было бы снабдить такими простыми приборами, отмечающими местные грозы в радиусе примерно до 20 км, все метеостанции, что может резко повысить качество метеорологических наблюдений за грозовой деятельностью. Счетчики местных грозовых разрядов (или аналогичные им приборы), предназначенные для получения преимущественно режимных данных об уровне грозовой деятельности и его вариациях, вследствие своей простоты могут быть использованы непосредственно в медицинских учреждениях при проведении исследовательских работ [14,15].

Простота наблюдений за местными атмосферическими привлекала внимание в течение длительного времени. Решение гораздо более сложной проблемы локализации далеких грозовых очагов по данным однопунктных наблюдений за атмосферическими по существу не требовало дальнейшего развития технических средств, но оказалось возможным только в результате использования принципиально новых идей, реализованных на основе фазовых измерений [16–18]. Результаты однопунктных наблюдений за далекими атмосферическими с точки зрения геофизики наиболее интересны, так как дают возможность получить крупномасштабную характеристику грозовой деятельности, позволяют выяснить грозовую обстановку в районах, недостаточно освещенных обычными метеорологическими данными, и попутно ха-

рактеризовать закономерности распространения радиоволн в используемом низкочастотном диапазоне.

Разработки последнего периода (примерно с середины 1960-х гг.), связанные с применением фазовых методов в качестве физической основы дальних наблюдений [19,20] и технического приема при регистрации ближних грозовых очагов [21, 22], относятся к главным достижениям в расматриваемой области, ликвидировавшим определенный застой, сложившийся при постепенне изживавших себя старых базисных методах пеленгования гроз [17]. С новыми методами пеленгования можно ознакомиться подробнее по статьям [17, 20], обзору [18] и по обобщающей их монографии [19].

Атмосферики изучаются также с целью получения данных о характеристиках и глобальном распределении атмосферных радиопомех, причем обобщением полученных результатов специально занимается 8-я комиссия Международного научного радиосоюза (МНРС) и Международный коноультатиьный комитет по радиосвязи (МККР) [23]. Наиболее полные характеристики атмосферных радиопомех получаются при использовании специальной аппаратуры, предназначенной для определения вероятности превышения помехами пороговой напряженности поля в зависимости от величины порога [1, 24]. В отчетах, публикуемых МККР, даются мировые карты средней напряженности поля атмосферных радиопомех для различных сезонов и разного времени сутск (по часовым интервалам), а также ряд вспомогательных графиков и соотношений для перехода к выбранной рабочей частоте и ширине полосы. В качестве примера отдельные карты МККР очень часто воспроизводятся в различных книгах по радиотехнике (см., например, [25, 26]). Менее определенные относительные оценки распределения средней интенсивности атмосфериков можно получить по картам ореднего числа дней с грозой, составленным по данным беоприборных метеорологических наблюдений Всемирной метеорологической организацией (ВМО) [27].

Суточные и годовые вариации среднего числа атмосфериков, принимаемых с ограниченной площади с припуоком более слабых разрядов, получаются по данным непосредственных измерений, причем в случае большего ограничения дальности приема эти вариации непосредственно связаны с местной грозовой деятельностью. Средний оуточный ход грозовой деятельности на суше характеризуется, как правило, макоимумом в послеполуденные часы и минимумом утром (по местному времени), что обусловливает такие же колебания среднего числа близких атмосфериков [28]. Годовой ход на континентальных станциях умеренных широт также имеет вид простой волны с максимумом летом. В тропической зоне годовой ход не связан однозначно с широтой, поэтому, например, в Африке было выделено несколько подрайонов с различным годовым ходом грозовой деятельности [29]. При регистрации атмосфериков высокочувствительными приборами с дальностью приема до нескольких тысяч кило-

метров (что обеспечивается, в частности, при пороге срабатывания порядка I мВ/м на частоте 7 кГц о полосой около I кГц) также сохраняется годовой ход с максимумом летом, но минимум может смещатьоя на весенние меояцы, а суточный ход испытывает большие сезонные изменения. Если в летнее время при очень вьюоком общем уровне атмосфериков выделяется послеполуденный максимум, то весной на фоне низкого уровня наблюдается противоположный ход с максимумом ночью и минимумом днем [I9]. Появление ночного максимума связано с улучшением уоловий распространения дальних атмосфериков, вносящих значительный вклад при невысоком общем уровне. Следует также отметить, что в отличие от близких атмосфериков, которые принимаются одинаково со всех сторон, дальность приема далеких атмосфериков зависит от направления их прихода и может значительно увеличиваться при распространении с запада на восток по сравнению с распространением о востока на запад [I9].

Еще более долгопериодные колебания среднего уровня атмосфериков рассматривались в связи с работами о влиянии солнечной активности на грозовую деятельность. Однозначная овязь между изменениями солнечной активности и грозовой деятельнооти отсутствует, в разных районах наблюдаются как синфазные, так и противофазные колебания в пределах II-летнего цикла [30, 3I] . Отмеченный ранее эффект внезапного усиления атмосфериков при ослнечных вспышках вследствие кратковременности (порядка I ч) не оказывает заметного влияния на средний уровень атмосфериков в течение более длительных периодов [32] . Солнечные вспышки, безусловно, воздействуют на ионосферу и вследотвие улучшения условий распространения сверхдлинных радиовоин сопровождаются усилением атмосфериков, но воздействие вспышек на тропосферу и метеорологические процессы явно не обнаруживается. Изменения уровня атмосфериков при солнечных вспышках обычно значительно меньше изменений, вотречающихся в разное время и обусловленных метеорологическими факторами, поэтому указание на возможность биологического действия эффекта усиления атмосфериков [33] нельзя считать достаточно обоснованным.

Применение средних характеристик или данных, осредненных хотя бн за короткие промежутки времени, вмеоте с оценками иэменения фона обусловлено природой изучаемого явления - нерегулярностью пространственного и временного появления гроз, а также изменчивостью молний, которые, вспыхивая только в отдельные моменты в отдельных местах, не образуют непрерывно существующего поля, подобно полю давления, температуры и т.д. Чтобы результаты наблюдений не представлялись простым набором отдельных чисел, а были бы элементами упорядоченного ряда или оистемы характеристик, потребовалось вывести теоретически основные соотношения, комбинируя общие статистические закономерности с закономерностями распространения низкочастотных радиоволн [34-36]. Кроме того, некоторые специальные закономерности распроотранения используются для оперативного получения данных о конкретной грозовой

обстановке как в районе пункта наблюдений, так и в большом масштабе, что предотавляет значительный интерес для различных приложений.

Амплитудное распределение атмосфериков в источнике подчиняется логарифмически нормальному закону, который в пределах от 3 до 99% может быть практически представлен формулой [36]

$$W(E) = \frac{100}{1 + \left(\frac{E}{E_м}\right)^{15/\sigma}} , \qquad (I)$$

где $W(E)$ - выраженная в процентах вероятность превышения значения напряженности поля E ; $E_м$ и σ - параметры распределения ($E_м$ - медианное значение, σ - стандартное отклонение, выраженное в дБ). В результате обработки различных данных найдено, что $\sigma \approx 7$ дБ [35, 37] . Необходимо напомнить, что измеряемые значения амплитуд атмосфериков (напряженность поля Е) зависят не только от данной частоты f, но и от ширины полосы приемного устройства Δ. В частности, при оравнительно узких полосах и при целых изменениях величины Е, когда в пределах полосы ими можно пренебречь [3, 38,39], имеем

$$E(f, \Delta_1) / E(f, \Delta_2) \approx \sqrt{\Delta_1 / \Delta_2} .$$

Логарифмически нормальный закон приближенно описывает также распределение длительности интервалов между отдельными атмосфериками [36]. Убывание амплитуд амтосфериков в зависимости от расотояния до источника можно представить в среднем степенной зависимостью

$$E(r_1) / E(r_2) = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^k , \qquad (2)$$

причем для малых расстояний берется $k = I$, а для больших расстояний значения k , если использовать для дальнего приема частоты около I0 кГц, немного увеличиваются, но, кроме того, зависят вообще от условий освещения, ориентировки трассы и характера подстилающей поверхности. В непосредственной близооти от источника амплитуды атмосфериков на всех частотах убывают обратно пропорционально кубу расстояния ($k \approx 3$), но эта зона для обычно используемых частот слишком мала, чтобы учитывать ее ссобенности. Например, на частоте 7 кГц (длина волны $\lambda = 43$ км) ее радиус составляет около 4 км. Так как в литературе нередко не учитывается это ограничение, следует указать формулу для дифференциального показателя степени k', в которой $x = 0{,}02I\, fr$ (r в км и f в кГц):

$$k' = 1 + (2 - x^2) / (x^4 - x^2 + 1) ,$$

согласно которой $k' \geq 3$ при $r < 0{,}I\,\lambda$ и $k' \leq I$ при

$r > 0{,}2\lambda$. Для оценки удаленности местных грозовых очагов по амплитудам атмосфериксв используется шкала с градациями $r < r_1$, $r < r_2$, $r < r_3$, ..., причем по теоретическим расчетам [3I] минимальное значение отношения

$$r_{(n+1)} / r_n = 2$$

и экспериментальные данные полностью подтверждают вывод о невозможности заметного уменьшения этой величины без существенного увеличения числа ошибочных оценок. Для уточнения оценки расстояния до местных грозовых очагов могут быть использованы измерения разности фаз электрического и магнитного компонентов атмосферика α, которая связана с расстоянием r (в км) формулой

$$tg\,\alpha \approx \left(48/fr\right)^3,$$

где f выражено в кГц. На частоте $f = 1$ кГц таким опособом можно оценить расстояния, которые не превышают I00 км. Дальнейшее снижение частот обычно затруднено из-за технических помех.

Работая с атмосфериками, всегда приходится в той или иной степени сталкиваться с основной закономерностью, описывающей увеличение среднего чиола принятых атмосфериков $g(E_0)$ при уменьшении порога срабатывания аппаратуры E_0,

$$g(E_0) = C/(E_0)^{2/k}, \qquad (3)$$

где коэффициент C характеризует средний уровень грозовой деятельности в данное время [29,33]. Прием, использованный для теоретического вывода формулы (3), оказался подобным приему, с помощью которого из закона Вина выводится формула Стефана-Больцмана. Формула (3) имеет ряд аналогов в других областях. Теоретически при обычных для атмосфериков значениях $k \approx 1$ убывание их числа приближается по порядку величин к обратно пропорциональной зависимости от квадрата порогового напряжения E_0, чем объясняются фактически наблюдаемые в данном случае закономерности.

Естественные радиопомехи характеризуются функцией $P(E)$ - относительной величиной занятого времени, в течение которого они превышают порог E. Формула для $P(E)$ была получена сначала эмпирически, подтверждена потом целым рядом других экспериментальных данных [4, 25] и выведена теоретически [29] с помощью указанной выше формулы (3):

$$P(E) = \left[1 + \left(\frac{E}{E_м}\right)^{\frac{2}{k}}\right]^{-1} \qquad (4)$$

В формуле (4), отражающей наиболее характерные свойства распределения помех, параметр $E_м$ равен медианному значению E, так что при $E = E_м$ радиопомехами занята половина времени. На графике с координатами $lg\left(\frac{1-P}{P}\right)$, $lg\,E$ зависимость, даваемая формулой (4), представляется прямой линией. Даже в совершенно экстремальных зимних условиях на Дальнем Востоке, когда нет гроз на расстояниях до нескольких тысяч километров и теоретически ожидаются отклонения от линейности, большинство точек, как видно из графиков, приведенных в статье [40], располагается в среднем вдоль прямых линий при выпадении лишь самых крайних значений. Средние значения E и в этом особом случае вычисляются по формуле (4) большей частью с практически достаточной точностью, учитывая, что реальная точность даже компараторных измерений не превышает I дБ [20]. Соотношение между средними и средними квадратичными значениями E, не вычисляемыми непосредственно с помощью формулы (4), рассматривается специально в работе [41] в качестве дополнительного параметра, называемого "отклонением напряжения".

Использование фазовых параметров атмосфериков для однопунктных наблюдений за далекими грозовыми очагами основано на зависимости фазовой скорости радиоволн $v(f)$ от частоты f, предотавляемой в выбранном рабочем диапазоне (от 6–7 до 25–30 кГц) формулой [42]

$$\left[c/v(f)\right]^2 \approx 1 + 0{,}8\,h/R - \left(f_к / f\right)^2 , \qquad (5)$$

где c – скороть света, h – высота нижнего слоя ионосферы, R – радиус Земли, $f_к$ – критическая частота волновода Земля – ионосфера. Фазовые скорости в этом случае больше скорости света, но противоречия с теорией относительности нет, так как не рассматриваемые здесь групповые скорости остаются меньше окорости света. При работе по четырехчастотному варианту фазовый параметр атмосферика ($\Delta_1\varphi - \Delta_2\varphi$), непосредственно измеряемый по шкале прибора, с помощью формулы (5) теоретически связывается о расстоянием до источника r следующим состоянием [I2]:

$$r \approx 1{,}6\,\frac{f\,(f+\delta)}{\delta}\left(\Delta_1\varphi - \Delta_2\varphi\right) , \qquad (6)$$

где r выражено в км, а величины f и δ, определяющие рабочие частоты, в кГц. Параметр ($\Delta_1\varphi - \Delta_2\varphi$) измеряется при этом в градусах принятой шкалы. В случае иопользования трехчастотного варианта, применяемого за рубежом, согласно формуле (5) получается соотношение [I2]

$$r \approx 0{,}6\,\frac{f\left(f^2 - \delta^2\right)}{\delta^2}\,\Delta^2\varphi , \qquad (7)$$

в котором через $\Delta^2\varphi$ обозначен регистрируемый фазовый параметр атмосфериков.

Рассмотренные выше формулы сознательно включены в данный обзор с целью дать определенное представление о том, как путем комбинаций теоретических и экспериментальных данных об условиях распространения и свойствах атмосфериков создавались методы, необходимые для решения конкретных задач, выдвигавшихся в этой области. Практическое применение результатов, доведенных до рабочих формул, используемых для получения искомых величин по данным измерений отдельных параметров атмосфериков, обеспечивалось выбором основных компонентов общих физических закономерностей.

Источники атмосфериков условно можно разделить на регулярные, которые сохраняют свое положение почти неизменным и действуют в течение длительного времени, и нерегулярные, местоположение которых непостоянно. Регулярными источниками являются так называемые мировые очаги грозовой деятельности, которые в основном располагаются в тропических областях. Нерегулярные источники обусловлены в основном грозами, развивающимися преимущественно на холодном фронте.

Использование переменного тока, развитие радиосвязи и радиовещания вызвало появление на Земле электромагнитных полей, в среднем значительно превышающих уровень поля, создаваемого в этом диапазоне естественными источниками (грозами). Например, радиовещательные станции, работавшие на средних и длинных волнах в некоторых европейских странах, США и Японии, имели еще в 1956 г. общую мощность около 17000 кВт [43]. В настоящее время мощность одних передатчиков зарубежных метеослужб превышает в сумме 1500 кВт [44]. Следует также учесть, что осуществление радиосвязи непосредственно связано с необходимостью получения сигналов, превышающих уровень естественных помех в области рабочей частоты.

Результаты тщательного исследования атмосфериков, проводившегося в течение десятков лет в связи с решением изложенных выше конкретных задач, с нашей точки зрения, не содержат данных, подтверждающих правильность предположений [41, 45] о биологическом действии низких частот, относящихся к области резонансов полости Земля–ионосфера, изучение которой особенно затруднено техническими помехами. В процессе эволюции определенные преимущества могли иметь те предотвратители животного мира, которые успевали приготовиться к наступающей непогоде или укрыться от нее, почувствовав изменение фона атмосфериков. Эволюционное развитие могло бы способствовать выработке рефлекса на изменение фона низкочастотных электромагнитных колебаний, хотя физические возможности приобретения его остаются совершенно неясными. Невоспроизводимость опытов по воздействию ЭМП может быть тогда объяснена биочувствительностью только к изменениям поля, а не к его абсолютной величине значительной инерцией эффекта и постепенным стиранием

его вследствие выработки других способов приспособления к изменению окружающей среды, а также вследствие наличия значительных искусственных полей.

Таким образом, молнии являются источниками коротких электромагнитных импульсов - атмосфериков, распространяющихся преимущественно в естественном волноводе между поверхностью Земли и нижней границей ионосферы. Амплитуды атмосфериков изменяются в среднем пропорционально длине волны, и только в области длин волн порядка 100 км наблюдается частотный минимум. Большая интенсивность атмосфериков в полосе относительной прозрачности волновода Земля-ионосфера (на длинах волн 10-40 км) позволяет принимать отдельные импульсы на расстояниях до 5000-10000 км и более. Подобие спектров отдельных атмосфериков дает возможность использовать для характеристики уровня естественного электромагнитного фона результаты подсчета числа принятых импульсов. Закономерности амплитудного распределения принимаемых атмосфериков, полученные статистическими методами, обусловливают границы применимости эмпирических соотношений. Формулы, отображающие основные и наиболее характерные черты закономерностей, содержат только элементарные функции.

Литература

1. Александров М.С., Бакленева З.М., Гладштейн Н.Д. и др. Флуктуации электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. М.: Наука, 1972. 195с.
2. Иньков Б.К. Результаты регистрации форм ближних атмосфериков. - Тр.ГГО, 1965, вып.177, с.55-58.
3. Jones D.L. Atmospherics. - in: M.F., L.F. and V.L.F. radio propagation: Confer.publ. N 36/ Inst.El.Eng.L., 1967, p.204-227.
4. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Сов.радио, 1972. 152 с.
5. Sao K., Jindoh H. Real time location of atmospherics by single station techniques and preliminary results. - In: Proc.Waldorf conf.on long=range geogr.estimation of lightning sources. Wash.: Naval res. labor., 1974, p. 253-262.
6. Махоткин Л.Г., Иньков Б.К. О возможности использования параметров ультранизкочастотных атмосфериков для оценки удаленности их источников. - Тр.ГГО, 1969, вып.242, с.37-39.
7. Лазебный Б.В., Николаенко А.П. Синхронные наблюдения всплесков СНЧ-излучения в диапазоне частот шумановских резонансов. - Геомагнетизм и аэрономия, 1976, т.16, № 1, с.121-126.
8. Kemp D.T. The global location of large lighting discharges from single station observations of ELF disturbances in the Earth-ionosphere cavity. - J. Atmos. and Terr.Phys., 1971, vol.33, N 6, p.919-927.

6. Зак. 1895

9. Леушин Н.И. К вопросу о важности исследования атмосфериков и наблюдений за ними для службы погоды. Л.; М.: Гидрометеоиздат, 1938. 72 с.
10. Махоткин Л.Г., Иньков Б.К. Об одной особенности амплитудного спектра близких атмосфериков. - Тр.ГГО, 1974, вып.301, с.105-109.
11. Иньков Б.К., Махоткин Л.Г. О соотношении амплитуд атмосфериков на близких частотах. - Там же, с.94-97.
12. Иньков Б.К. Проверка универсальности счетчиков грозовых разрядов. - В кн.: Тр.Всесоюз.симпоз. по атмосферному электричеству. Л.: Гидрометеоиздат, 1976, с.264-268.
13. Лыдзар П.С. Полупроводниковые грозорегистраторы. - Тр.ГГО, 1964, вып.157, с.54-58.
14. Reiter R. Erste Ergebniss neuester meteorologischer Untersuchungen in Raum Garmisch-Partenkirchen. - Wetter und Leben, 1971, Bd.23, N 7/8, S.133-143.
15. Ungethüm E., Israelson S., Knudsen E. Der Zusammenhang zwischen VLF-Pegel und Bodendruck in Uppsala - Mittelsweden. - Ztschr. Meteorol., 1974, Bd. 24, N 5/8, S.92-101.
16. Махоткин Л.Г., Иньков Б.К. Однопунктные методы наблюдений за грозовыми очагами. - Тр. ГГО, 1969, вып.242, с.32-36.
17. Махоткин Л.Г., Иньков Б.К., Лебодин Т.В. Исследование грозовой активности радиотехническими методами. - Там же, 1974, вып.301, с.18-24.
18. Harth W. VLF-Atmospherics - ihre Messung und ihre Interpretation. - Ztschr. Geophys., 1972, Bd.38, N 5, S.815-849.
19. Иньков Б.К. Фазовые методы определения расстояния до очагов атмосфериков. - Тр. ГГО, 1973, вып.319, с.136.
20. Махоткин Л.Г., Иньков Б.К. Использование атмосфериков для получения геофизической информации. - Там же, 1969, вып.242,с.130-142.
21. Иньков Б.К., Махоткин Л.Г. Опыт применения пеленгатора Ерухимовича для наблюдений за атмосфериками. - Там же, 1975, вып.358, с.40-47.
22. Лещенко Г.П., Тысинюк Н.М. Использование панорамного регистратора гроз в оперативной работе. - Метеорология и гидрология, 1976, № 5, с.113-115.
23. Распределение по земному шару атмосферных помех и их характеристика. Международный консультативный комитет по радио. Женева, 1963: Документы 10-й пленарной асоамблеи, отчет 322. М.: Связь, 1965. 80 с.
24. Лихтер Я.И., Наливайко А.Г., Розин В.Л. и др. Измерение атмосферных радиопомех в СССР во время МГГ. - В кн.: Ионосферные иооледования. М.: Изд-во АН СССР, 1962, вып.10, с.102-115.
25. Быков В.И., Никитенко Ю.И. Судовые радионавигационные устройства. М.: Транспорт, 1976, 399 с.

26. Григорьев А.Г., Матисен А.И., Патрин В.С. Защита радиоприема на судах от помех. Л.: Судостроение, 1973. 208 с.
27. Справочник по геофизике. М.: Наука, 1965, 572 с.
28. Асташенко А.И., Семенов К.А. Результаты сравнения грозорегистраторов. - Тр. ГГО, 1965, вып.177, с.46-54.
29. Пастух В.П., Винникова Э.Б. Некоторые особенности в распределении гроз на африканском материке. - Там же, 1965, вып.182,с.88-93.
30. Клейменова З.П. Об изменении грозовой активности в солнечном цикле. - Метеорология и гидрология, 1976, № 8, с.64-68.
31. Лихтер Я.И., Колоколов В.П., Клейменова З.П. Солнечная активность и грозовая деятельность. - Тр. ГГО, 1969,вып.242,с.104-112.
32. Эллисон М.А. Солнце и его влияние на Землю. М.: Физматгиз,1959. 216 с.
33. Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 207 с.
34. Махоткин Л.Г. Статиотика атмосферных радиопомех. - Геомагнетизм и аэрономия, 1963, т.3, № 2, с.284-292.
35. Махоткин Л.Г., Семенов К.А. Статистика грозовых разрядов. - Тр. ГГО, 1963, вып.146, с.39-47.
36. Махоткин Л.Г. Статистические характеристики амплитуд атмосфериков. - Там же, 1965, вып.177, с.142-150.
37. Махоткин Л.Г. Изменение скачков напряженности электростатичеокого поля в зависимости от расотояния до грозового разряда. - Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана,1965, т.1, № 2, с.230-232.
38. Махоткин Л.Г. Иньков Б.К. О зависимости числа принимаемых атмосфериков от ширины полосы. - Тр. ГГО, 1969, вып.242, с.26-28.
39. Forrest F.F., jun. Effect of receiver bandwidth on the amplitude distribution of VLF atmospheric noise. - J.Res. Nat.Bur. of Standards, 1961, vol. 65 D, N 3, p.299-304.
40. Махоткин Л.Г., Иньков Б.К. Сравнение и анализ расчетных данных о фазовых скоростях электромагнитных волн в волноводе Земля - ионосфера. - Тр. ГГО, 1970, вып.253, с.136-152.
41. Гусятинский И.А., Пирогов А.А. Радиосвязь и радиовещание. М.: Сов.радио, 1974. 176 с.
42. Расписание радиопередач метеоролгических сведений зарубежных центров. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, 348 с.
43. Dettwiller J. La Guerre Météorologique: mythe ou realité de demain? - Météorologie, 1975, N 2, p.135-145.
44. Ludwig W., Persinger M.A., Ossenkopp K.-P. Physiological effects of electromagnetic fields in the ELF region. - Arch.Meteorol., Geophys. und Bioklimatd. B, 1973, Bd.21, S.99-116.
45. Reiter R. Grundgedanken zum Problem Luftelektrizität und Raumklima. - Klima + Kalteing., 1974, Bd.2, N 3, S.109-112.

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

2.I. Биологические эффекты действия антропогенных электромагнитных полей

В настоящее время в человеческую деятельность вовлечены практически все виды природных ресурсов, находящихся вблизи земной поверхности, началось освоение ближнего космоса и шельфовых зон океана [I-4]. Деятельность человека меняет естественный ход процессов на нашей планете и необходимо выяснить влияние этих процессов на живые организмы, научиться регулировать и управлять источниками этого влияния. Следовательно, к проблеме человек-природа надо подходить не как к этапу отчуждения человека от природы, а как к явлению, познание сущности которого вынуждает нас корректировать нашу деятельность.

Отмечая иллюзорность господства человека над природой, Ф.Энгельс писал: "Не будем ... слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых"[1].

Со времени открытия электромагнитных излучений считалось, что человеческий организм, равно как и другие живые организмы, не имеют органа чувств, воспринимающего ЭМП. Отсюда - предоставление об отсутствии биологического действия электромагнитных излучений и, в частности, радиоволн, которые, пронизывая человека, тем не менее им не ощущаются. Сегодня такой вывод уже очевидно абсолютно неправилен. В экспериментальных условиях живой организм не только ощущает ЭМП, но может получить такие дозы воздействия, которые окажутся для него катастрофическими. Даже в условиях нормального функционирования электротехнических и радиотехнических установок воздействие на живой организм может быть очень существенным. Имеются, правда недостаточно проверенные, сведения, что радиоволны обычной интенсивности воспринимаются некоторыми людьми как звуки [5]. Американский исследователь Уилки описал переживания двух женщин, которые жаловались, что они временами слышат сигналы азбуки Морзе. Проверка показала, что эти ощущения совпадают по времени с работой близлежащей радиостанции. Американский журнал "Сайнс" сообщал, что довольно часто сантиметровые радиоволны воспринимаются человеческим ухом как потрескивание [5]. Объяснение этого феномена сводилось к тому, что микроволны, нагревая содержащуюся в тканях жидкость, вызывают тем самым повышение давления, которое и слышится ухом как треск. В условиях эксперимента американскому биофизику Фрею удалось показать, что чувствительность слухового анализатора к радиоволнам может быть продемонстрирована на любом человеке. Если направить пучок радиоволн на височную область моз-

---

1) Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т.20, с.495-496.

га, где расположены высшие слуховые центры, то у любого человека, даже у глухого, может возникнуть ощущение шума (см.т.2, гл.I, п.2.7).

Еще в прошлом веке исследователи отмечали факт появления субъективного ощущения вспышки света при действии на голову человека магнитного поля с частотой 10–100 Гц. Отмечалось также изменение деятельности зрительного органа в магнитном поле. Магнит, подносимый к затылку испытуемого, изменял зрительные образы, внушенные в гипнозе, и усиливал галлюцинации. Люди, работающие с различными генераторами радиоволн, часто жалуются на головную боль, ослабление памяти, потерю аппетита, быструю утомляемость. Болезненные явления исчезали при прекращении работы с источниками радиоволн и вновь появлялись при возобновлении работы у генератора. Крысы, находящиеся за 20 км от работающего радара, сначала проявляли повышенную активность, затем у них наступало угнетенное состояние. Исследования ряда гигиенистов /6/ показали, что в жилых домах и общественных зданиях, расположенных на расстоянии нескольких километров от радиостанции или телецентра, наблюдаются заметные влияния радиоволн на живые организмы. У крыс, помещенных в такие условия, через месяц отмечалось снижение активности фермента холинэстеразы и угнетение условных рефлексов.

Возникли гипотетические предположения о том, что наблюдаемый на нашей планете процесс акселерации – ускорение роста молодого поколения – связан с повышенным фоном ЭМП (см. т.2, гл.I, п.2.2).

МП является раздражителем, имеющим мало сходства с другими. Оно проявляется слабее, чем свет или ионизирующая радиация, но действует непосредственно на нервные клетки мозга. Замечено, что зимой и осенью магнитные поля оказывают более сильное воздействие, чем весной и летом. Предполагается, что допустимая граница величины МП, в котором может находиться человек, не должна превышать 50 мТл [7].

Природные ЭМП также оказывают влияние на живые организмы. В ряде исследований отмечалось, что ритм человеческого мозга совпадает по форме колебаний с земными электромагнитными волнами. Имеется, по-видимому, определенная связь биоритмов с электрическим зарядом человеческого тела, который изменяется периодически, причем один период равен 24 ч, а другой приблизительно 27 сут. У психически больных людей эта картина изменений заряда подвержена очень сильным колебаниям. Кроме того, установлено, что электрический заряд человеческого тела сильно меняется при гипнозе или анестезии и что любое отклонение организма от нормы сказывается на электрическом заряде тела. Высказываются предположения, что это явление может быть использовано для лечения **психических, онкологических** (см. т.2, гл.I, п.2.I), **глазных болезней, для регенерации тканей и во многих других** аспектах (см. т.2, гл.III).

Интересно отметить то обстоятельство, что поведение и самочувствие человека в какой-то мере зависит от влияния ЭМП [7]. На симпозиуме по бионике в Корнельском университете доктор Беккер сообщил [7], что

им установлена корреляция между числом больных, поступивших в госпиталь с психическими расстройствами в данный день, и интенсивностью электромагнитных явлений, происшедших за день до этого, а также солнечными пятнами, существовавшими три дня назад (см. гл.П, п.1.2) Объяснение этого явления, разумеется, предварительное, связывается с тем фактом, что нервные клетки электрически поляризованы и что по нервным волокнам протекают электрические токи. Изменение направления этих токов или потенциалов поляризации на обратное или уменьшение силы тока до нуля переводит нерв в возбужденное состояние.

Имеются также указания на то, что многие люди воспринимают неисправности в электропроводке и создаваемые вследствие этого излучения как некий непосредственно ощущаемый ими "шум в голове".

Эксперименты по программе исследования биологического действия КНЧ-связи, проведенные в США /8/, показали, что при хроническом облучении макак-резус (30 животных) в течение 22 ч в сутки за трехлетний период работы четко выделяется эффект увеличения скорости прибавления в весе облучаемых самцов. На основании полученных данных высказывается предположение, что ЭМП оказывает влияние на обмен веществ в организме. В эксперименте на самцах белых крыс установлено /6/, что ЭМП частотой 50 Гц и напряженностью 100 – 5000 В/м вызывает изменение поведенческих реакций животных, а также признаки раздражающего действия на кожу и слизистые оболочки; при Е = 200 и 5000 В/м отмечается тенденция снижения числа эритроцитов в крови. Изменяются и биохимические показатели.

Выдвинут целый ряд гипотез, объясняющих высокий процент (около 50%) авиационных катастроф, происходящих по вине летчиков, влиянием на организм летчиков электромагнитных излучений. За последние годы появилось большое число публикаций, свидетельствующих о влиянии ЭМП различных частот на физиологическое состояние организма, в том числе на нервную систему. Известно, что в атмосфере существуют электромагнитные волны с частотами 5–13 Гц, близкие к частотам, определяющим ритмы головного мозга. Доктор Мэкси /9/ сравнивает мозг человека с радиоприемным устройством, которое настраивается на частоту электромагнитных колебаний в атмосфере, что оказывает сильное влияние на его психологическое состояние. По его предложению на самолетах военно-воздушных сил США испытывали устройство, которое создавало в кабине пилота защитное облако из отрицательных ионов. Оказалось, что такое устройство уменьшало усталость летчиков и улучшало их реакцию на происходящие явления [10].

В свете рассмотренных выше фактов и соображений (из которых, впрочем, не все подтверждены в достаточной степени строгими исследованиями и являются лишь гипотезами) становятся понятными и бесспорно подтвержденные факты о влиянии силовых установок высокого напряжения на живые организмы. Вопрос об этом возник в связи с ростом рабочих напряжений установок промышленной частоты и увеличением их числа. Так,

напряжение линий передач начиная с 20-х годов нашего столетия увеличилось от 100 до 750 кВ и уже появились опытные установки на 1000-1200 кВ. В ближайшие годы следует ожидать повышения рабочего напряжения до 1500-2000 кВ. Площадь, занятая линиями передач, непрерывно растет. В США полосы отчуждения Земли под линиями передач составили уже территорию, намного превышающую территорию Бельгии [1, 9]. Подстанции, различные коммутационные устройства также служат источником электромагнитных излучений как в рабочих режимах, так и в аварийных ситуациях.

Воздействие излучений следует рассматривать в четырех направлениях: 1) взаимодействие ЭМП промышленной частоты (50-400 Гц) с процессами, происходящими в живых организмах, 2) то же с полями звуковых частот, 3) то же при весьма высоких частотах ЭМП, появляющихся в связи с наличием высших гармонических слагающих тока промышленной частоты, а также при различного рода (нормальных и аварийных) переходных процессах; 4) влияние акустических шумов, вызываемых механическими вибрациями электрического оборудования, а также коронирование проводов высокого напряжения. Влияние ионизации на биологические системы заслуживает особого внимания /11/.

Электромагнитное поле установок высокого напряжения резко воздействует на человека, вызывая не только неприятные ощущения, но и (при напряжениях линий электропередач выше 270 кВ) нервно-физиологические расстройства. Механизм этих явлений связан с появлением наведенного в человеческом организме электрического тока. При частоте 50 Гц минимально ощутимый ток равен примерно 1 мА. Ток 10 мА вызывает у мужчин судороги, у женщин предельное значение тока неоколько меньше - порядка 6-7 мА /12/. При более низких значениях тока опасных явлений не происходит, но возникают неприятные ощущения.

Фактические данные о влиянии ЭМП на персонал подстанций высокого напряжения следующие. После первых месяцев эксплуатации подстанций напряжением 300-500 кВ обслуживающий персонал, находящийся длительное время в ЭМП, жаловался на головные боли и общее недомогание /13/. Медицинское обследование примерно 300-400 человек, работающих на таких установках, показало, что длительное нахождение в зоне влияния ЭМП приводило к расстройству ЦНС и нарушению кровообращения. Обследованная группа работников подстанций двух Волжских ГЭС состояла из 45 человек (41 мужчина и 4 женщины), в основном имевших средний возраст ($\sim$ 40 лет). Средняя суточная продолжительность нахождения под воздействием электрических полей изменялась в пределах от 2 до 5 ч в сутки /14/. При этом наибольший потенциал поля на высоте роста человека достигал 26 кВ, а средний потенциал - 14-18 кВ. Сила тока, соответствующая среднему потенциалу, составляла 115-125 мкА. Клинические исследования показали функциональные нарушения центральной нервной системы, проявлявшиеся преимущественно в форме вегетативной дисфункции и реже - в форме неврастенического синдрома.

При обследовании внутренних органов обнаружена патология у I8 человек. Наиболее часто встречались заболевания сердечно-сосудистой системы. У обслуживающего персонала наблюдались лабильность пульса и артериально - го давления. Брадикардия была отмечена у I2 человек, тахикардия - у 5. При измерении артериального давления гипотония обнаружена у 7 человек, гипертония - у 4. При этом увеличивалась частота субъективных расстройств. Те или иные жалобы предъявили 4I из 45 обследованных. Чаще всего (37 человек) жалобы были неврологического характера (головная боль, вялоотъ, утомляемость, сонливость), затем - жалобы на нарушение деятельности желудочно-кишечного тракта и сердечно-сосудистой системы. Головная боль была разнообразной и имела различную локализацию, но чаще отмечалась в височной и теменной областях. Интенсивность головной боли возрастала в зависимости от продолжительности пребывания персонала в электрическом поле. Заслуживают также внимания количественные и качественные изменения периферической крови /I3-I5/.

Таким образом, данные обследования показали, что пребывание в электрическом поле промышленной частоты оказывает неблагоприятное влияние на организм работающих. Это сказывается прежде всего в нарушении функцио - нального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем.

Перечисленные выше функциональные изменения в организме были выявлены у обслуживающего персонала (продолжительность работы в ЭП до 5 ч за смену), значительно слабее они проявлялись у оперативного персонала (продолжительность работы в ЭП порядка 2 ч за смену). Следовательно, глубина функциональных изменений в организме находится в зависимоотти от длительности работы в условиях воздействия ЭМП /I6/.

Установлено, что напряженность ЭП выше 25 кВ/м в среде обитания человека недопустима /I7-I9/ (гигиенические нормативы для лиц, подвергающихся воздействию ЭМП, создаваемого высоковольтными установками, см.в п. 2.2 наот. гл.).

Защитные средства /I4-20/ применяются при любых длительных эксплуатационных и монтажных работах во всех случаях, когда напряженность поля выше I5 кВ/м и ток, протекающий через человека, может достигать 20 мкА.

Разумеется, более правильным является конструирование электроустановок высокого напряжения таким образом, чтобы напряженность ЭП была минимальной. Однако это означает необходимость увеличения их габаритов, применение специальных экранов и конструкций,что, конечно, удорожает сооружения.

Из изложенного следует, что исследование влияния электромагнитных излучений на живые организмы находится еще в начальной стадии. В за - конодательстве и ведомственных приказах, уделяющих определенное вни - мание мерам по охране окружающей среды /2I/, борьбе с вредными выбросами от электростанций, загрязнениями воды и Земли, в то же время внимание к электромагнитным загрязнениям окружающей среды весьма не - значительно или вообще отсутствует.

Недостаточная изученность проблемы требует постановки систематических наблюдений за работающими установками, специальных технико-физиологических исследований влияния электромагнитных излучений на живые организмы. При этом, поскольку в основу должно быть положено изучение воздействия электромагнитных излучений на животных, целесообразна разработка специальных методов моделирования с использованием теории подобия /22,23/. Постановка этих исследований должна позволить сформулировать требования, предъявляемые к конструированию электротехнических устройств и к созданию нормативных положений о защите обслуживающего персонала и других биообъектов, находящихся в непосредственной близости от них.

Изложенное выше означает настоятельную необходимость скорейшей организации совместных исследований, проводимых инженерами-конструкторами, специалистами по моделированию, биологами, физиологами и медиками. Только комплексно поставленные исследования могут дать практически необходимые сведения о биологической роли антропогенных воздействий, в частности, о проектировании и эксплуатации установок высокого напряжения.

Литература

I. Вернков В.А. Энергетика и биосфера. - В кн.: Методологические аспекты исследования биосферы. М.: Наука, 1975, с. 53-71.

2. Алексахин Р.М. Радиоэкология и значение "физиколизации" экологии. - Там же, с. 123-130.

3. Будыко М.И. Человек и биосфера. - Там же, с. 112-123.

4. Царегородцев Г.И. Биосфера и здоровье человека. - Там же, с. 312-326.

5. Лин Дж.Ч. Слуховой эффект на СВЧ. - ТИИЭР(М.: Мир), 1980, т.68, № I, с.83-90.

6. Физико-математические и биолсгические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.3, с.38-55.

7. Becker R.O., Marino A.A. Electromagnetism and life. Albany, State univ. N.Y. prass, 1982, 211 p.

8. Гриссет Дж.Д. Биологическое действие электрических и магнитных полей, создаваемых системами связи на крайне низких частотах. - ТИИЭР, 1980, т.68, № I, с.112-132.

9. Maxey K.F. Preventive medicine and public health. N.Y.: Appleton-Century-Crofts Inc., 1956, 1465 p.

10. Electrical and biological effects of transmission lines: A rev. prep. by J.M.Lee, T.D.Bracken, A.S.Capon. US Dep. of Energy Bonneville Power Administration. Portland (Ore.) June 1977. Seoond print. November 1978, p. 75.

11. Comar C. Controversy over high voltage effects. - Electric Power Rev. Inst. J., 1977, N 2(5), p. 2-3.

I2. Асанова Т.П., Раков А.Н. Состояние здоровья работающих в электрическом поле открытых распределительных устройств 400-500 кВ.- Физиол. журн., I964, № 4, с. I6-20.
I3. Сазонова Т.Е. Физиолого-гигиеническая оценка условий труда на ОРУ-400 кВ. - Там же, I965, № 4, с, 23-25.
I4. Коробкова В.П., Морозов Я.А., Столяров М.Д., Якуб Я.А. Влияние электрического поля установок 500-750 кВ на обслуживающий персонал и его защита: Докл. на конференции по большим электрическим системам. СИГРЭ, I972, доклад № 23-06, с. I-I2.
I5. Marino A.A., Becker R.O. Biological effects of extremely low frequency electric and magnetic fields: A Rew. - Physiol. Chem. and Phys., 1977, N 9(2), p. 131-147.
I6. Сазонова Т.Е. Функциональные изменения в организме при работе в электрическом поле промышленной частоты высокой напряженности: Автореф. дис. канд. техн. наук. ЛПИ, I965, 40 с.
I7. Готфрид Б.А. Опасные токи напряжения прикосновения и техника безопасности. - Электр. обозрение, I975, № I7, с. 26-32.
I8. Нормы и правила по охране труда при работах на подстанциях и воздушных линиях напряжением 400, 500 и 750 кВ. - Энергетик, I97I, № II, с. 29-38.
I9. Вольфберг Л.Б. Электроэнергетическое хозяйство США и его влияние на окружающую атмосферу. - Энергохоз-во за рубежом, I972, № 2, с. 42-49.
20. Лебедев С.А. Рекомендации по разработке костюма для защиты от воздействия электрического поля в открытых распределительных устройствах 400-500 кВ. - В кн.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, I963, вып. 4 (24), с. 87-98.
2I. Веников В.А. Моделирование в условиях затруднительного применения критериальных соотношений. - В кн.:Кибернетику на службу коммунизму/ Под ред. Берга А.И., Веникова В.А. М.: Энергия, I977, т. 8, с.58-87.
22. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа,I976. 479 с.
23. Веников В.А., Астахов Ю.Н., Постолатий В.М. Управление электропередачи переменного тока повышенной пропускной способности. - Электричество, I969, № I2, с. 7-II.

2.2. Электрические поля электроустановок сверхвысокого напряжения

Находящиеся под напряжением токоведущие части электрооборудования, шины открытых распределительных устройств (ОРУ) и фазные провода воздушных линий электропередачи (ВЛ) сверхвысокого напряжения (СВН) 330 - II50 кВ являются источником ЭП высокой напряженности, которые оказываются биологически активным фактором, неблагоприятно влияющим на человека [I]. Основными источниками биологического действия являются ЭП, а также электрические разряды и токи стекания [2].

Биологическое воздействие ЭП, как показали результаты медико-биологических исследований [1, 3-5], проявляется при длительном систематическом пребывании человека в ЭП. Оно приводит к появлению ряда функциональных расстройств и патологических изменений. Реакция человеческого организма на воздействие электрического поля является неспецифической, проявляется через сравнительно большой период (2-5 мес), имеет длительное последействие, выраженный кумулятивный эффект, сильную зависимость от индивидуальных физиологических особенностей организма. Воздействие электрического поля может приводить к нарушению функционального соотояния центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, изменению состава крови, сексологическим и другим изменениям. Стойкость, интенсивность и глубина расстройств определяются напряженностью поля, длительностью и периодичностью нахождения в нем.

Физиологические исследования, проводившиеся параллельно с медико-биологическими, показали, что наиболее чувствительной к воздействию ЭП является ЦНС; нарушения и расстройства других систем человеческого организма, по-видимому, спосредованы расстройствами ЦНС.

Механизм непосредственного воздействия ЭП на человека изучен недостаточно. Существуют несколько, зачастую противоречивых гипотез [6], которые, однако, объединяются общей основой - зависимостью степени биологического действия ЭМП от поглощенной телом человека энергии. Реакцию человеческого организма на воздействие ЭМП связывают или с непосредственным биологическим действием ЭМП [6], или с биологическим действием обусловленного им тока смещения, протекающего через тело человека [7], или с воздействием обоих факторов [8]. В любом случае величиной, определяющей степень биологической реакции, является напряженность ЭП. Она рассчитывается, измеряется и нормируется на высоте 1,8 м от поверхности земли (на уровне головы человека). Однако человек, как и любой объект, находящийся в электрическом поле, искажает его, причем это влияние зависит от ряда факторов, которые не поддаются учету, поэтому принято определять и нормировать напряженность ЭП, неискаженного присутствием движущихся объектов.

Напряженность ЭП связана с током смещения следующим соотношением [9]:

$$J/E = 12 \div 14,$$

где J - ток смещения, протекающий через человека, в мкА, E - напряженность ЭП, неискаженного присутствием человека, в кВ/м.

Таким образом, снижение напряженности ЭП приводит к соответствующему снижению протекающего через человека тока смещения.

Гигиеническое нормирование биологического воздействия осуществляется раздельно для персонала, обслуживающего ОРУ и ВЛ СВН, с одной стороны, и населения, проживающего вблизи ВЛ СВН и производящего сельскохозяйственные работы в зоне влияния создаваемого ими ЭП, - с другой. Гигиенические нормативы для персонала, обслуживающего подстанции и ВЛ

напряжением 400, 500 и 750 кВ [10] приведены ниже (t – допустимая продолжительность пребывания человека в течение суток в ЭП):

E, кВ/м	5	I0	I5	20	25
t, мин	Без ограничения	I80	90	I0	5

При напряженностях поля ниже 5 кВ/м производство работ не ограничивается как по характеру, так и по продолжительности, при напряженностях выше 25 кВ/м допускается работать только с применением средств защиты.

Для населения в качестве предельно допустимых приняты следующие значения напряженности поля:

в жилых зданиях – 0,5 кВ/м;

в пределах жилой застройки – I кВ/м;

в населенной местности (города, пригородные и зеленые зоны, курорты) – 5 кВ/м;

на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами – I0 кВ/м;

в населенных местностях (незастроенные территории, посещаемые людьми, сельскохозяйственные угодья) – I5 кВ/м;

в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) – 20 кВ/м.

Гигиенические нормативы для персонала и населения действительны при условии, что исключено воздействие на человека электрических разрядов и ощутимых токов стекания.

Электрические разряды возникают в случаях прикосновения находящегося в ЭП человека к заземленным конструкциям, частям оборудования и различным предметам вследствие разности потенциалов между ними. Если человек, находясь в электрическом поле электроустановки СВН, изолирован от земли, на нем наводится напряжение, величина которого меняется в широких пределах, достигая 6 кВ при работах на уровне земли и 30 кВ – при работах, связанных с подъемом на высоту [I]. Прикосновение к заземленному объекту вызывает электрический пробой промежутка между человеком и объектом, к которому он прикасается. При этом через человека протекает импульсный ток

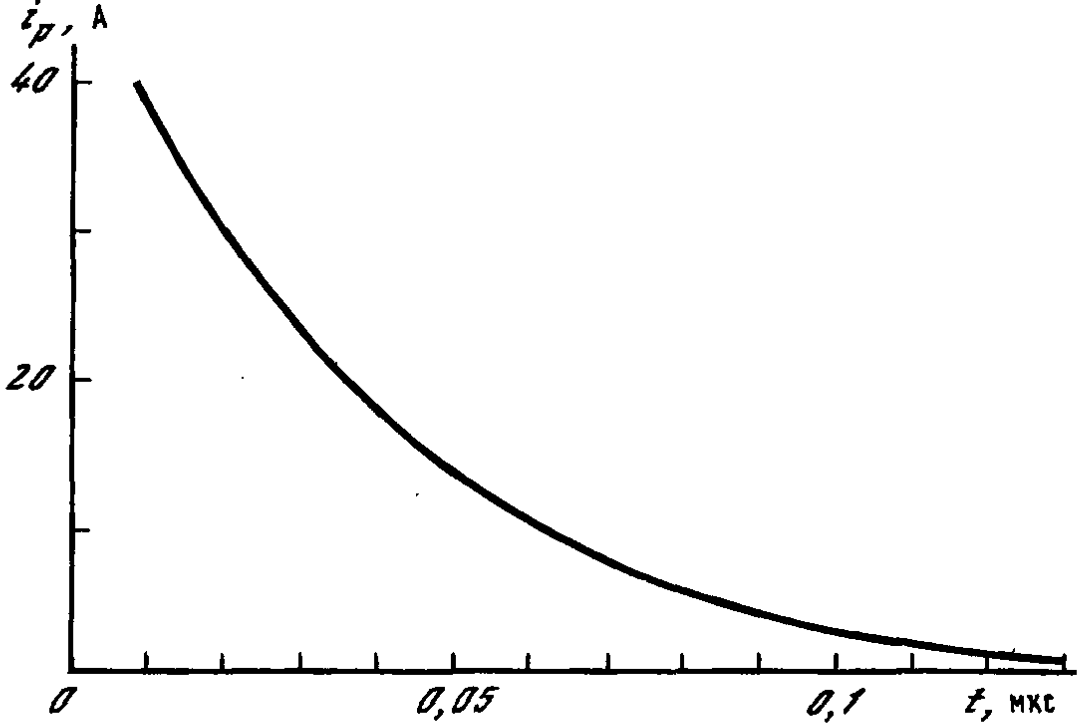
$$i_p(t) = J_p e^{-t/\tau},$$

обусловленный разрядом емкости $C_ч$ человека относительно земли. Постоянная времени разряда $\tau = R C_ч$ зависит от сопротивления цепи R, которое определяет также и амплитуду тока разряда

$$J_p = V_ч / R,$$

где $V_ч$ – мгновенное значение напряжения на человеке, при котором происходит пробой промежутка.

Первый пробой промежутка происходит, как правило, при максимальном значении $V_ч = V_ч^m$ напряжения на человеке. Разрядный ток i_p представляет собой апериодические импульсы (рис.25), число которых за полу-



Р и с. 25. Характер изменения тока разряда i_p при прикосновении к заземленному объекту

период изменения напряжения на теле человека может быть от I до I0-20 в зависимости от соотношения между напряжением на теле человека и пробивным напряжением промежутка, а также от постоянной времени τ. Амплитуда тока разряда зависит также от того, как прикасается человек к заземленному объекту - непосредственно или через промежуточное проводящее звено (гаечный ключ и т.п.). В первом случае амплитуда тока разряда достигает 8 А, а постоянная времени τ равна 0,5 мкс, во втором случае I_p = 70+80 А, $\tau \simeq 0{,}05$ мкс.

Разрядный ток возникает и в случае прикосновения к изолированным от земли объектам (машинам, механизмам с пневматическими шинами, ограждениям, металлической кровле деревянных строений, проволоке, применяемой при выращивании винограда, и т.п.). Степень непосредственной опасности импульсного тока разряда можно характеризовать зарядом разряжающейся через человека емкости $C_ч$ или емкости изолированного объекта относительно земли C_o [II]:

$$Q = \int_0^\infty i_p(t)\,dt = \tau I_p .$$

Установлено, что энергия единичного импульса невелика, однако заряд Q достаточно велик, чтобы вызвать сильное болевое ощущение, приводящее к нарушению процессов возбуждения и торможения в коре головного мозга. Это стимулирует непроизвольную двигательную реакцию, особенно опасную при работе на высоте, когда возможно падение. Поэтому даже единичные электрические разряды, сопровождающиеся протеканием импульсного тока через человека, недопустимы. Длительное воздействие разрядов может приводить к изменению электрической активности коры головного моз-

га. При этом начальное возбуждение сменяется резким торможением. Может нарушиться регуляция ритма дыхания и работы сердца [3].

Установлено [12], что разряды ощутимы, если $Q \geq 0{,}5 \div 1$ мкКл. В случаях прикосновения к крупногабаритным предметам этому заряду соответствует поле $E = 0{,}3 \div 2{,}0$ кВ/м, при прикосновении к заземленным предметам и конструкциям $E = 5$ кВ/м [13]. Напряженность ЭП по условию исключения воздействия электрических разрядов нормируется лишь для случая прикосновения человека к заземленным объектам, поскольку в соответствии с действующими правилами все изолированные от земли объекты до внесения их в ЭП подлежат обязательному заземлению.

Токи стекания через человека возникают при прикосновении к изолированным от земли электропроводящим объектам. Непосредственной физической причиной, вызывающей появление тока стекания, является емкостная связь проводящего объекта, расположенного в ЭП, с токоведущими частями, его создающими. Если человек касается такого объекта, то через него протекает ток $I_ч$, определяемый в основном частичными емкостями объекта C_i относительно каждой фазы токоведущих частей. Значения емкостей C_i, а также эквивалентной емкости $C_э = \sum_{i=1}^{3} C_i$ малы, поэтому значение тока $I_ч$ не зависит ни от сопротивления тела человека, ни от сопротивления растеканию тока в земле. Верхняя граница значений тока $I_ч$ совпадает со значением тока замыкания объекта на землю, т.е. с максимальным значением тока стекания I_c, который равен

$$\dot{I}_c = j\omega \sum_{i=1}^{3} \dot{V}_i C_{iч} = j\omega \dot{V}_э C_э ,$$

где $\dot{V}_i$ ($i = 1,2,3$) – комплексы напряжений фаз, $V_э$ и $C_э$ – эквивалентное напряжение и емкость.

Ток $I_ч$ зависит не только от $C_э$, C_0 и R_0 (сопротивления объекта относительно земли), но и от напряженности поля E неискаженного объектом (до внесения объекта). Если поле до внесения в него объекта однородно и объект не влияет на распределение зарядов в токоведущих частях, то ток I_c определяется равенством

$$I_c = j\omega C_0 E h ,$$

где h – некоторая эквивалентная высота, характеризующая геометрические размеры и форму объекта.

Установлено, что при $E > 5$ кВ/м ток стекания может превышать 0,6 мА и стать ощутимым. При $E > 15$ кВ/м прикосновение человека к крупногабаритным объектам (автобусам, комбайнам) может сопровождаться протеканием тока $I_ч \geq 7$ мА, превышающего установленный предельно допустимый уровень отпускающего тока. [1] Таким образом, ток $I_ч$ может достигать значений неотпускающего тока, при котором из-за судорожного сокращения мышц человек не может самостоятельно нарушить контакт с объектом.

---

[1] Отпускающий ток – пороговое значение тока, при котором человек еще может самостоятельно нарушить контакт с объектом под напряжением (4 мА для детей, 6 мА для женщин, 9 мА для мужчин).

Определение напряженности ЭП в ОРУ и вблизи ВЛ может быть выполнено расчетом, моделированием и непосредственными измерениями на конкретных объектах. Результаты измерений считаются более достоверными, поэтому им чаще всего отдается приоритет. В большей степени это относится к ОРУ, где поле создается как токоведущими частями, имеющими сложную геометрическую форму и расположенными в пространстве на разной высоте, так и зарядами, наведенными на заземленных частях оборудования и металлоконструкциях. Вследствие этого поле в ОРУ является резко неоднородным, и его расчет может быть выполнен лишь со значительной погрешностью. Поле вблизи ВЛ близко к однородному, и его можно рассчитать без затруднений [14].

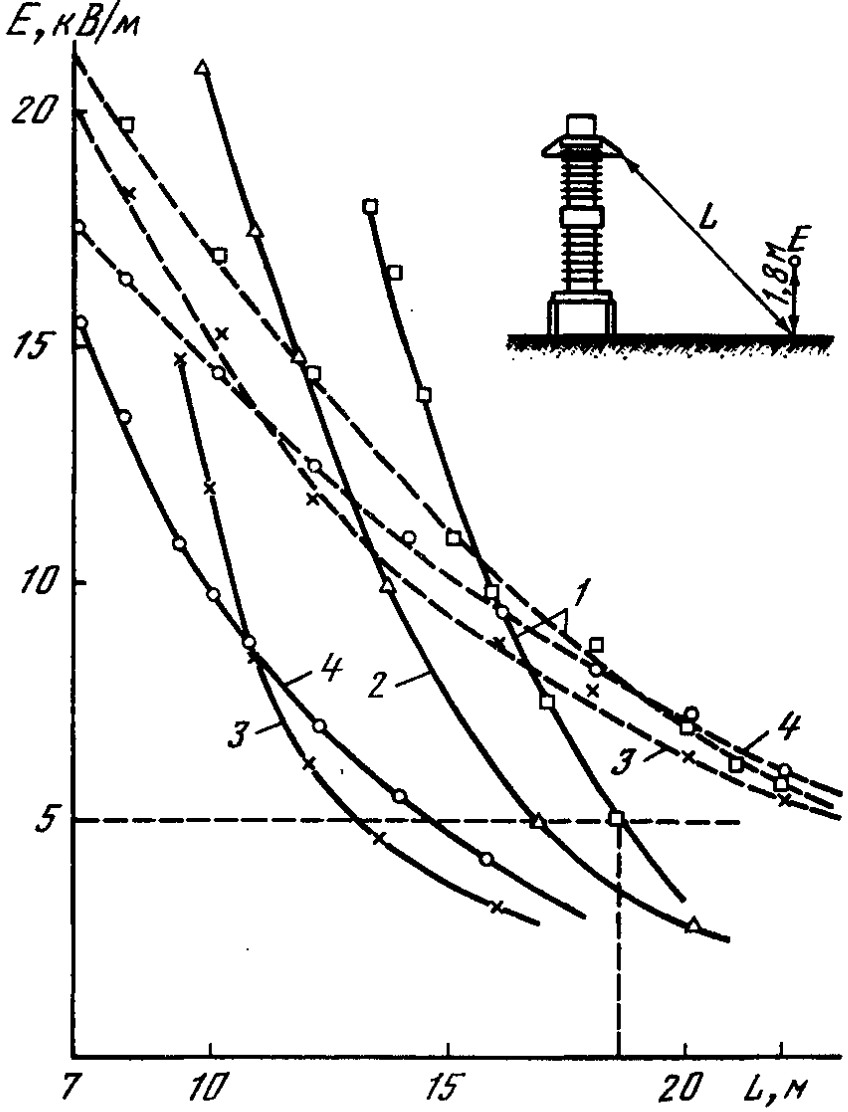
Одной из основных особенностей ЭП в ОРУ и вблизи ВЛ является то, что вектор поля в любой точке пространства вращается по эллипсу, проходя через максимальное и минимальное значения. Плоскость, в которой вращается вектор поля, имеет некоторый наклон к горизонтальной плоскости. Большая полуось эллипса соответствует максимальному модулю напряженности поля E_{max}, а малая полуось – его минимальному значению E_{min}.

Степень воздействия ЭП на человека характеризуют модулем напряженности E_{max}, который можно определять двояко: через модули декартовых составляющих вектора E_{max} и его фазовый угол [15] или по двум мгновенным значениям вектора напряженности поля E_1 и E_2, соответствующим двум различным моментам времени t_1 и t_2. Во втором случае расчет поля трехфазных источников сводится к расчету двух электростатических полей. Значение E_{max} по результатам определения E_1 и E_2 находят по формуле

$$E_{max} = 0{,}5\left\{E_1^2 + E_2^2 + \left[\left(E_1^2 - E_2^2\right)^2 + 4\left(E_{1x}E_{2x} + E_{1y}E_{2y} + E_{1z}E_{2z}\right)^2\right]^{1/2}\right\}^{1/2}$$

Для измерения напряженности ЭП в Советском Союзе широкое распространение получили пробы с датчиком в виде симметричного диполя – плоским (прибор ПЗ-1) или сферическим (прибор ПЗ-1 М). При измерениях эти приборы ориентируют в пространстве так, чтобы их показания в данной точке были максимальными. В этом случае продольная ось диполя совпадает с направлением большой оси эллипса (годографа вектора поля) и прибор измеряет значение $E_{max}/\sqrt{2}$. Другой, более совершенный прибор ПНП, имеет трехкоординатный датчик, сигналы которого пропорциональны мгновенным значениям декартовых составляющих напряженности поля. Обработка этих сигналов производится по заданному алгоритму, включающему определение модуля вектора E и выбор (амплитудным детектированием) значения E_{max}. Прибор градуируется в действующих значениях, т.е. определяет, как и другие, $E_{max}/\sqrt{2}$. Исключение влияния оператора на результаты измерений достигается применением длинных рукояток, при помощи которых приборы помещаются в требуемую точку. Для исключения искажения поля прибором последний располагают на расстоянии не менее 0,5 м от заземленных конструкций.

Напряженность ЭП в ОРУ меняется в широких пределах. Обычно наибольш-

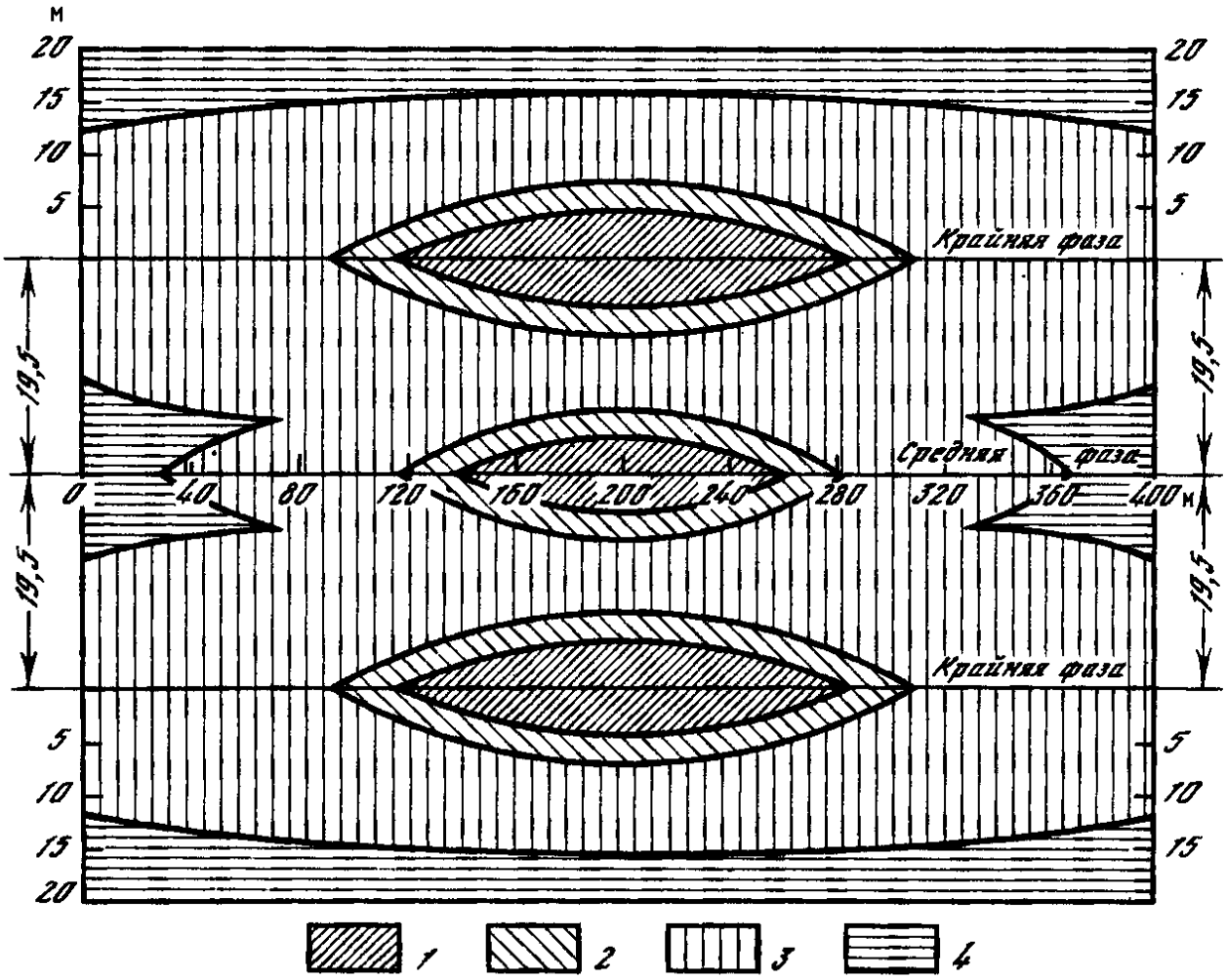


Р и с. 26. Зависимость напряженности поля от расстояния до токоведущих частей электрообо - рудования в ОРУ

Сплошная линия - на подстанциях 500 кВ, пунктирная - 750 кВ; I - у воздушного выключа - теля, 2 - на дорогах, 3 - у трансформатора тока, 4 - у разъединителя

ние значения напряженности поля имеют место вблизи аппаратов (на расстоянии 3-5 м). На расстоянии ближе 3 м от аппарата сказывается экранирующее действие его фундамента. Многочисленные исследования распределения поля по территории ОРУ различных напряжений показали, что, если не применяются специальные защитные мероприятия, напряженность ЭП на значительной площади, где установлены высоковольтные аппараты, оказывается существенно выше порогового значения, составляющего 5 кВ/м. Причем с ростом рабочего напряжения ОРУ увеличиваются и территории с высоким уровнем напряженности поля.

На рис.26 приведены зависимости напряженности поля от расстояния до токоведущих частей различных аппаратов в ОРУ 500 и 750 кВ, показано определение точек измерения. Граница зоны влияния, соответствующая пороговой напряженности 5 кВ/м, в ОРУ 500 и 750 кВ находится (с некоторым запасом) на расстоянии от токоведущих частей 20 и 30 м соответственно. Особые условия наблюдаются вблизи силовых трансформаторов и шунтирующих реакторов, где создается зона пониженной напряженности поля. Внутри зданий и сооружений (железобетонных и кирпичных) независимо от их расположения относительно токоведущих частей, находящихся под напряжением, поле практически отсутствует. Напряженность ЭП вблизи земли между полюсами отключенного и заземленного оборудования не превышает I кВ/м, однако за крайними полюсами, если имеет место влияние поля соседних ячеек, она может достигать I0-I5 кВ/м.



Р и с. 27. Конфигурация зон с различной напряженностью электрического поля в пролете под проводами ВЛ 750 кВ

I – E<I5 кВ/м, 2 – E<I2 кВ/м, 3 – E<I0 кВ/м, 4 – E<5 кВ/м

Анализ результатов измерений показывает, что уровень ЭП в ОРУ зависит от некоторых конструктивно-компоновочных решений, примененных на данном объекте. Так, например, если ближайшие фазы соседних ячеек одноименны, то поле в пространстве между такими ячейками значительно усиливается. Локальное увеличение напряженности поля наблюдается под местом, где пересекаются одноименные фазы шин. Существенное влияние на уровень ЭП оказывает высота опорных конструкций, на которых устанавливается оборудование(фундаментов). Увеличение высоты фундаментов не только удаляет токоведущие части от человека, но и усиливает экранирующее действие. Увеличение высоты фундаментов выключателей в 2 раза приводит к снижению напряженности поля вблизи аппарата в I,4–2,7 раза.

Электрическое поле вблизи ВЛ обычно характеризуют поперечными профилями [I6], представляющими собой кривые изменения напряженности ЭП на уровне I,8 м от земли в плоскости, перпендикулярной оси ВЛ. Наибольший интерес представляет поперечный профиль в середине пролета ВЛ, где фазные провода расположены наиболее близко к земле.

На рис.27 для пролета ВЛ 750 кВ длиной 400 м с минимальным расстоянием до земли I2,I м, обеспечивающим нормированную для ненаселенной

местности допустимую напряженность поля E = I5 кВ/м, показаны зоны с различной напряженностью ЭП. Зоны с E = I2÷I5 кВ/м, представляющие для человека наибольшую опасность, имеют ширину не более 20 м и расположены непосредственно под проводами ВЛ в месте их наибольшего провеса (в средней части пролета) примерно на трети его длины. Зона, в которой E > 5 кВ/м, занимает большую часть полосы отчуждения ВЛ, а ее границы почти параллельны оси трассы.

Как и на подстанциях, поле вблизи ВЛ усиливается по мере подъема на высоту. Если человек поднимается внутри стойки опоры, он оказывается экранированным, если снаружи – он попадает в поле с напряженностью до 40–60 кВ/м. На стойках опор на уровне подвески проводов напряженность поля максимальна.

Защитные мероприятия, реализуемые в настоящее время в ОРУ и вблизи ВЛ, предназначены для исключения всех видов воздействия ЭП на человека, в первую очередь путем снижения напряженности поля в местах его пребывания. Различие в продолжительности и условиях пребывания в ЭП обслуживающего персонала и населения диктует необходимость применения различных защитных мероприятий для каждой из этих категорий. Основным средством защиты персонала, обслуживающего ОРУ СВН, являются экранирующие устройства. Их защитные свойства основаны на том, что заряд, индуцированный внешним ЭП на экране, создает поле противоположного направления, ослабляя тем самым поле источника. Эффективность защиты любого экрана принято характеризовать коэффициентом экранирования, который равен отношению максимальных модулей вектора напряженности неискаженного поля в данной точке до установки экрана $|\vec{E}_1|$ и после его установки $|\vec{E}_2|$ [I7], т.е.

$$K_E = |\vec{E}_1| / |\vec{E}_2| = |\vec{E}_1| / |\vec{E}_1 + \vec{E}_э|,$$

где $\vec{E}_э$ – вектор напряженности поля, создаваемого наведенными зарядами экрана.

Наибольшего значения ($K_E = \infty$) коэффициент экранирования достигает вблизи точки ветвления поля под экраном, в которой поле $\vec{E}_э$ равно по величине и противоположно по направлению полю $\vec{E}_1$. Экраны принято проектировать с таким расчетом, чтобы точка ветвления поля совпадала с уровнем головы человека. Расчет экранирующих устройств [I7] сводится к определению распределения линий $K_E = const$. Такой подход позволяет получить наиболее полное представление о защитных свойствах экрана. Выбор параметров экранов может производиться также и по значению K_E в расчетной точке, где E_2 имеет максимум.

Стационарные экранирующие устройства [I8] выполняются из заземленных тросов, располагаемых между человеком и всеми источниками поля. Переносные экраны [I9] делают сетчатыми, и они предназначены для использования при непродолжительных работах вне зоны действия стационарных экранов.

Наиболее экономичным средством защиты персонала, обслуживающего ОРУ и ВЛ, от влияния ЭП является экранирующая одежда. Она предотавляет собой индивидуальную клетку Фарадея [20], выполненную из электропроводящей ткани, в состав которой входят электропроводящие волокна, образующие сетку. Защитные свойства экранирующей одежды зависят от степени заполнения ткани электропроводящими волокнами и улучшаются с ростом концентрации этих волокон, однако одновременно растет стоимость одежды и ухудшаются ее гигиенические свойства. В связи с этим параметры электропроводящей ткани экранирующей одежды необходимо рассчитывать. Понятно, что использовать концепцию требуемого снижения напряженности неискаженного поля при расчете нельзя. Приходится исходить из требуемой кратности снижения напряженности поля на теле человека, а также кратности ограничения протекающего через него тока смещения [21], характеризуя их соответственно коэффициентами экранирования K_E и K_I. Расчет K_E производят обычно лишь для точки на теле человека под центром ячейки сетки, образуемой электропроводящими волокнами, так как здесь экранирование минимально.

Экранирующая одежда обладает рядом недостатков [20], исключающих возможность использования ее в качестве единственного защитного средства. Важными элементами комплекса защитных мероприятий являются рационализация конструкции и компоновки ОРУ и ВЛ [16], а также методов технического обслуживания оборудования [22]. Без них невозможно создать высокоэффективную и вместе с тем экономичную и удобную в эксплуатации защиту. Так, например, основным средством снижения напряженности ЭП вблизи ВЛ стало увеличение высоты подвески фазных проводов, применение треугольного расположения фаз.

С целью защиты населения, проживающего вблизи ВЛ СВН, ограничивают жилищное строительство в санитарно-защитной зоне (где $E > 1$ кВ/м), используют экранирующее действие растительности, накладывают определенные ограничения на номенклатуру выращиваемых сельскохозяйственных культур. Обязательным является заземление машин и механизмов с пневматическими шинами, металлических крыш домов, проволоки, применяемой, при выращивании винограда, и т.п. Повсеместное внедрение защитных мероприятий позволило обезопасить и оздоровить условия труда в ОРУ и вблизи ВЛ СВН путем исключения всех проявлений вредного воздействия ЭП на человека.

Литература

1. Коробкова В.П., Морозов Ю.А., Столяров М.Д., Якуб Ю.А. Воздействие электрического поля распределительных устройств 500 и 750 кВ на обслуживающий персонал и средства для его защиты. – В кн.: Подстанции переменного тока: Докл. междунар. конф. по большим электрическим системам (СИГРЭ-72). М.: Энергия, 1974, с.33-43.
2. Князевский Б.А., Смекалова Н.С., Столяров М.Д. Электрические поля

электроустановок сверхвысокого напряжения как экологический фактор. – Тр. МЭИ, 1980, вып.460, с.8–17.
3. Кривова Т.И., Луковкин В.В., Морозов Ю.А. и др. Влияние электрического поля, создаваемого электроустановками высокого напряжения переменного тока, на организм человека. – В кн.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М.: Профиздат, 1977, вып.108, с.33–38.
4. Дмитровский В.Д., Качура В.С. Влияние электромагнитных полей промышленной частоты на организм человека и биологические объекты. Киев: Знание, 1977. 20 с.
5. Дмитровский Ю.Д., Попович В.М., Козярин И.П. Влияние электромагнитного поля низкой частоты (50 Гц) на функциональное состояние организма человека.– Гигиена и санитария, 1977, № 12, с.32–36.
6. Соловьев Н.А. О биологическом действии электрической составляющей электромагнитного поля низких частот. – Тр. ВНИИ медицинских инструментов и оборудования, 1962, № 5, с.86–94; № 6, с.82–91.
7. Колесников С.В., Чухловин Б.А. К механизму взаимодействия переменного электрического поля промышленной частоты с организмом человека и животного. – Письма в ЖТФ, 1978, т.4, вып 15, с.935–939.
8. Кривова Т.И., Луковкин В.В., Сазонова Т.Е. Влияние электрического поля промышленной частоты и разрядов на организм человека. – В кн.: Защита от действия электромагнитных полей и электрического тока в промышленности-М.: ВЦСПС, 1973, с.16–22.
9. Schneider K.H., Studinger H., Weck K.H. et al. Displacement currents to the human body caused by the dielectric field under overheads lines.–In: CIGRE report 36–04, sess. 1974. 12 p.
10. Коробкова В.П., Морозов Ю.А., Серебренников И.А., Столяров М.Л. О нормах и правилах по охране труда при работах на подстанциях и ВЛ напряжением 400, 500 и 750 кВ. – Энергетик, 1971, № 11, с.33–35; № 12, с.28–30.
11. Сарма-Маравада, Хилтон-Каваллиус, Джиао Тринх, Де Визе. Влияние электрического поля линий электропередачи и подстанций высокого напряжения.– В кн.: Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду: Докл. междунар. конф. по большим электрическим системам (СИГРЭ–76). М.: Энергия, 1979, с.20–33.
12. Байкова Р.Д., Гусев Ю.Н., Долин П.А. Нормирование напряженности электрического поля электроустановок сверхвысокого напряжения по условию безопасности индуцированных зарядов – Тр. МЭИ, 1980, вып. 444, с.25–28.
13. Кривова Т.И., Лебедев С.А., Морозов Ю.А. и др. Нормирование напряженности электрического поля промышленной частоты по порогу болевого раздражения электрическими разрядами. – В кн.: Защита от действия электромагнитных полей и электрического тока в промышленности. М.: ВЦНИИОТ ВЦСПС, 1973, с.7–16.
14. Перельман Л.С. Алгоритм расчета напряженности электрического поля

на проводах и вблизи линии электропередачи". М.: Госфонд алгоритмов и программ, 1974, № П000652, 15 с.
15. Кац Р.А., Перельман Л.С. Расчёт электрического поля трехфазной линии электропередачи. М.: Электричество, 1978, № 1, с.16-19.
16. Lyskov Y.I., Emma Y.S., Stolarov M.D. Electric fields as a parameter consideration in designing electric power transmission of 750-1150 kV. The measuring metode, the design practics and direction of further resesrch. - In: Symp. on UHV transmission technol. Wash., 1976, p. 22-28.
17. Смекалова Н.С., Столяров М.Д. Протяженные экраны на подстанциях напряжением 400 кВ и выше. - Электрические станции, 1980, № 9, с.38-42.
18. Столяров М.Д. Экранирующие устройства в ОРУ 500 и 750 кВ. - Экспресс-информация. Энергетика и электрификация. Строительство линий электропередачи и подстанций. М.: Информэнерго, 1980, вып 1, с.1-8.
19. Столяров М.Д., Моисеев А.Г. Переносное экранирующее устройство для защиты от влияния электрического поля. - Энергетик, 1977, № 7, с.15-16.
20. Хомяков А.М., Столяров М.Д. Экранирующие комплекты спецодежды для защиты персонала электроустановок 400-750 кВ от воздействия электрического поля промышленной частоты. - Там же, 1979, № 8, с.32-34.
21. Жеребцов В.А., Столяров М.Д. Расчет средств защиты от экологического влияния электрического поля. - Электричество, 1980, № 6, с.39-44.
22. Морозов Ю.А., Перельман Л.С., Столяров М.Д., Серебренников И.А. Требования к конструкциям линий и подстанций 1200 кВ и мероприятия, обеспечивающие эффективную и безопасную эксплуатацию электропередачи. - В кн.: Материалы Всесоюзн. научн.-техн. совещания "Электропередачи 1200 кВ". Л.: ЦПНТОЭ, 1973, с.1-11.

2.3. Электромагнитные поля в окрестности радиотехнических станций

Широкое внедрение в народное хозяйство и постоянное развитие средств радиолокации и радиосвязи, систем передачи энергии, а также специальных технологических устройств ведет к повышению уровней электромагнитной энергии во внешней среде. По литературным данным [1], излучаемые мощности радиолокационных станций (РЛС) в послевоенные годы увеличиваются в 10-30 раз за десятилетие, во много раз превышая общий прирост энергии на земном шаре (составляющий около 300 Дж/с или 10^{10} Дж/год, что соответствует удвоению производства энергии каждые 20 лет).

Средняя мощность РЛС в зависимости от целей ее использования может меняться от долей ватта до значений порядка 1 МВт. Импульсная мощность типичной высокомощной РЛС достигает значений порядка 1 МВт [2]. Параллельно с повышением излучаемых мощностей РЛС совершенствуются антенные системы, позволяющие формировать узконаправленное излучение с воз-

можностью его перемещения в пространстве [1]. Это также приводит к повышенному электромагнитному облучению внешней среды.

Во всем мире действует большое число радио- и телевизионных станций различного назначения. Мощности этих станций колеблются от десятков ватт до сотен киловатт [3].

В настоящее время проводятся работы по изучению возможности передачи энергии с помощью сфокусированного луча СВЧ [4], так что в будущем приобретет важное значение облучение внешней среды системами передачи энергии.

Широкое применение нашли в народном хозяйстве различные технологические устройства, работа которых связана с излучением электромагнитной энергии во внешнюю среду: установки нагрева металлов, полупроводников и диэлектриков, физиотерапевтические установки, установки для получения плазмы, СВЧ-печи для приготовления пищи и т.д.

В табл. 3 приведены основные области применения источников ЭМП и используемые диапазоны частот [1-5]. Большинство радиолокационных диапазонов расположены рядом или даже частично перекрываются с диапазонами, используемыми радиолюбителями [2].

В табл. 4 приведены установленные в СССР предельно допустимые уровни ЭМП для населенных мест [6].

В табл. 5 приведено распределение ЭМП излучения ряда отечественных и зарубежных РЛС (частично использованы данные [7]).

Расчет распределения ЭМП метеорологических РЛС МРЛ-1, МРЛ-2 и РМС-1 проводился на основании их тактико-технических данных [8,9].

Интенсивность облучения территории населенных мест зависит, кроме тактико-технических данных РЛС, от угла места, т.е. от угла наклона антенны к горизонту. Угол места может меняться с учетом особенностей использования РЛС и места ее расположения. С увеличением угла места, т.е. при подъеме луча вверх от горизонта, размер опасной зоны по поверхности Земли уменьшается.

Предлагается методика расчета санитарно-защитных зон, разработанная на основе линейной аппроксимации главного лепестка диаграмм направленности параболических антенн. Размеры санитарно-защитной зоны по этой методике определяются из выражения

$$h = h_1 + r\,tg\,\alpha - mr\,(1 - P^n r^2), \qquad (1)$$

где h – высота от поверхности Земли до точки с предельно допустимой плотностью потока энергии, м; h_1 – высота установки антенны, м; r – расстояние от антенны до точки приема по поверхности Земли, м;

α – угол места антенны, град;

P – плотность потока энергии, принятая за предельно допустимую, мкВт/см^2; m и n – постоянные для данного режима работы РЛС величины:

Таблица 3

Основные области применения источников ЭМП и используемые диапазоны частот

Область применения	Основные решаемые задачи	Диапазон частот
Радиолокация	Противовоздушная оборона, управление воздушным движением, проводка судов, определение скорости объектов, обнаружение грозовых фронтов, обнаружение наземных целей и т.д.	137–144; 216–225; 420–450; 890–940; 1215–1400; 2300–2550; 2700–3700; 5255–5925; 8500–10700 МГц; 13,4–14; 15,7–17,7; 23–24,25; 33,4–36 ГГц
Радиосвязь, телевидение	Передача информации	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^{11}$ Гц Основные телевизионные каналы: 48,5–230 МГц, дециметровые каналы до 1000 МГц
Промышленность, наука, медицина, быт	Термообработка материалов, получение плазмы, физиотерапия, приготовление пищи и т.д.	8; 18; 22; 44; 66; 440; 880; 1760; 2640; 5280; 13560 кГц; 27,12; 40,68; 8136; 152,5; 460; 915; 2375; 2450 МГц; 24,125; 42,3; 46,2; 48,4 ГГц

Таблица 4

Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона [x] радиочастот

Диапазон радиоволн	Частотные (волновые) границы диапазона	Предельно допустимый уровень ЭМП
Длинные	30–300 кГц (I0–I км)	20 В/м
Средние	0,3–3 МГц (I–0,I км)	I0 В/м
Короткие	3–30 МГц (I00–I0 м)	4 В/м
Ультракороткие	30–300 МГц (I0–I м)	2 В/м
Микроволны (кругло-суточное облучение) [xx]	300 МГц – 300 ГГц	5 мкВт/см^2

x) Приведенные диапазоны радиоволн включают наименьшую длину волны и исключают наибольшую.

xx) Только для вращающихся и сканирующих антенн.

Таблица 5

Распределение ЭМП в направлении главного максимума излучения некоторых РЛС

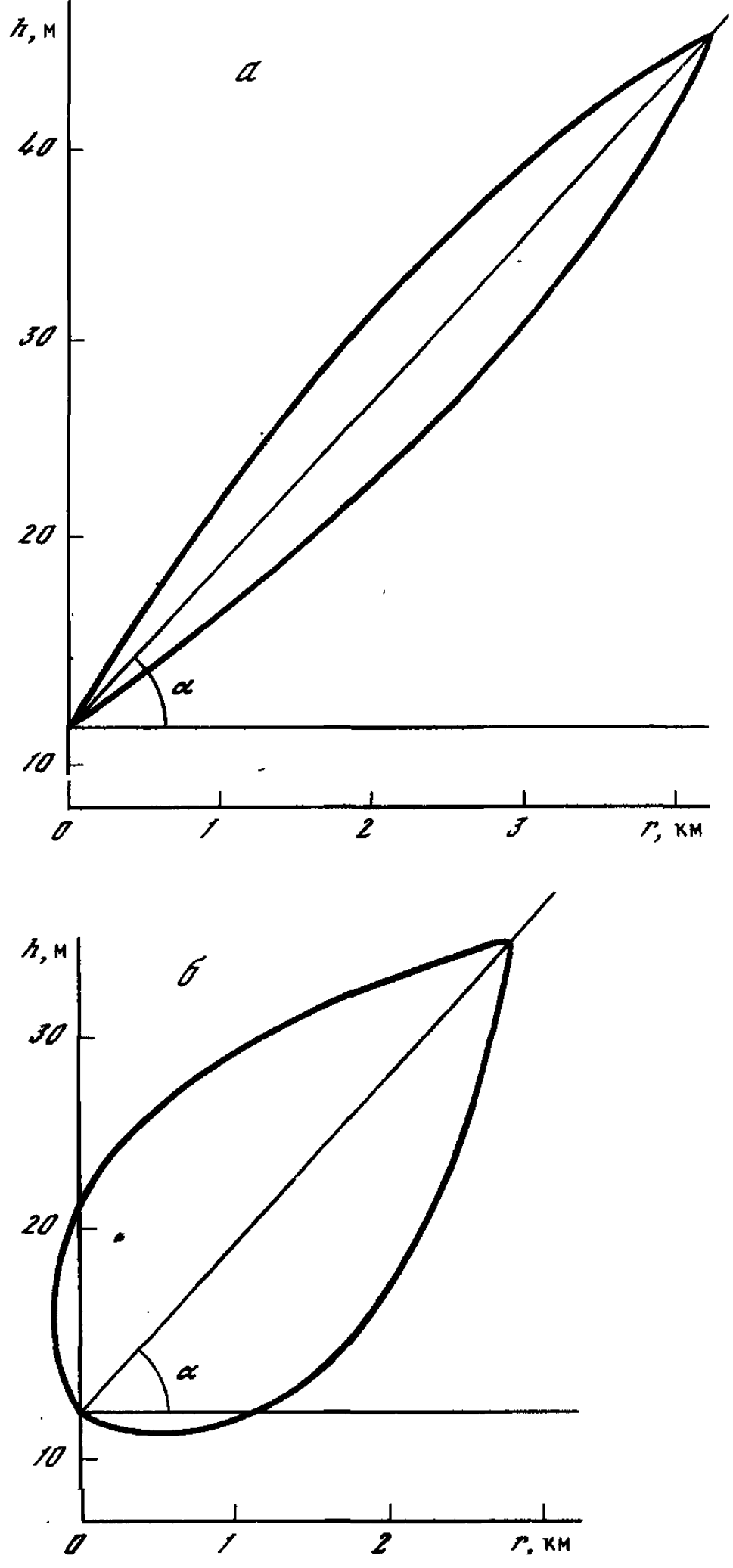
Тип РЛС	Диапазон длин волн, см	Расстояние от антенны, м				
		P=I000	P=I00	P=I0	P=5	P=I
СССР.						
МРЛ-I (канал I)	0,86	289	9I5	2894	4095	9I54
МРЛ-I (канал II)	3,2	200	633	2003	2833	6333
МРЛ-2						
РМС-I	I7	26	82	258	365	8I7
США.						
AN/FPS-I4	5,8–I9,3	I04	330	I040	I47I	3289
AN/FPS-3	I9,3–76,9	I66	525	I660	2348	5249
AN/FPS-I8	4,8–7,7	I72	545	I720	2432	5439
AN/FPS-20	I9,3–76,9	325	I030	3250	4596	I0277
AN/FPS-6	4,8–7,7	537	I700	5370	7594	I698I
AN/FPS-I6	5,8–I9,3	570	I800	5700	806I	I8025

Примечание. Плотность потока энергии P дана в мкВт/см^2.

$m = 0{,}477\,\lambda/R$ (λ – длина волны, м; R – половина вертикального размера антенны, м),

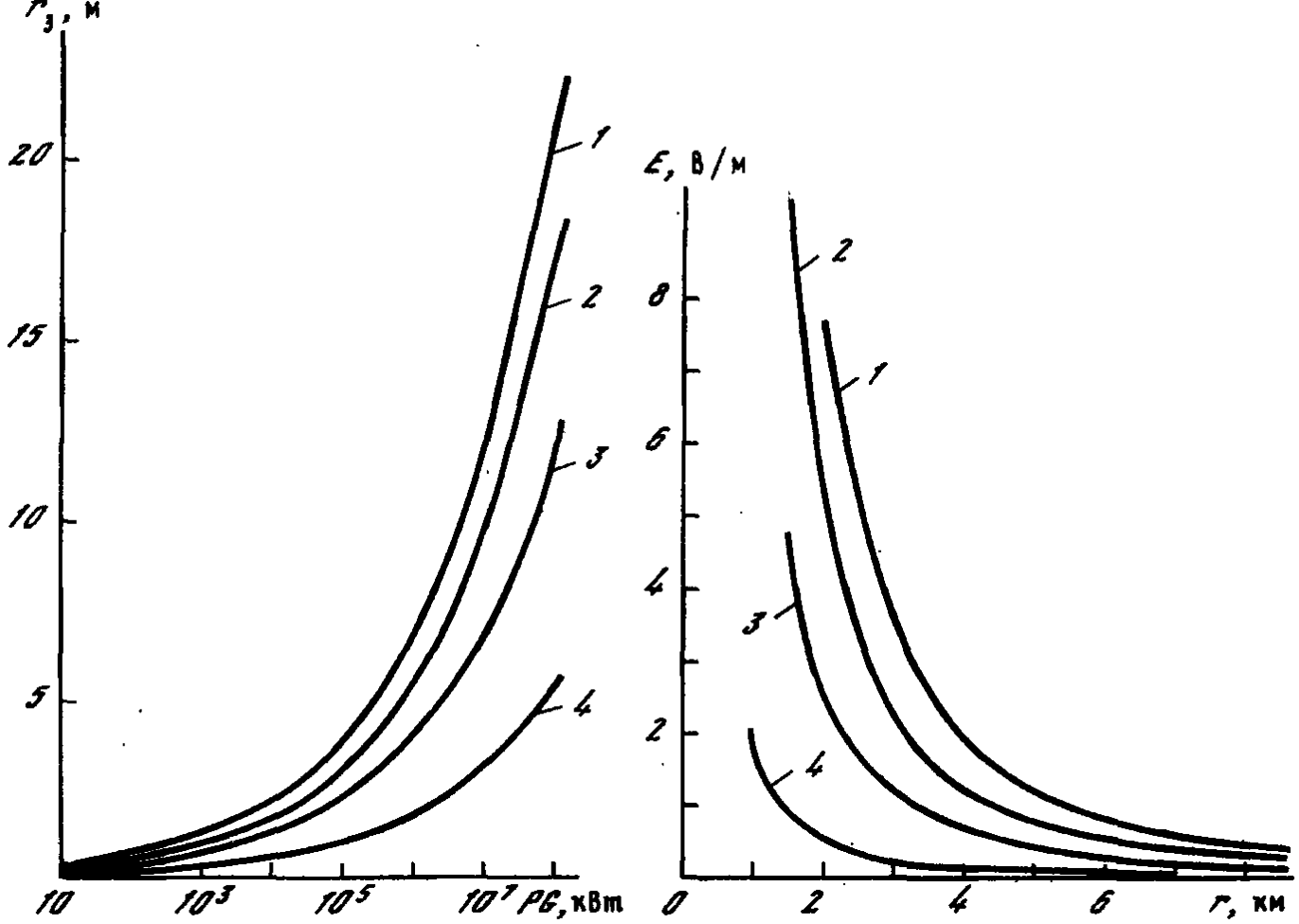
$n = \dfrac{0{,}II3}{P_{имп}\,\tau\,F\,G}$, где $P_{имп}$ – импульсная мощность станции, Вт;

τ – длительность импульсов, с; F – частота следования импульсов, Гц; G – коэффициент усиления антенны. Методика справедлива для ровной



Р и с. 28. Главный лепесток излучения РЛС МРЛ – I (канал I МРЛ – 2 и МРЛ – I (канал II) (б)

Угол места $\alpha = 0{,}5^{\circ}$; луч ограничен уровнем 5 мкВт/см^2



Р и с. 29. Зависимость размера санитарно-защитной зоны КВ-радиостанции ст ее технических данных и высоты застройки

Высота застройки: I – 30 м, 2 – 20 м, 3 – I0 м, 4 – 2 м. Длина волны 33 м, высота антенны I00 м

Р и с. 30. Распределение ЭМП КВ-радиостанции

Высота от Земли: I – 30 м, 2 – 20 м, 3 – I0 м, 4 – 2 м

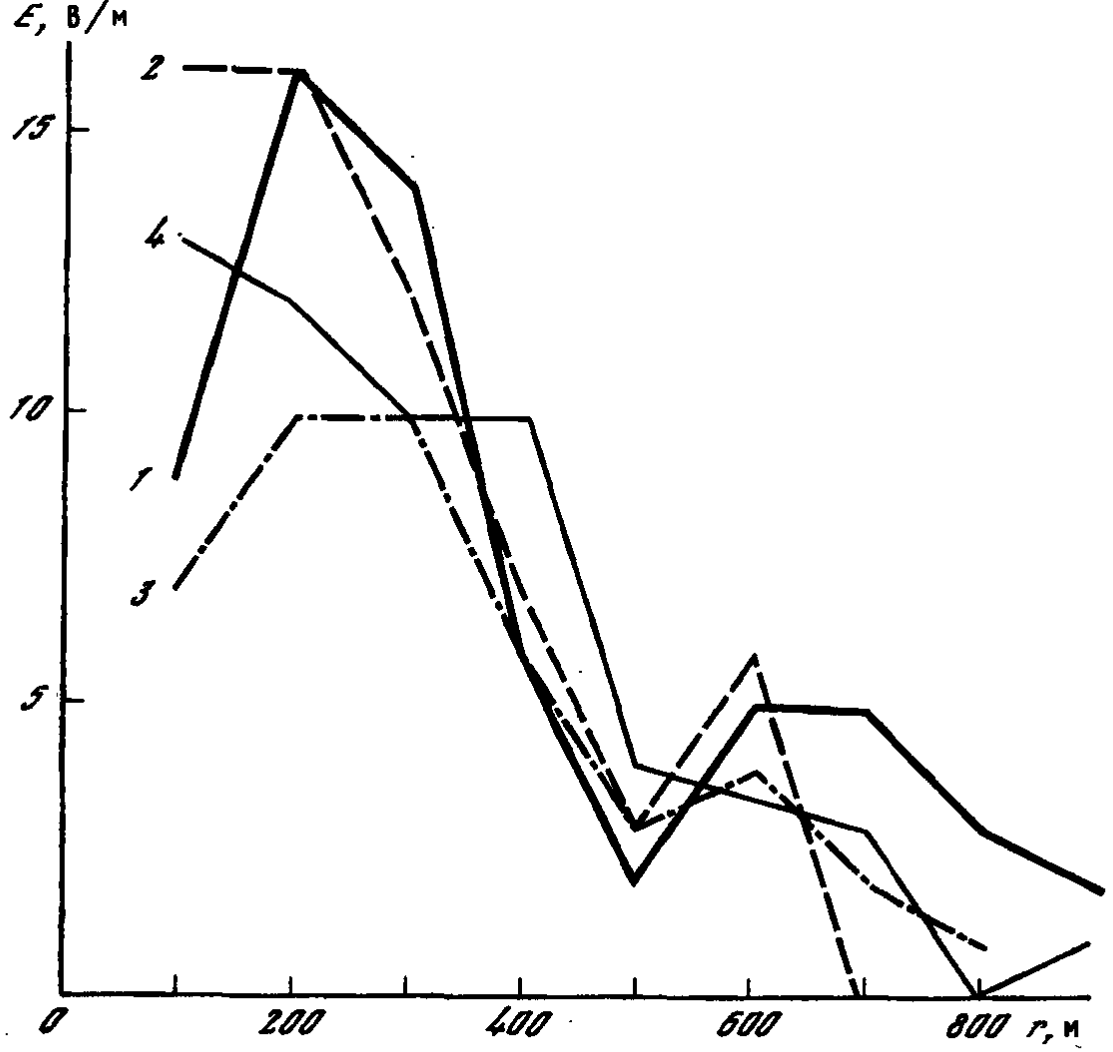
поверхности Земли (боковые лепестки диаграммы направленности антенны не учитываются).

Результаты расчетов по формуле (I) санитарно-защитных зон РЛС МРЛ-I и МРЛ-2 подтверждают значительное уменьшение размера опасной зоны по поверхности земли при увеличении угла места антенны (рис.28). Из рис.28 видно, что при увеличении расстояния от РЛС увеличивается допустимая высота застройки, следовательно, величина санитарно-защитной зоны РЛС связана с высотой существующей или перспективной застройки прилегающих к РЛС районов.

Расчет распределения ЭМП, создаваемого радиостанциями, удобнее всего проводить по формуле Введенокого [I0]. Путем преобразований получается следующее выражение для определения радиуса санитарно-защитной зоны:

$$r_з = \left(0,00218\, h_1 h_2 \sqrt{PG} \,/\, E_{пр}\, \lambda\right)^{1/2}, \qquad (2)$$

где $r_з$ – радиус санитарно-защитной зоны, км; h_1 – высота подвеса ан-



Р и с. 3I. Распределение ЭМП радиотелевизионной станции
I,2 – в диапазоне СВ, 3,4 – в диапазоне УКВ; высота от Земли: I,3 – 2 м, 2,4 – 5 м

тенны, м; h_2 – высота точки приема, м; P – мощность станции, кВт; G – коэффициент усиления антенны; $E_{пр}$ – предельно допустимая напряженность поля, В/м; λ – длина волны, м:

Область применимости формулы Введенского начинается с расстояний

$$r > 18\, h_1 h_2 / \lambda .$$

Зная технические данные радиостанции и задавая различные значени h_2, можно определить размеры санитарно-защитной зоны для разных высот застройки (рис. 29).

На рис.30 приведены расчетные распределения ЭМП, создаваемого КВ-радиостанцией со следующими техническими данными: P = 500 кВт, G = 200, h_1 = 50 м, λ = 33 м. Реальное распределение ЭМП может несколько отличаться от расчетных данных вследствие особенностей рельефа местности, наличия строений местных отражающих и экранирующих предметов и т.д.

Результаты обследования одной из радиотелевизионных станций представлени на рис.3I. Немонотонность кривых обусловлена тем, что станция расположена в поселке с высокой плотностью застройки и значительной неровностью и неоднородностью земной поверхности.

По результатам обследования 20% населения агентством по охране окружающей среды в США определен медианный уровень облучения, т.е. такой уровень, при котором 50% населения подвергается меньшему облучению, а 50% - большему. Этот уровень составляет 0,005 мкВт/см^2. Однако около I% населения подвергается облучению с уровнями более I мкВт/см^2, встречаются также случаи, когда уровень облучения превышает I00 мкВт/см^2 [II].

Особое значение имеет профессиональное облучение лиц, работающих с источниками ЭМП в производственных условиях: производство, ремонт, настройка и обслуживание радиоэлектронной аппаратуры и технологических установок. В большинстве этих случаев (кроме эксплуатации РЛС, радиостанций и т.д.) излучение ограничено производственной зоной [I,I2].

Рассмотренные данные свидетельствуют о том, что при использовании средств радиоэлектроники во всех отраслях народного хозяйства значительно повышается интенсивность электромагнитного облучения больших контингентов населения. В связи с этим задача изучения биологического действия и разработки средств защиты от ЭМП приобретает все большую актуальность.

Литература

I. Минин Б.А. СВЧ и безопасность человека. М.: Сов. радио, I974, 352 с.
2. Справочник по радиолокации. В 4-х т. Т.I. Основы радиолокации. М.: Сов. радио, I976. 456 с.
3. Думанский Ю.Д., Сердюк А.М., Лось И.П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. Киев: Здоров'я, I975. I58 с.
4. СВЧ-энергетика. Т.3. Применение энергии сверхвысоких частот в медицине, науке и технике: Пер. с англ. М.: Мир, I97I, 248 с.
5. Общесоюзные нормы допускаемых индустриальных радиопомех. М.: Связь, I973, 73 с.
6. Санитарные нормы и правила размещения радио-, телевизионных и радиолокационных станций, № I823-78. М.: Мин-во здравоохранения СССР, I978, I7 с.
7. Крылов В.А., Юченкова Т.В. Защита от электромагнитных излучений. М.: Сов. радио, I972, 2I6 с.
8. Руководство по производству наблюдений и применению информации с радиолокаторов МРЛ-I и МРЛ-2. Л.: Гидрометеоиздат, I974, 334 с.
9. Вайсман Г.М., Верле Ю.С. Основы радиотехники и радиосистемы в гидрометеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, I970, 488 с.
I0. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Связь, I972, 336 с.
II. Телл Р.А., Мэнтипли Э.Д. Облучение населения ОВЧ- и УВЧ-сигналами широковещательных станций США. - В кн.: Тр. ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (ТИИЭР): Пер. с англ. М.: Мир, I980, т.68, № I, с. 8-I5.
I2. Гордон З.В. Вопросы гигиены труда и биологического действия электромагнитных полей сверхвысоких частот. Л.: Медицина, I966, I63 с.

2.4. Электромагнитные поля, возникающие при движении в геомагнитном поле

Обратимся к электрическим и магнитным полям, возникающим при движении в геомагнитном поле.

Предположения о возможной биологической значимости ЭП индукционного происхождения высказывались давно. В последнее время интерес сместился в область авиакосмической медицины. По мнению Миро [1], ЭП индукционного происхождения могут воздействовать на людей, перемещающихся с большой скоростью на летательных аппаратах (ЛА). Об этом же, хотя и в несколько неопределенных выражениях, говорится в работе [2]. В работе [3] выдвигается гипотеза, что ЭП, обусловленные электромагнитной индукцией, могут быть "по крайней мере частично ответственны" за изменение кальциевого обмена у космонавтов в околоземных полетах.

Более важная сторона проблемы - возможное влияние на движущийся биологический объект временных вариаций МП, обусловленных пространственной неоднородностью ГМП,- лишь кратко затронута в литературе [1,4,5]. Между тем эти вариации охватывают значительную часть биосферы, поскольку подвижность в широком смысле этого слова присуща всему живому.

Интенсивность их воздействия на человека наиболее высока в условиях технологической цивилизации. Для этого уровня развития общества характерны большие масштабы и скорости перемещения людей, что ведет к значительным временным изменениям действующего на них естественного МП. Так, на экипаж ЛА и пассажиров, находящихся на борту, во время полета воздействуют колебания МП, которые сопоставимы или превосходят вариации ГМП во время самых сильных магнитных бурь. Аналогичное положение имеет место и на других видах транспорта. О численности контингента, подвергающегося этим воздействиям, можно судить, например, по тому, что поток пассажиров Аэрофлота достигает 100 млн. человек в год. Кроме того, технологической цивилизации на современном этапе свойственно широкое использование ферромагнитных материалов, что усугубляет ситуацию, поскольку человек подвергается воздействию неоднородного МП при перемещении вблизи ферромагнитных предметов. Масштаб этих воздействий также исключительно широк.

Имеются данные о биологической эффективности переменных МП, близких по параметрам к тем, которые действуют на объект, движущийся в ГМП.

Ограничимся теми ЭМП, которые могут воздействовать на человека. Заметим, что при определении их характеристик в ряде работ (например, [1-3]) допущены принципиальные ошибки. В результате авторы приходят к неправильным выводам относительно биологической роли соответствующих полей.

Итак, требуется найти $\vec{E}_1(t)$ и $\vec{B}_1(t)$ в системе координат, связанной с движущимся объектом, зная закон его движения $\vec{r}(t)$, а также $\vec{E}_0(\vec{r})$ и $\vec{B}_0(\vec{r})$ в неподвижной системе координат. Используем известные формулы преобразования полей [6-9] с учетом того, что око-

рость объекта v много меньше скорости света с. Имеем:

$$\vec{E}_1(t) \approx \vec{E}_0(\vec{r}(t)) + \vec{v}(\vec{r}(t)) \times \vec{B}_0(\vec{r}(t)),$$
$$\vec{B}_1(t) \approx \vec{B}_0(\vec{r}(t)) + \frac{\vec{v}(\vec{r}(t)) \times \vec{E}_0(\vec{r}(t))}{c^2}. \qquad (I)$$

Это и есть решение задачи.

Поля $\vec{E}_1$ и $\vec{B}_1$ являются внешними. Возникает вопрос, в каких случаях они могут наблюдаться внутри транспортных средств, принимая во внимание, что корпуса последних, как правило, выполнены из проводящих материалов. Поле $\vec{E}_1$, как и любое ЭП, не может проникать внутрь проводника. Действительно, заряды на проводящем теле под действием ЭП разделяются так, что в любой точке внутри него полная напряженность оказывается равной нулю. Результат не зависит от того, является тело сплошным или полым [9, с.79; 10, с.106]. Небольшие вырезы в корпусе незначительно ухудшают экранировку (решение задачи для шара с отверстием см. в [11, с.305]). Разумеется, если оболочка состоит из отдельных электрически изолированных элементов, то внутри нее может наблюдаться ЭП, но лишь в течение времени, определяемого соответствующей постоянной разряда.

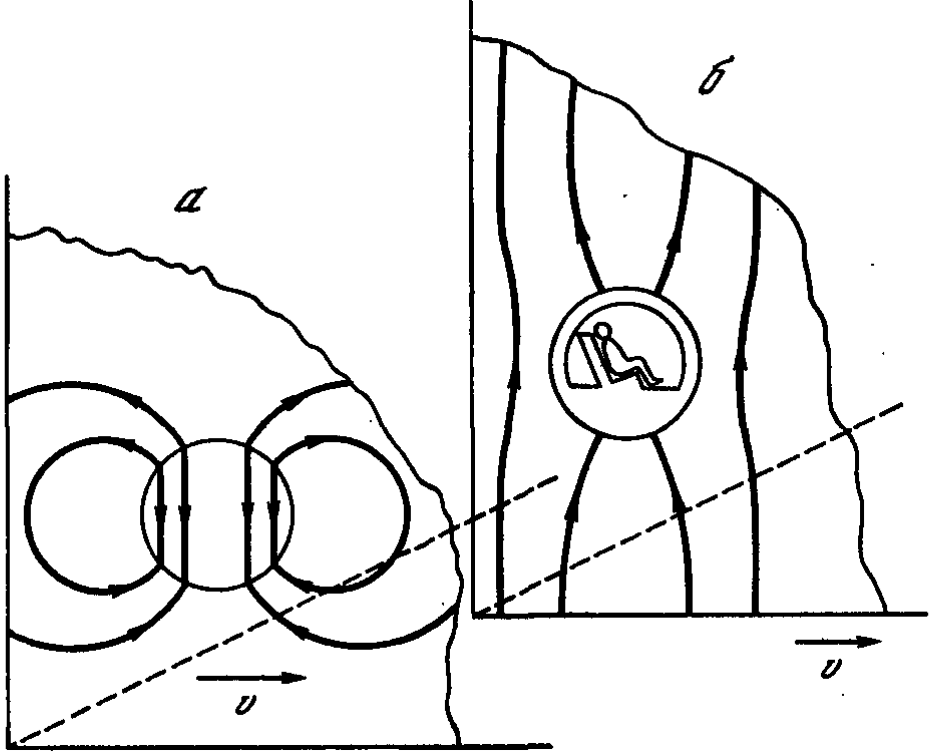
Таким образом, на борту ЛА, да и на борту большинства других транспортных средств, ЭП индукционного происхождения, обусловленные движением в ГМП, практически отсутствуют. В связи с этим попытки привлечь их для объяснения некоторых явлений, наблюдаемых в авиационной и космической медицине, несостоятельны. Сказанное можно иллюстрировать следующим примером из истории техники. В 1910 – 1930 гг. предпринимались многочисленные попытки создать судовые и авиационные измерители скорости, основанные на электромагнитной индукции. Однако все усилия, естественно, оканчивались неудачей [6, с. 279; 12, с. 566; 13, с. 56]. Если индукционный датчик не был экранирован, то сигнал от ГМП "забивался" сигналом от естественного ЭП, поскольку $|\vec{E}_0| \gg |\vec{v} \times \vec{B}_0|$; если же для защиты от помех датчик окружали экраном, то одновременно с ними исчезал полезный индукционный сигнал.

Сомнительно, могут ли ЭП, обусловленные движением в ГМП, играть какую-либо роль и тогда, когда человек не экранирован от их воздействия поскольку они значительно меньше не только средней напряженности естественного ЭП у поверхности Земли, но и ее флюктуаций.

Остается выяснить еще один вопрос – почему нельзя рассматривать всю картину с точки зрения неподвижного наблюдателя ? Ведь в этой системе отсчета ЭП внутри движущегося в МП проводящего тела существует (рис.32).

Дело в том, что движущийся объект выглядит иначе, чем покоящийся. Меняются поляризация и намагничение вещества, из которого он состоит, текущие в нем токи и т.д. Например, если в сопутствующей системе вещество было поляризовано, но не намагничено, то в любой другой системе отсчета оно окажется и поляризованным, и намагниченным.

Если представить, что состояние человека, движущегося с некоторой скоростью, дистанционно регистрируется неподвижными датчиками, то их



Р и с. 32. Распределение электрического поля для движущегося проводящего тела: а – неподвижная система отсчета, б – система отсчета, движущаяся вместе с телом. МП направлено перпендикулярно плоскости чертежа

показания разойдутся с показаниями датчиков, установленных на борту подвижной платформы: в принципе должны наблюдаться несколько иные биотоки, иная поляризация мембран, иные биопотенциалы и т.д. Поэтому задача и была сформулирована нами применительно к системе отсчета, связанной с движущимся объектом.

Перейдем к анализу временных вариаций МП на борту движущихся объектов. У значительной части материалов, используемых в конструкциях корпусов транспортных средств (алюминиевые и титановые сплавы, некоторые марки специальных сталей и т.п.), магнитные свойства выражены слабо. Поэтому они не экранируют ГМП. Более того, ГМП может проникать внутрь транспортного средства и тогда, когда его корпус выполнен из ферромагнитного материала. Действительно, для эффективного экранирования необходимо, чтобы удовлетворялось условие $\mu \frac{\Delta в}{в} \gg 1$, где μ – магнитная проницаемость, а $\frac{\Delta в}{в}$ – отношение толщины оболочки к ее характерным размерам. Для большинства транспортных средств $\frac{\Delta в}{в} \sim 10^{-2} \div 10^{-3}$ (специальную бронированную технику мы не рассматриваем). Поскольку конструкционные материалы, обладающие ферромагнитными свойствами, не принадлежат к веществам с высокими значениями μ, экранирующая способность подобных оболочек оказывается малой [1].

Следует учитывать и то обстоятельство, что корпус транспортного средства подвергается механическим нагрузкам (сжатию, растяжению, виб-

---

1) При больших $\frac{\Delta в}{в}$ (порядка 10^{-1}) экранировка имеет место при сравнительно невысоких μ. Так, например, вода в отдельных участках водопроводной сети находится в "почти амагнитных" условиях.

рации, ударам и т.д.). Это способствует возникновению "равновесия" с внешним МП, а следовательно, ведет к дальнейшему уменьшению экранирующих свойств.

Итак, в большинстве случаев поправкой на экранирование можно пренебречь. Кроме того, $\left| \frac{\vec{v} \times \vec{E}_0}{c^2} \right| \ll \left| \vec{B}_0 \right|$. Поэтому МП внутри транспортного средства можно принять равным $\sim \vec{B}_0$. Для наших целей достаточно рассмотреть вклад в $\vec{B}_0$ дипольного поля и поля мировых аномалий (их сумму называют главным или нормальным полем), а также аномального магнитного поля, обусловленного намагниченностью пород земной коры (АМП).

Нормальное поле является сравнительно медленно меняющейся функцией координат. Как известно, его можно представить не только в виде разложения по полиномам Лежандра, но и в виде суммы полей диполей - центрального и нецентральных [I4,I5]. Это оказывается удобным в некоторых расчетах.

В первом приближении вариацию магнитного поля на борту, обусловленную пространственной неоднородностью нормального поля, можно оценить по градиентам его горизонтальной и вертикальной компонент (ΔH и ΔZ соответственно). Для средних широт при перемещении к экватору ΔH увеличивается на ~ 4 нТл/км, а ΔZ уменьшается на ~ 7 нТл/км; при подъеме ΔH уменьшается на $\sim$ II нТл/км, а ΔZ - на $\sim$22 нТл/км [I6].

АМП - сравнительно быстро меняющаяся функция координат, что не позволяет задать ее в виде ряда Гаусса. Для движущегося объекта АМП принимают за стационарную (т.е. не зависящую от времени) случайную функцию координат или за комбинацию гармонического и случайного процессов. Ее характеризуют спектральной плотностью (энергетическим спектром), которая дает усредненное распределение энергии АМП по частоте f. Последнюю обычно выражают в обратных длинах ($км^{-1}$). Для каждого региона энергетический спектр обладает своими характеристиками [I6,I7]. Например, среднеквадратичная величина изменения ГМП в европейской части территории СССР на высотах порядка 300 м, обусловленная АМП, составляет около I80 нТл [I7], что превосходит по амплитуде большинство магнитных бурь.

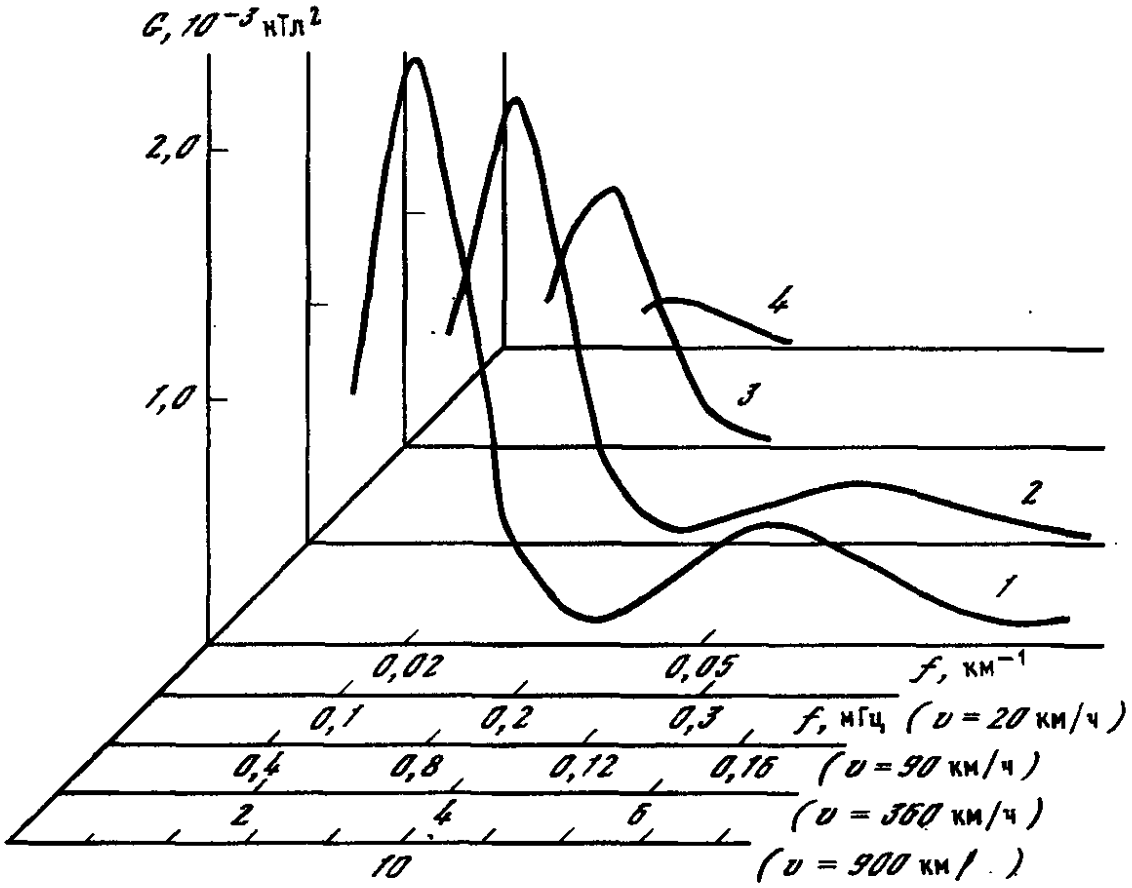
Переход от энергетического спектра $G_1(\omega)$, измеренного на высоте h_1, к энергетическому спектру $G_2(\omega)$ для высоты h_2, как известно, возможен по формуле

$$G_2(\omega) = G_1(\omega) \exp\left[-2\omega\left(h_2 - h_1\right)\right] \qquad (2)$$

($\omega = 2\pi f$), которая, вообще говоря, следует из свойств преобразования Фурье [I8].

Над океаном энергетический спектр оказывается более низкочастотным, чем над сушей, из-за большей глубины залегания намагниченных пород. Зная энергетический спектр и скорость движения объекта (в км/с), легко перейти от частоты в обратных длинах к частоте в герцах:

$$f(Гц) = 2{,}78 \cdot 10^{-3} f\ (км^{-1}) \cdot v\ (км \cdot с^{-1}).$$



Р и с. 33. Типичный энергетический спектр АМП одного из регионов на высотах 0,2; I; 3 и I0 км (кривые I, 2, 3, 4 соответственно)

Для наземного транспорта со скоростью движения порядка 30 - 90 км/ч скорость изменения МП, обусловленная пространственной неоднородностью нормального поля, может достигать десятых нанотесла в секунду.

В пассажирской авиации изменение МП также обусловлено горизонтальным перемещением, так как горизонтальная скорость значительно превосходит вертикальную. Уменьшение МП вследствие набора высоты дает существенный вклад лишь при движении строго вдоль магнитной параллели. При скорости объекта порядка I000 км/ч скорость изменения МП обусловленная пространственной неоднородностью нормального поля, может составлять единицы нанотесла в секунду. Особенно велики градиенты в районах магнитной аномалии (например, Курской), где они могут достигать десятков и сотен нанотесл на I км. При полете над такой аномалией со скоростью порядка I000 км/ч скорость изменения МП на борту может достигать I0 - 20 нТл/с.

Вклад АМП существен для наземного, а также водного транспорта и для ЛА с небольшой и средней высотой полета.

На рис.33 приведен типичный спектр АМП одного из регионов на различных высотах, причем для удобства дана серия частотных шкал (в мГц), соответствующих различной скорости движения. Видно, что вариации, обусловленные АМП, лежат в диапазоне от десятков микрогерц до десятков миллигерц.

Если высота полета достаточно быстро меняется, то спектр АМП модулируется экспоненциальным множителем (ом. уравнение (2)). Суммарные

изменения МП, обусловленные АМП и пространственной неоднородностью нормального поля, напоминают магнитные бури и бухтообразные возмущения ГМП. Это сходство особенно проявляется в тех случаях, когда имеют место резкие изменения высоты, скорости и направления полета.

Рассмотрим вариации ГМП на борту космического корабля (КК). В дипольном приближении [19]:

$$\left| \vec{B}_1 \right| = \frac{M}{r^3} \left(1 - 3 \sin^2 i_м \cdot \sin^2 u_м\right)^{1/2}, \qquad (3)$$

где M – магнитный момент Земли,

r – расстояние от ее центра до интересующей точки орбиты,

$i_м$ – угол наклона орбиты к плоскости геомагнитного экватора (осциллирует с периодом, равным периоду вращения Земли вокруг оси, т.е. 24 ч),

$u_м$ – аргумент широты КК, отсчитываемый в плоскости орбиты от восходящего узла по отношению к геомагнитному экватору (его изменение обусловлено как движением КК, так и вращением Земли).

После элементарных преобразований (3) имеем:

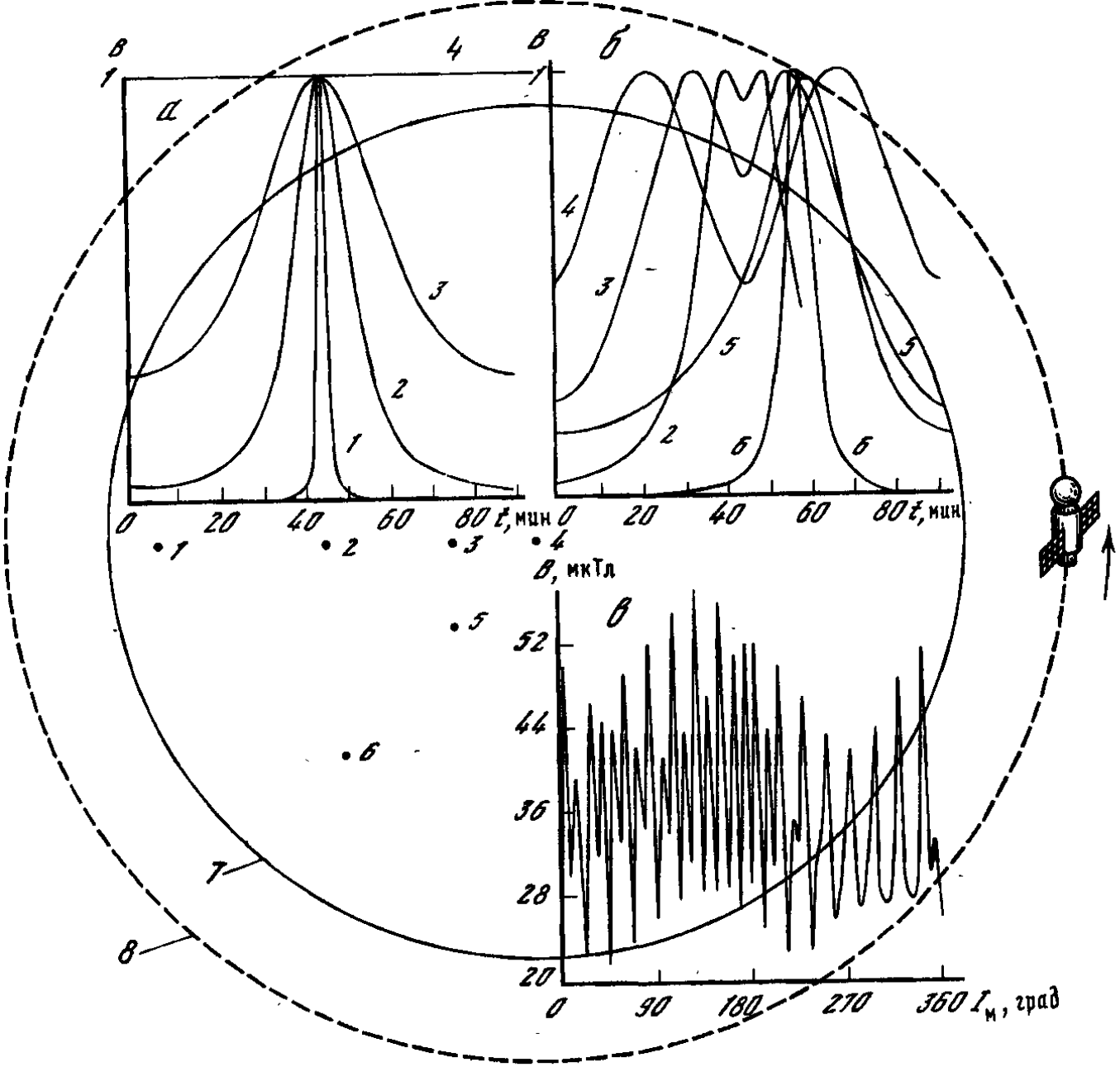
$$\left| \vec{B}_1 \right| = \frac{\sqrt{7}}{2} \cdot \frac{M}{r^3} \left(1 - \frac{3}{7} \cos 2 i_м - \frac{3}{7} \left(1 - \cos 2 i_м\right) \cos 2 u_м\right)^{1/2}. \qquad (4)$$

Из этого выражения легко видеть, что в общем случае МП на борту КК характеризуется тремя основными периодами осцилляций. Первый равен периоду обращения КК t_0 (в случае круговой орбиты эта гармоника отсутствует). Второй равен половине "периода обращения" аргумента широты КК $u_м$ (для низких орбит он близок к $t_0/2$). Третий равен половине периода осцилляции $i_м$ (12 ч).

Величина вариаций растет с увеличением угла наклона орбиты i к плоскости географического экватора. В случае круговой орбиты максимальное и минимальное значения огибающей ограничены величинами ГМП на геомагнитном экваторе и географической параллели $I = i$ для заданной высоты полета. В интервале изменения i от 0 до 90° амплитуда огибающей сначала растет, достигая максимума при $i \sim 35^\circ$, а затем убывает.

Если орбита эллиптическая, не эксцентриситет мал, множитель $\frac{1}{r^3}$ в выражении (4) переходит в $\frac{1}{r_0^3}$ $\left(1 - 3\frac{\Delta r}{r_0}\right)$, причем высота Δr изменяется по гармоническому закону с периодом t_0. При большей величине эксцентриситета вариации МП становятся квазисинусоидальными (одна полуволна сжимается, другая–растягивается). Максимальная величина вариаций может достигать десятков тысяч нанотесл.

Некоторые результаты расчета характера вариаций на круговой орбите при нецентральном расположении диполя показаны на рис.34 (суточным вращением Земли за время обращения КК пренебрегали). Видно, что даже при незначительном смещении диполя вариации перестают быть гармоническими. Поэтому при движении в реальном ГМП наблюдается более сложная картина изменения МП на борту КК. Действительно, как следует из выполненного



Р и с. 34. Вариации МП на борту космического корабля в зависимости от времени : а – ось диполя перпендикулярна плоскости чертежа; б – ось диполя лежит в плоскости чертежа и направлена вертикально; в – нормальное поле, рассчитанное по шести гармоникам. I – 6 – точки расположения диполя, 7 – поверхность Земли, 8 – орбита космического корабля.

Все кривые на а и б нормированы по максимуму

нами расчета вариаций ГМП на борту КК с использованием шести сферических гармоник (большая точность в данном случае не требуется), характер изменения поля в южном полушарии отличается от синусоидального, а в северном полушарии из-за наличия Восточно-Сибирской аномалии имеет вид двойной волны. Кроме того, минимальное значение МП приходится не на экватор, а на широты от + 12,5 до – 35°. Кривые напоминают картину биений (см.рис.34). Минимальные значения МП не остаются постоянными: за каждый оборот спутника появляются две квазисинусоиды с различными амплитудами и экстремальными значениями. По этим данным можно оценить

скорость изменения ГМП на борту КК. Так, при высоте полета 280 км изменение ГМП за одну четверть периода обращения (t = 22,5 мин) составляет от 2 мкТл на экваториальной орбите до 30 мкТл на полярной. Следовательно, средняя скорость изменения МП заключена в пределах от 1,5 дс 22 нТл/с. Таким образом, временные вариации МП на борту КК, вызываемые движением в ГМП, существенно превышают естественные вариации, которые прослеживаются в наземных обсерваториях. С увеличением перигея временные вариации, обусловленные движением КК, уменьшаются по величине и сдвигаются в еще более низкочастотную область.

Рассмотрим теперь поля, которые возникают, когда ферромагнитное тело, находящееся в ГМП, и биологический объект движутся относительно друг друга. Ограничимся достаточно общими модельными примерами, когда ферромагнитное тело – цилиндр или шар из магнито-мягкого материала. Если $\mu \gg 1$, то распределение МП вне тела, как известно, не зависит от того, имеет оно полости или нет. Для цилиндра компоненты МП задаются соотношениями [20] $B_r = -B_0\left[1+\left(\frac{a}{r}\right)^2\right]\cos\theta$ и $B_\theta = B_0\left[1-\left(\frac{a}{r}\right)^2\right]\sin\theta$ (система координат цилиндрическая, внешнее МП однородно и направлено перпендикулярно оси цилиндра). По абсолютной величине $B = B_0\left\{\left[1+\left(\frac{a}{r}\right)^2\right]^2 - 4\left(\frac{a}{r}\right)^2\sin^2\theta\right\}^{1/2}$. Если зависимость $r(t)$ и $\theta(t)$ известна, то можно найти $B(t) = B_0\left\{\left[1+\left(\frac{a}{r(t)}\right)^2\right]^2 - 4\left(\frac{a}{r(t)}\right)^2\left(\sin\theta(t)\right)^2\right\}^{1/2}$, а также скорость изменения МП.

Для шара компоненты МП [21]: $B_r = -B_0\left[1+2\left(\frac{a}{r}\right)^3\right]\cos\theta$ и $B_\theta = B_0\left[1-\left(\frac{a}{r}\right)^3\right]\sin\theta$.

Абсолютная величина индукции:

$$B = B_0\left\{\left[1+2\left(\frac{a}{r}\right)^3\right]^2 - 3\left(\frac{a}{r}\right)^3\left[2+\left(\frac{a}{r}\right)^3\right]\sin^2\theta\right\}^{1/2}.$$

Если зависимость $r(t)$ и $\theta(t)$ известна, то можно найти $B(t)$:

$$B(t) = B_0\left\{\left[1+2\left(\frac{a}{r(t)}\right)^3\right]^2 - 3\left(\frac{a}{r(t)}\right)^3\left[2+\left(\frac{a}{r(t)}\right)^3\right]\left(\sin\theta(t)\right)^2\right\}^{1/2}.$$

Как видно из приведенных выражений, величина МП может меняться ст $2B_0$ до 0 в случае цилиндра и от $3B_0$ до 0 в случае шара.

Скорость изменения МП определяется как скоростью движения, так и величиной масштабного множителя $\frac{a}{r}$; она может достигать десятков и сотен микротесл в секунду. Частотный диапазон в ряде случаев может простираться дс единиц и десятков герц.

Таким образом, параметры ЭМП, возникающих вследствие движения в ГМП, могут быть биологически значимы, а масштабы воздействия этих полей сравнимы с масштабами воздействия сс сторсны естественных МП и антропогенных ЭМП. Представляется важным выяснение их возможной биологической роли.

Имеется еще один аспект этой проблемы, на котсрый следует сбратить внимание. В литературе несднскратно высказывалось мнение, что в ряде

случаев слабая выраженность солнечно-земных связей (применительно к человеку) может объясняться влиянием антропогенного фона ЭМП. Но, как мы видели, существенный вклад в переменные МП вносят поля, обусловленные движением (в особенности, в условиях технологической цивилизации). Возможно, что они участвуют и в модифицировании механизмов солнечно-земных связей.

Феноменологически "стирание" реакции на космофизические воздействия при наличии значительных фоновых возмущений можно понять, исходя из некоторых общих положений теории колебаний.

Как известно, если на колебательную систему (а биологический объект обладает подобными свойствами) воздействовать параметрически с частотой, значительно большей, чем частота автоколебаний, то она перестает реагировать на воздействия, которые ранее могли приводить к сильным возмущениям вплоть до развития неустойчивостей. Особенно сложные закономерности (стабилизация и раскачка колебаний, зависимость областей устойчивости от амплитуды и т.д.) могут наблюдаться при воздействии широкополосного (в частности, стохастического) возмущения. В случае биологических систем подобные ситуации могут приводить, по нашему мнению, к перенапряжению компенсаторных способностей на самом глубоком уровне, несмотря на внешнее кажущееся благополучие, т.е. отсутствие нежелательных реакций на те или иные естественные воздействия.

Не исключено, что определенным сигналом об этом является распространенность в развитых странах заболеваний, связанных с нарушением наиболее тонких процессов обмена и регуляции.

Литература

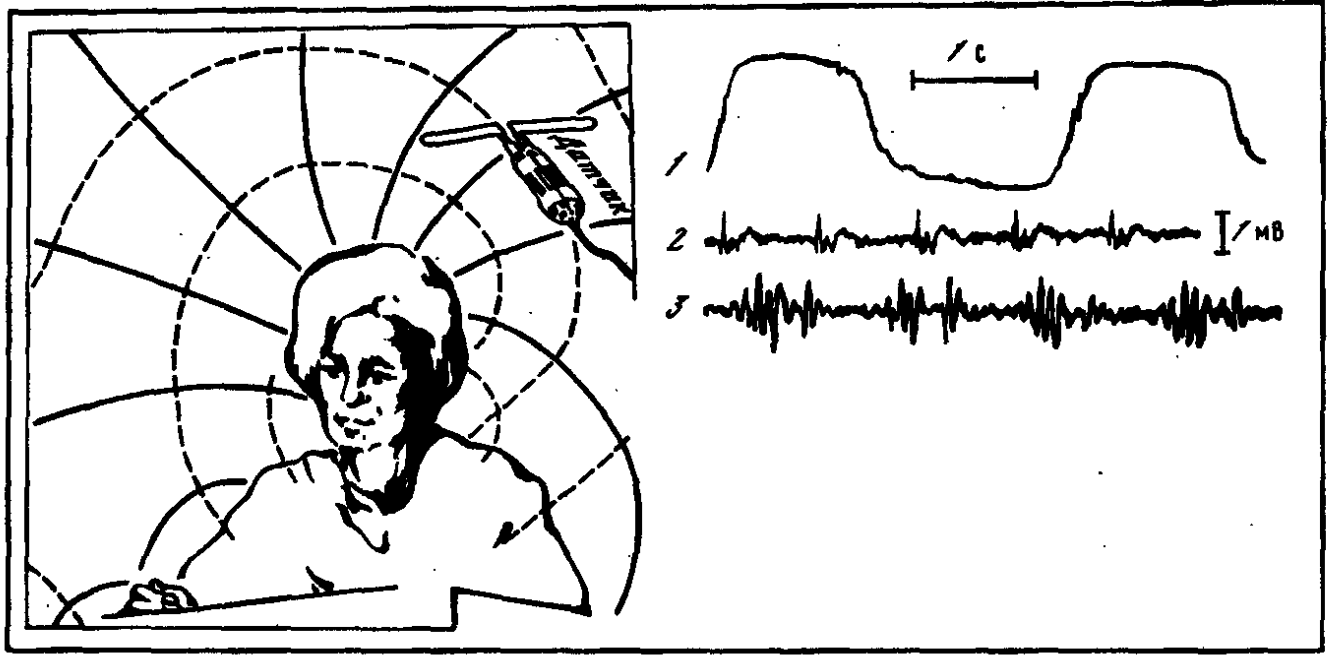
1. Miro L. Champs magnetiques et biologie. - Rev. med. aeronaut., 1968, vol. 7, N 3, p. 171-200.
2. Нейман Б.А. Возможное взаимодействие магнитного поля и биологических объектов. - В кн.: Бионика. М.: Наука, 1965, с. 381-382.
3. Marino A.A., Becker R.O., Hart F.X., Anders F., Jr. Space osteoporosis. An Electromagnetic Hypothesis. - Aviat. Space and Environ. Med., 1979, vol. 50, N 4, p. 409-410.
4. Dubrov A.P. Geomagnetic field and life. Geomagnetobiology. N.Y.; L.: Plenum press, 1978. 310 p.
5. Дружкин Л.А. Секция физики МОИП в борьбе за прогрессивные идеи А.Л.Чижевского. - В кн.: Солнце, электричество, жизнь. М.: Наука, 1976, с. 4.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. Т.6. Электродинамика. М.: Мир, 1977, 347 с.
7. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Гостехиздат, 1954, 620 с.
8. Парселл Э. Электричество и магнетизм. Берклеевский курс физики. М.: Наука, 1971, 447 с.

9. Меерович Э.А. Методы релятивистской электродинамики в электротехнике. М.; Л.: Энергия, 1966. 190 с.
10. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. Т.5. Электричество и магнетизм. М.: Мир, 1977, 300 с.
11. Бухгольц Г. Расчет электрических и магнитных полей. М.: Изд-во иностр. лит.,1961, 712 с.
12. Смайт В. Электростатика и электродинамика. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. 604 с.
13. Миткевич В.Ф. Физические основы электротехники. Л.: КУБУЧ, 1932. 495 с.
14. Пудовкин М.И., Колесова В.И., Валуев Г.Е. Представление геомагнитного поля на поверхности Земли и во внешнем пространстве с помощью дипольных моделей. - Геомагнетизм и аэрономия, 1968, т.8, № 5, с. 911-914.
15. Почтарев В.И., Сипко В.Н. Опыт моделирования магнитного поля Земли. - Геомагнетизм и аэрономия, 1970, т.10, № 6, с. 1097-1099.
16. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 591 с.
17. Луговенко В.Н. Статистический анализ аномального магнитного поля территории СССР. М.: Наука, 1974, 200 с.
18. Гладкий К.В. Гравиразведка и магниторазведка. М.: Недра, 1967.221 с.
19. Шевнин А.Д. О возмущающем моменте спутника, движущегося в магнитном поле Земли. - Космич. исслед., т.3, № 5, с. 700-708.
20. Бино К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. М.: Энергия, 1970. 376 с.
21. Джексон Дж. Классическая электродинамика. М.: Мир, 1965. 702 с.

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ИЗЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

3.1. Электрические поля биообъектов

Изучение ЭП, генерируемых живыми системами, осуществляется путем измерения работающими бесконтактно датчиками потенциала ЭП вблизи объекта в воздухе или в другом диэлектрике. Наблюдение ЭП дает возможность изучить ряд явлений, недоступных для контактных способов регистрации, например, поведение роя комаров, стай птиц, животных, движение ресниц глаз, микрофонный эффект волос, перьев птиц, крыльев насекомых. То же можно сказать об изучении явлений, при которых наложение контактов существенно искажает ход исследуемых процессов, таких, как изучение электрических явлений, связанных с творческим процессом, или явлений,принципиально недоступных контактным методам, таких, как контактная разность потенциалов разнородных веществ и др. Источником электрических полей в случае живых систем является, во-первых, биоэлектрическая активность электрогенных живых тканей, которая сопровождается протекани-



Р и с.35. Распределение ЭП ИНЧ-диапазона, возникающего за счет дыхания (кривая 1), электрической (ЭКГ, кривая 2) и механической (сейсмокардиограмма, кривая 3) активности сердца

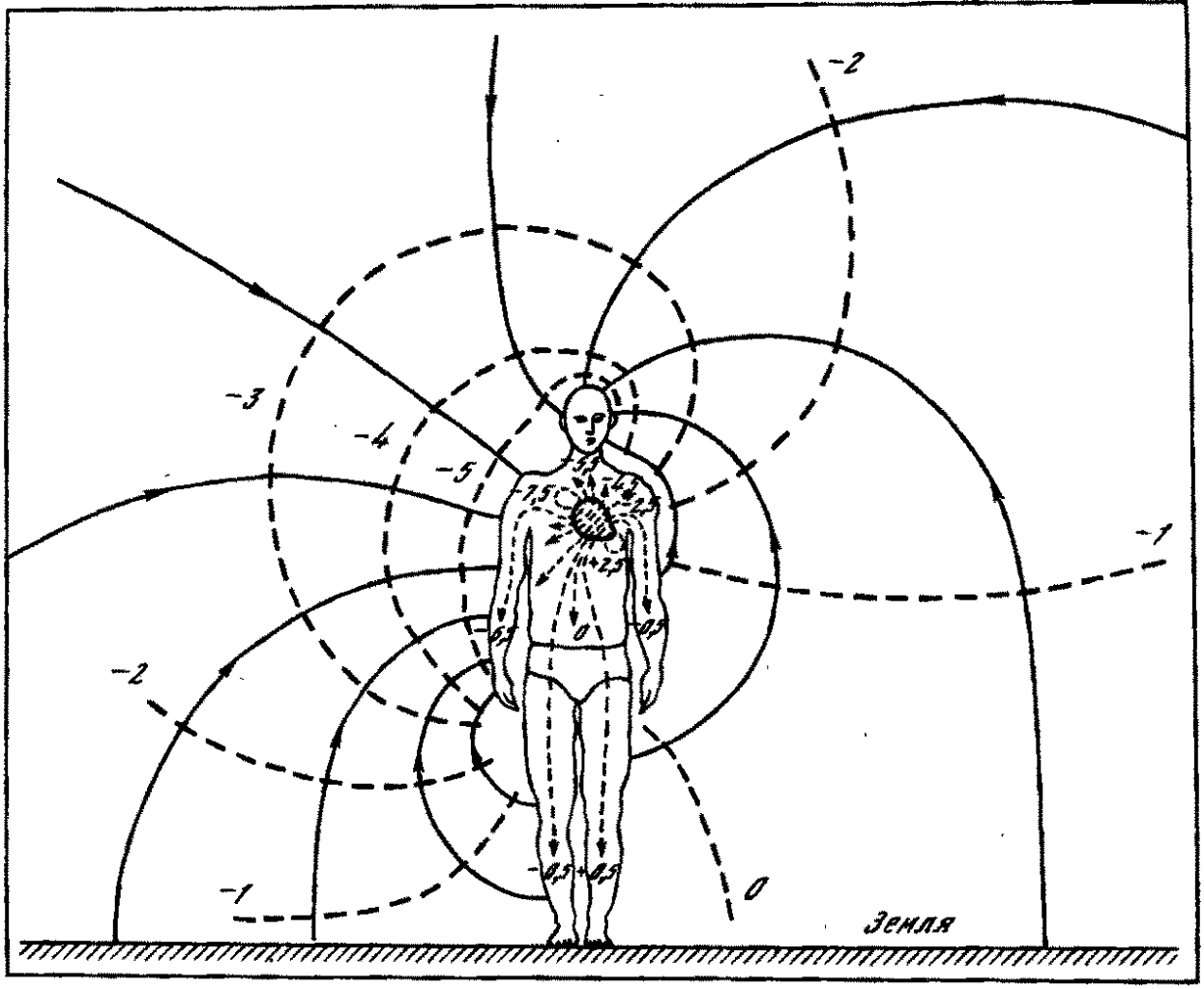
Сплошные кривые – силовые линии, пунктирные кривые – эквипотенциальные линии ЭП в окрестности головы человека

ем электрических токов в организме, создающих на поверхности тела мозаику биопотенциалов. Последние могут возникать также за счет биохимической, физиологической и морфологической разнородностей тканей организма, потенциалов повреждения и т.д. Шерсть зверей, перья птиц и хитиновые покровы насекомых в результате трения приобретают заряды, которые перераспределяются за счет двигательных актов – дыхания, механических вибраций сердечной мышцы, машущих движений крыльев и т.п.

Известно, что поле передающей антенны (в нашем случае биообъекта) складывается из поля индукции и поля излучения. В непосредственной близости от антенны, на расстояниях, много меньших длины волны, преобладает поле индукции, которое больше по амплитуде и отличается по фазе от поля излучения. То, что электрическая и магнитная компоненты индукционного поля в отличие от волнового не только не пропорциональны друг другу, но даже и не находятся в фазе, вынуждает пользоваться датчиками, воспринимающими лишь одну составляющую – либо электрическую, либо магнитную. Прибор, применяемый для регистрации электрической составляющей индукционного поля, состоит из электростатической антенны и широкополосного усилителя с электрометрическим входом [1,2]. Энергетическая и мощностная предельные чувствительности датчика ЭП достигают теоретических границ, обусловленных тепловыми флюктуациями зарядов (уровень кТ).

Некоторые результаты бесконтактной регистрации медико-биологической и физиологической информации, содержащейся в ближнем ЭП человека, представлены на рис.35.

Методом моделирования на электропроводящей бумаге производился рас-

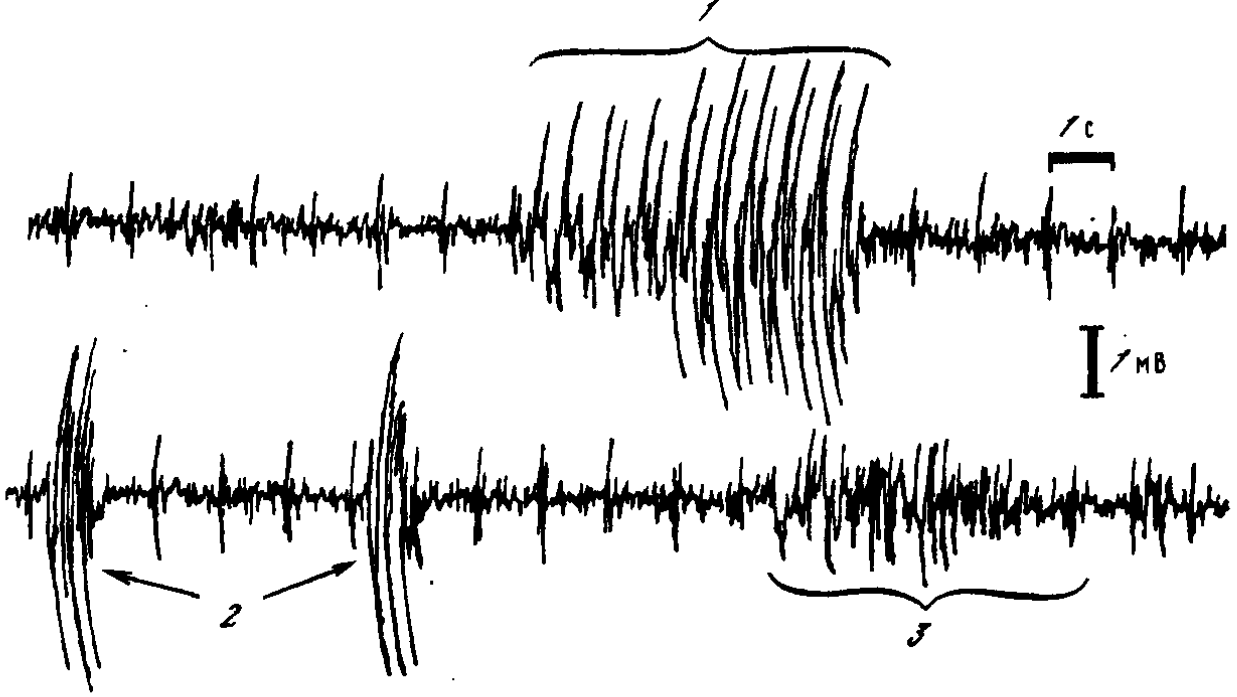


Р и с. 36. ЭП в окрестноо̀ти тела человека, возникающие за счет био - электрической активности сердца

Сплошные и штриховые линии - силовые и эквипотенциальные линии поля соответственно. Цифры у эквипотенциальных линий - значения потен - циалов ЭП на поверхности кожи или в воздухе (в мВ) относительно Земли. Картина получена методом расчета на физической модели и соответствует моменту амплитудного максимума зубца R электрокардиограммы

чет распределения ЭП в окрестности организма (плоская модель). Картина ЭП, построенная пс результатам расчетов физической модели (рис.36), ооответствует одному из моментсв кардиоцикла - амплитудному максимуму зубца Р электрокардиограммы.

На записях, приведенных на рис.37, отчетливо просматривается также ритм сердца. Антенна φ - датчика для измерения потенциала имела форму диска 4 см и была расположена в I0 см над серединой лба. Оптимальная фильтрация достигалась плавным ограничением усиления по обе стороны от частоты 50 Гц (цепочкой Вина). На φ - граммах (записях изменений во времени потенциала поля в воздухе) видны периодические (Т=I с) импульсы смешанного сигнала сердечной ритмики, состоящего из наложенных друг на друга φ -сейсмокардиограммы (φ - СКГ) и φ - электрокардиограммы. Источником зарегистрированных полей, по мнению авторов [3], является трибоэлектрический заряд за счет механических движений реснич и поверх-



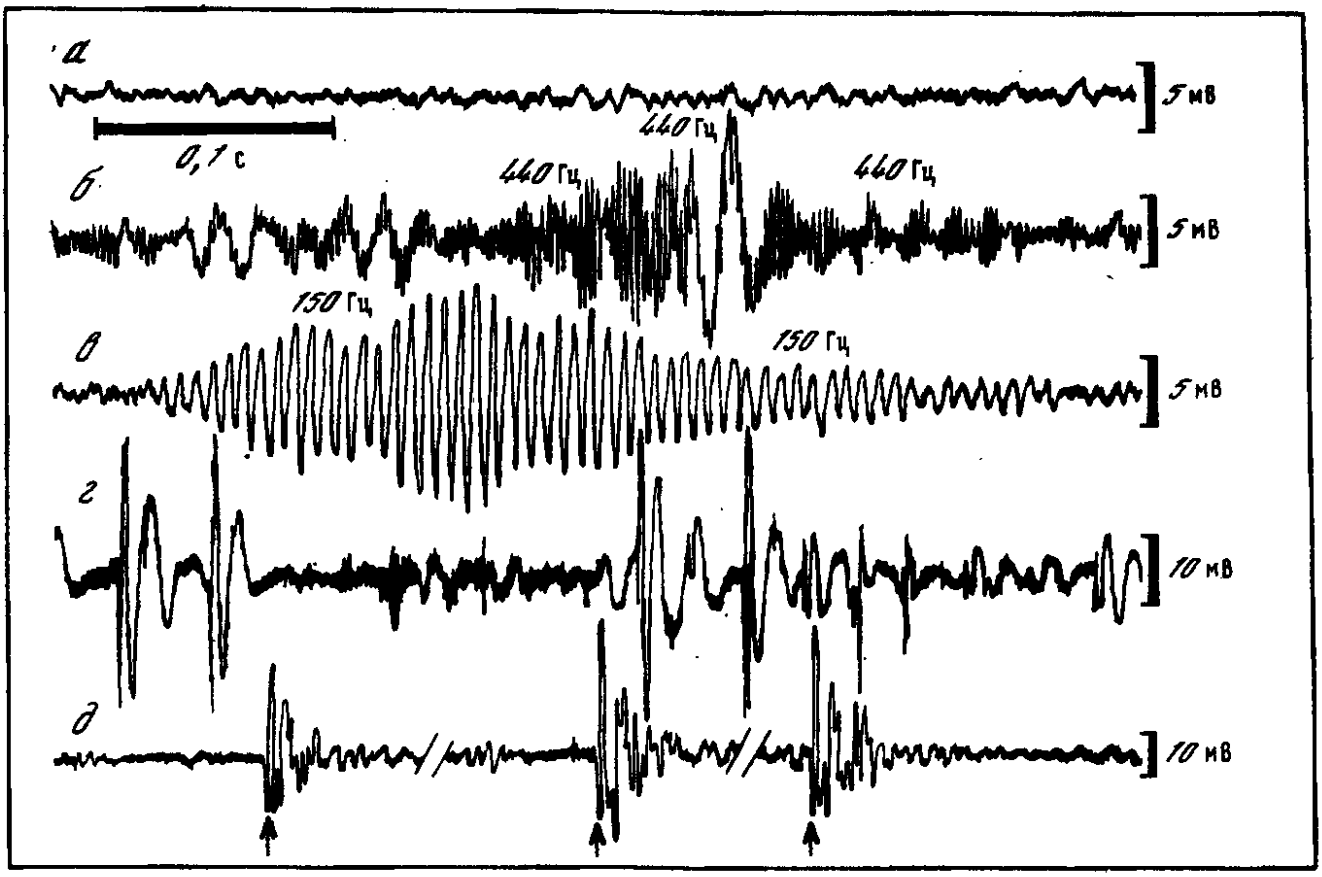
Р и с.37. Результаты регистрации потенциалов ИНЧ ЭП, возникающих при движении ресниц человека (I), напряжении мышц рта (2) и движении языка при закрытом рте (3)

ностные заряды на коже, а также биоэлектрические потенциалы сокращающихся мышц.

Интересен так называемый "электрический ландшафт" лесов и лугов, приведенный на рис.38, обусловленный процессами жизнедеятельности организмов. Установлено, что растительность является хорошим электростатическим экраном для полей в диапазоне 0–10 кГц, что может быть объяснено электрическими характеристиками зеленой массы растений [4–8]. Для φ -грамм насекомых (рис.38,б,в) источник поля – трибоэлектрический, для березы (рис.38,д) – ландшафтный, т.е. за счет вибрации ствола, несущего на поверхности заряды, индуцированные полем атмосферы. Причем источником переменного поля могли являться механические колебания (вибрации) не только зарядов, индуцированных на поверхности листьев атмосферными электрическими полями, но также зарядов, возникающих за счет процессов, происходящих в зеленом листе [4].

Приведенные выше иллюстрации свидетельствуют о том, что человек даже в обычных условиях окружен не только электромагнитными полями природного и индустриального происхождения, но и полями биологической природы. Информационное содержание и влияние на человека биополей необходимо еще изучить. В частности, интересен, например, поставленный авторами [8] вопрос о терапевтическом значении экранирующего эффекта растений.

Электрические поля насекомых имеют, по всей видимости, определенное информационное значение в процессе их общения между собой. Так, зарегистрированы [9] электрические поля, генерируемые "танцующей" пчелой, информирующей об источнике пищи.



Р и с. 38. Записи временных изменений потенциала φ поля относительно Земли (φ- граммы) в полосе частот 40–3500 Гц, произведенные вблизи различных биообъектов в естественных условиях их обитания (Карелия, 1969 г.)

а – "фон" регистрации в лесу в отсутствие летающих в пределах 5 м крупных насекомых; б – рой комаров внутри брезентовой палатки; в – слепень, пролетающий в 25–50 см от антенны; г – электромагнитные сигналы звуковых частот геофизической природы, зарегистрированные в полночь под открытым небом; д – береза при нанесении ударов по её стволу, записи с расстояния 25 см против места нанесения ударов, моменты ударов указаны стрелками.

Записи (а–в) получены при помощи антенны в форме диска диаметром 4 см; записи (г–д) при помощи штыревой антенны длиной 500 мм, сечением 2,5 х 2,5 мм

Низкочастотные ЭП геофизического происхождения являются постоянно действующими факторами биосферы, определяющими в значительной степени "электрический ландшафт". При регистрации "на слух" они представляют собой щелчки, трески и шипящие звуки, похожие на звуки костра, сложенного из сырых ветвей. Характер звуков различен для дневного и ночного времени. Все это может служить навигационным ориентиром для насекомых и птиц. ЭП насекомых имеет не только информационное, но и "кинетическое" значение. В зависимости от знака заряда насекомые притягиваются или отталкиваются друг от друга и от хищников, а также испытывают укорение во внешнем поле [4,10,11].

Поверхность любого живого существа, как правило, представляет собой мозаику слабых электрических потенциалов, отражающих процессы жизнедеятельности и метаболизма. Источником их является разнородность химических, физических и физиологических характеристик поверхностей тела, связанная, например, с парабиотическими процессами при повреждении наружных покровов тела. Все это очень медленные процессы - образующиеся при этом поля занимают диапазон приблизительно 10^{-2} - 10^{-7}Гц. Биоэлектрическая активность мозга также сопровождается крайне медленными ритмическими колебаниями частотой до 10^{-4}Гц. Поля таких чаотот не удается измерять обычным датчиком электрического поля, имеющим нижний частотный предел порядка 10^{-2}Гц, поэтому был построен прибор, позволяющий регистрировать слабые постоянные и медленно меняющиеся ЭП с амплитудой от 0,1 мВ. Для этого понадобилось создать усилитель с входным сопротивлением 10^{17} - 10^{18}Ом, постоянная времени входа которого порядка 10 сут, что соответствует нижнему пределу частоты измеряемого поля 10^{-6} - 10^{-7}Гц; верхний предел определяется инерционностью стрелочного прибора (0,1 - 10 Гц). Разработанным прибором удалось измерить бесконтактно отрицательный потенциал поврежденной мышцы лягушки [12]. Прибор успешно применяется также и при изучении ЭП растений [13].

В отличие от животных диапазон проявлений электрических ритмов у растений лежит в пределах сотых и тысячных долей герц, однако контактные электрические эффекты на этих частотах столь значительны, что иногда ставился под сомнение сам факт существования биопотенциалов растений. Осуществление бесконтактных регистраций электрической активности растений позволило установить наличие ЭП вблизи листа филодендрона и других высших растений в ответ на их засветку после темновой адаптации.

Следовательно, генерируемые растениями электрические поля несут физиологическую информацию о реакции растений на внешние воздействия. Есть основания полагать, что медленно меняющиеся ЭП, создаваемые в воздухе за счет солнечного освещения больших массивов растительности (лесов, лугов, полей), могут вносить заметный вклад в электрическое поле приземного слоя атмосферы.

Электрические поля живых организмов как объективная реальность становятся предметом все более пристального внимания и находят научное и практическое применение. Так, методы бесконтактных измерений ЭП успешно использованы для доказательства существования ЭП рыб в проводящей среде [14], для диагностики функционального состояния сердечно-сосудистой системы человека [15,16], в исследованиях медоносной способности пчел [9], в клинических исследованиях дыхательной ритмики больного [17]. Новые научные представления об электрических полях живых организмов и методы их количественного изучения не только дают возможность получать недоступные прежде данные о протекании тех или иных процессов жизнедеятельности, но и позволяют по-иному почувствовать единство живого организма со средой обитания. Через эти поля осуществляется, по-видимому, в значительной степени взаимодействие организмов между собой и с внешней средой [4,7,8].

Литература

I. Заботин В.И. Исследования низкочастотных электромагнитных полей, возникающих вокруг живых объектов: Дис.... канд.биол.наук. Л.: ЛГУ, 1967. 124 с.

2. Заботин В.И. Аурадатчик для бесконтактной регистрации биопотенциалов в воздухе. – Вестн. ЛГУ. Сер. биол., 1968, т. 4, № 21, с.99–103.

3. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я., Гордиенко В.А. Экспериментальный анализ информационного содержания аурального электрического поля тела человека. – В кн.: Нервная система. Л.: Изд-во ЛГУ, 1970, вып.II, с.145–149.

4. Гуляев П.И., Заботин В.И., Гордиенко В.А. Взаимосвязь ауральных полей насекомых и растений с электрическими полями атмосферы. – Там же, 1971, вып.12, с.138–143.

5. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я. Регистрация электромагнитных полей, возникающих при движении насекомых, птиц и зверей. – Там же, 1969, вып.10, с.177–183.

6. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я., Гордиенко В.А. Электроаураграммы насекомых в свободном полете. – Докл. АН СССР, 1970, т. 191, № 3, с.699–701.

7. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я., Гордиенко В.А. Распространение информации ауральными электромагнитными полями, генерируемыми активными органами тела человека и животных и при пассивном движении растений. – В кн.: Проблемы нейрокибернетики. Ростов: Изд-во Ростов. ун-та, 1972, т. 4, с.41–45.

8. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я. Электромагнитные поля атмосферы биологического происхождения. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха: Матер. Всесоюз.научн.-техн.симп. 25–27 ноября, Ялта. М.: Наука, 1975, т. I, с.68–70.

9. Еськов Е.К., Сапожников А.М. Генерация и восприятие электрических полей пчелами. – Зоол.журн., 1974, т. 53, № 5, с. 800–801.

10. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я. Электроаураграммы человека и животных. – В кн.: Нервная система. Л.: Изд-во ЛГУ, 1968, вып.9, с.159–171.

11. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я. Электромагнитные поля, возникающие при движении насекомых, птиц, зверей и их возможное бионическое значение.– В кн.: Проблемы бионики. М.: Наука, 1973, с.188–192.

12. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлишенбах Н.Я. и др. Ауральное поле в свете развития представлений А.А.Ухтомского о роли биологических электромагнитных полей. – В кн.: Механизмы нервной деятельности: Матер. Всесоюз. науч.конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. А.А.Ухтомского. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977, с.127–137.

I3. Шлиппенбах Н.Я. Ауральные поля растений.-Вестн. ЛГУ.Сер.биол.,I980, т.2, № 9, с.79-84.
I4. Протасов В.Р., Басов Б.М., Круминь В.М., Орлов А.А. Электрические разряды так называемых неэлектрических рыб и их возможное биологическое значение. - Зоол.журн., I970, т.49, №5, с.754-766.
I5. Марков Н.М. Регистрация тепловых и электромагнитных полей биообъекта в качестве источников информации для диагностики. - В кн.:Автоматика и вычислительная техника. Киров; Политехн. ин-т, I97I, с.85-90.
I6. Филякин Б.Ф. Регистрация электрического поля вблизи тела человека для оценки электрических и механических проявлений деятельности сердца: Автореф.дис....канд.техн. наук. М.: АМН СССР, I973, 25 с.
I7. Егоров В.Н., Музуров С.В., Гаврилова Н.И. и др. Использование ближнего электрического поля вокруг человека для исследования механики дыхательного процесса. - Вестн. ЛГУ, I98I, т.2, № 9, с.58-63.

3.2. Внешние инфранизкочастотные электромагнитные поля организмов

Практически все процесоы жизнедеятельности сопровождаются электромагнитными явлениями, диапазон действия которых лежит в широком интервале частот, от инфранизких до килогерц. На поверхности тела при этом регистрируются переменные электрические потенциалы - электрокардиограмма (ЭКГ), электромиограмма (ЭМГ), электроэнцефалограмма (ЭЭГ) и т.д. Естественно, что электрическая активность отдельных органов и тканей не ограничивается генерацией токов в проводящей среде организма, но создает и внешние ЭМП. Наибольший уровень внешних полей в воздухе имеет место в ИНЧ- и НЧ- диапазонах, следовательно, при регистрации полей биообъектов исследователь имеет дело с индукционными электрическими и магнитными полями.

Источники внешних ЭМП живых организмов могут быть подразделены на три основных группы:

I) электрические и магнитные поля, генерируемые отдельными органами целостного организма;

2) электрические поля, обусловленные существованием поверхностного электрического заряда на теле человека или животного;

3) ЭМП, обусловленные динамикой электрофизических свойств биотканей (электропроводность, диэлектрическая проницаемость).

ЭП первой группы создаются мышцами, сердцем, мозгом, нервами и не превышают по амплитуде единиц милливольт, амплитуда МП заключена в пределах $I0^{-I3}$ - $I0^{-9}$Тл.

Ко второй группе относятся ЭП насекомых, птиц, зверей, поля, отражающие механическую деятельность сердца и мускулатуры животных и человека и достигающие по амплитуде сотен и тысяч милливольт.

Третья группа биополей, регистрируемых вблизи живых организмов в

стсутствие трибоэлектрического поверхностного заряда, изучена меньше. Величина ИНЧ и квазистатических полей в непосредственной близости от поверхности тела достигает сотен милливольт. Все три группы полей биологической природы несут информацию о сссгоянии биообъекта, присутствуют, как правило, одновременно, и разделить их удается лишь специальными методическими приемами.

В 1948 г. Б.В.Кракхин [I] показал возможность регистрации МП вблизи изолированного нерва лягушки. Однако последующие эксперименты дали противоречивые результаты. Одни экспериментаторы [2] подтвердили спыты Кракхина, другие [3] также измерили МП нерва, нс получили значения напряженности гораздс ниже, чем в работе [2]. Измеренное поле авторы связали с "магнитной сосгавляющей" электрическсго тска действия нерва, т.е. такого тока, кстсрый возникает в нервном волокне при его возбуждениях. Однако в последующих работах [4] магнитногс поля нерва обнаруженс не было. Возможнс, причиной расхождения результатов, полученных авторами [2,4], является, во-первых, неучет импульсного характера возникающего поля, во-вторых, тот факт, что МП вблизи нерва, сопровождающее процесс возбуждения, возникает только вследствие наличия в системе токов асимметрии, поскольку при возбуждении по нерву текут токи порядка 10^{-9}А, равные по величине и противоположные пс направлению.

Высокоамплитудный сигнал, зарегистрирсванный в работе [2] (14 мВ при артефакте стимуляции 56 мВ), может быть следствием переходнсго процесса в индукционном датчике [4]. Истинное же поле возбужденнсгс изолирсванного нерва ("поле рассеяния"), возможно, было замерено в спытах Дженерелли [3], повысившего разрешающую способность измерительнсго прибора на частоте 500 Гц дс 0,02 мкВ.

Магнитное поле сердца, зарегистрированное многочисленными экспериментаторами [5–8], очень мало, порядка 10^{-6} от ГМП, составляющего для средних широт 0,05–0,07 мТл. МКГ по внешнему виду напоминает первую производную ЭКГ и является, по мнению авторов [8], первой производнсй магнитного потока, обусловленнсгс электричеокой активностью мышцы сердца. Установлена также большая информативность МКГ по сравнению с ЭКГ.

Магнитное поле мышц измерялось [9] около локтевого сустава человека при различных уоловиях (для расслабленных и напряженных мышц) и регистрировалось только в момент сокращения мышц (магнитомиограмма). Полученные результаты согласуются с материалами работы [I0] по регистрации ЭМП икроножной мышцы лягушки. Импульсы длительностью около I мс, наведенные в приемной антенне на частоте 3 кГц, имеют амплитуду 0,I мкВ. Более качественная магнитомиограмма зарегистрирована авторами работ [I0,II].

МП вблизи головы человека, по данным [I2] имеет величину порядка 0,I–0,0I пТл и идентифицируется авторами как МП альфа-ритмов, которые хорошо прослеживается у человека при открывании и закрывании глаз

(см. рис.37). Авторы [12] приводят материалы о поведении вектора МП мозга в произвольной фазе альфа-цикла.

ЭП биологического происхождения в воздухе впервые зарегистрированы в 1949 г. [13] так же, как и МП вблизи возбужденного изолированного (седалищного) нерва лягушки. Реакция нерва (ток действия) на стимуляцию наблюдалась до расстояния в 12 мм от ствола нерва, где потенциал поля достигал 150 мкВ. Сравнение экспериментальных и расчетных кривых зависимостей убывания разности потенциалов поля с расстоянием показало, что наблюдаемое уже на расстоянии в 4 мм расхождение с расчетными значениями авторы [13] не объясняли. Другие экспериментаторы также подтвердили существование ЭП в окрестности возбужденного изолированного нерва и нервно-мышечного препарата. Электрограмма (поле) реакции нерва аналогична по форме электрограмме при монофазном контактном отведении потенциала действия нерва. Максимальное расстояние, на котором было зафиксировано поле, по данным [14], равнялось 25 см, потенциал поля достигал 1 мВ, что, как и в [13], превышало возможный теоретический уровень. Одновременно была обнаружена [3,15,16] зависимость величины регистрируемого поля от качества заземления нерва, контакта и емкостных связей с проводящими телами [3,15-17]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что регистрируемое поле определяется не только потенциалом действия нерва и что источник внешнего ЭП нерва, возможно, возникает при нарушении естественного распределения зарядов в нервном волокне при его коммутациях с проводящими телами. Эксперименты [17] подтвердили это предположение. Учет и устранение подобных артефактов при регистрации поля нерва [18,19] создали предпосылки для регистрации поля нерва в отсутствие его гальванических связей с окружающими проводниками. Поле оказалось ниже по амплитуде, чем в работе [14], и значительно ближе к расчетным значениям [17]. Возможно, это поле, как и в работе [4], обусловлено асимметрией зарядов в нерве при прохождении волны возбуждения. Отсутствие четкой калибровки измерительных приборов в работах [18,19] не позволяет провести количественную оценку величины зарегистрированного поля.

Измерение ЭП вблизи целостного организма [20-22] показало, что ЭП человека содержит различные частотные компоненты. Лучше всего изучены частотные составляющие, несущие информацию о деятельности мышцы сердца и дыхания. Благодаря применению более совершенной аппаратуры установлено [21], что переменное ЭП вблизи человека обусловлено не только биоэлектрическими, но и механическими процессами, сопровождающими работу сердца, т.е. поля первой и второй групп регистрируются одновременно. ЭП изменяется синхронно сокращению мышцы сердца, одинаково хорошо регистрируется при расположении датчика поля над любой точкой тела испытуемого [22], зубцы Т ЭКГ (рис.39) соответствуют по времени максимумам полевого сигнала (рис.40). Разность потенциалов на расстоянии 1 м от грудной клетки человека может достигать 6 мВ.



Р и с. 39. Пример электрокардиограммы сердца человека



Р и с. 40. Электрическое поле сердца человека на расстоянии 15 см от груди

Форма и амплитуда электрограмм зависят от места расположения датчика поля и, по-видимому, отражают колебания соответствующих участков тела при прохождении пульсовой волны (рис.41). Более детальный анализ позволил эффективно использовать результаты измерения биоэлектрических полей в клинических условиях для оценки функционального состояния сердечно- сосудистой системы и диагностики ее патологий [23-25]. Существенно, что дистантная регистрация поля сердца позволяет исключить искажение изучаемого процесса за счет влияния накладных датчиков.

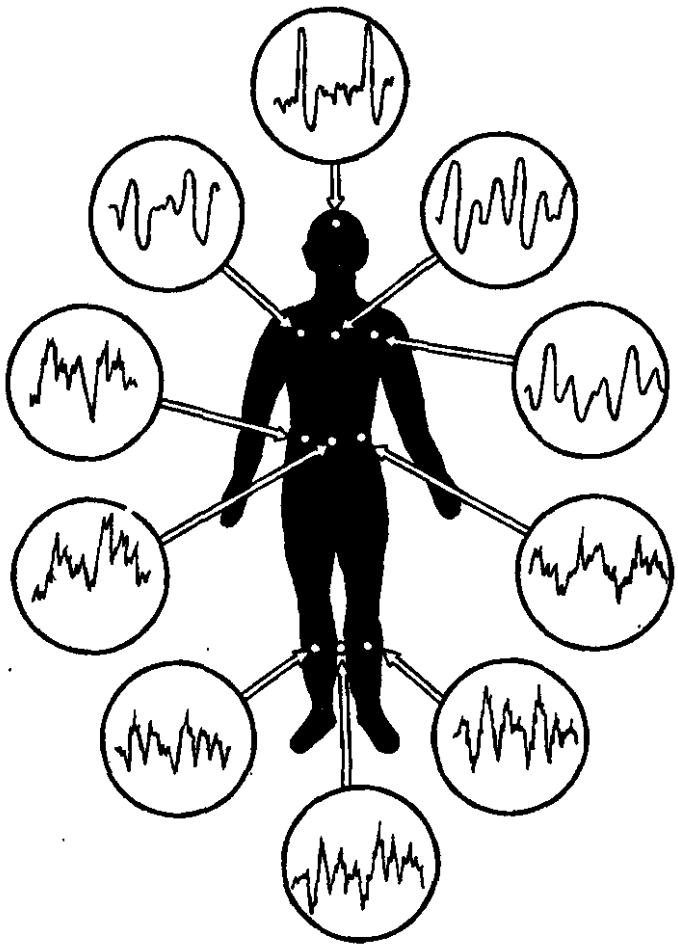
Возникновение высокоамплитудных ЭП вблизи человека объясняется значительными (10^{-5} - 10^{-8} Кл/см^2 по данным [26,27]) поверхностными зарядами тела человека, создающими в его окрестности ЭП [26]. Детальный анализ структуры ЭП над поверхностью тела человека позволил установить, что в районе так называемых биологически активных точек (БАТ) имеет место резкое увеличение потенциала поля. Учитывая тот факт, что области БАТ характеризуются более низким сопротивлением электрическому току, чем окружающие ткани, есть основания полагать, что в данном случае возникают поля третьей группы, обусловленные неоднородностями и динамикой электрофизических параметров биоткани.

Изучение инфранизкочастотных и квазистатических полей организмов, в частности, потенциала повреждения мышцы лапы лягушки, показало, что потенциал ЭП непосредственно над раной (100 мВ) выше потенциала над неповрежденной частью лапы (около 20 мВ).

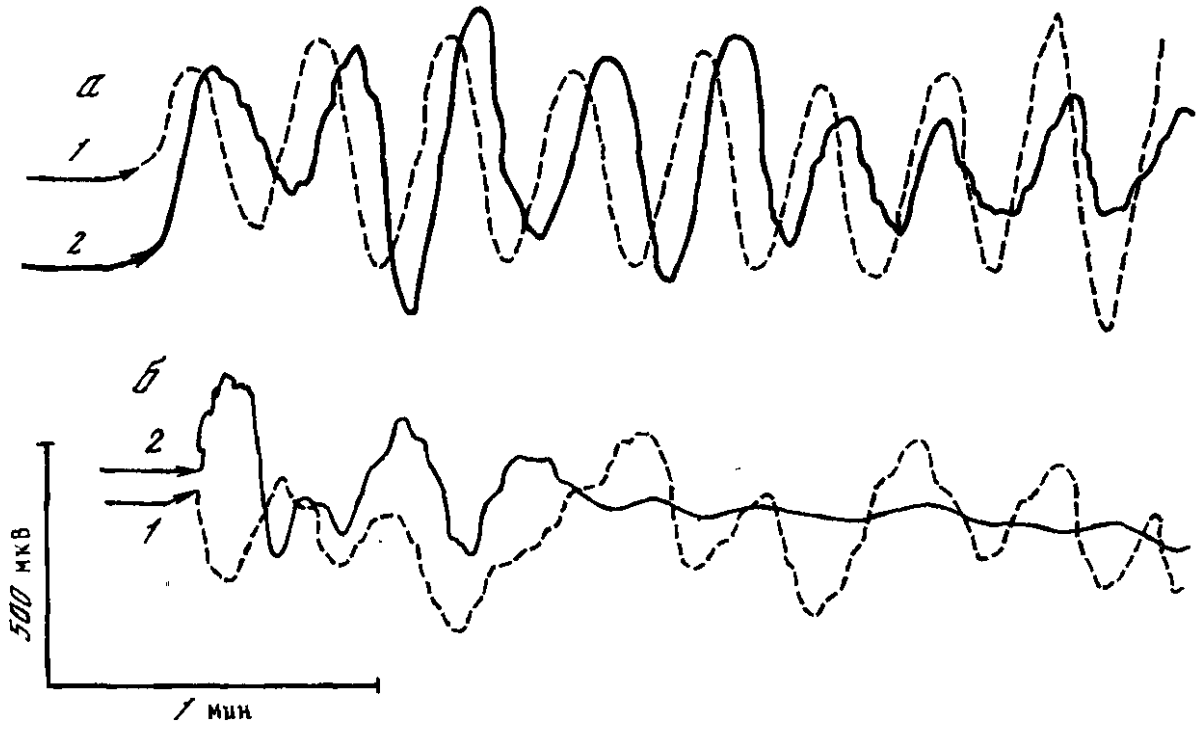
Исследования на людях показали, что потенциал электростатического поля человека относительно Земли, зарегистрированный на расстоянии 10 см от поверхности тела, достигает 2-3 В, причем его величина зависит от функционального состояния организма. Максимальная величина напряженности поля в окрестности тел испытуемых - ловцов - составляла 80 В/м, среднее значение 15 $\pm$ 2,2 В/м [28]. Результаты работ [28] находятся в удовлетворительном согласии с экспериментами [29],в ко-

Р и с. 4I. Электрограммы электрического поля человека при его регистрации над различными точками тела

Время регистрации I с; записи получены при различных усилениях и не сравнимы по амплитуде



Р и с. 42. Сравнительные записи электрогастрограммы (I) и электрического поля человека (2) после приема пробного завтрака (а) и фоновые записи до физиологического воздействия (б)



торых установлено, что в суммарном электрическом сигнале содержатся частоты от 0,00I до I0 Гц и что амплитуда сигнала убывает по мере увеличения частоты. В первые минуты эксперимента потенциал ЭП человека составлял I–3 В, а через 20 мин устанавливался на среднем уровне 300 мВ. Были зарегистрированы инфранизкочастотные (0,05 – 0,005 Гц) колебания потенциала поля с амплитудой I0 – I00 мВ, которые, возможно, отражают функциональное состояние органов пищеварительного тракта, и ЭП на частоте 0,05 Гц, коррелирующее с потенциалами желудка (электро-

гастрограммами, приведенными на рис.42). Однако амплитуда наблюдавшихся полей слишком велика (100 – 500 мкВ), чтобы определяться только потенциалами, регистрируемыми в проекции желудка на переднюю брюшную стенку. Частично эти поля могут быть объяснены наличием трибоэлектрического заряда, который может создать на поверхности тела потенциал порядка 13 кВ.

Условия эксперимента [29] способствовали быстрому снятию поверхностного заряда. Поэтому только первые 10–20 мин электрическое поле могло определяться трибоэлектрическим зарядом. Установление потенциала поля на уровне 100–300 мВ свидетельствует либо о балансе процессов нейтрализации и генерации заряда, либо о существовании другого источника ЭП. Возможно, этим источником является изменение электрофизических свойств биоткани. Так, по мнению Т.Е. Кулина [28], имеет место поляризация биотканей по типу электретов, поддерживаемая процессами жизнедеятельности. Это предположение автор [28] подтверждает тем, что им зарегистрировано заметное снижение потенциала ЭП человека при смачивании кожи водой, резкое (в 60 раз!) снижение потенциала поля у трупов и т.д.

Характеристики полей, описанные в [28], действительно близки к характеристикам электретов [30] при условии, что параметры объемного заряда биообъекта зависят от его функционального состояния. Неясно, однако, каким образом ткани живого организма, обладающие высокой электропроводностью, могут сохранить длительное время состояние заполяризованности по типу электретов, почему экранирующее влияние заземленной пленки влаги на поверхности объемных электретов для живых тканей незначительно или в ряде случаев вообще не проявляется, тем более что зарегистрированы случаи роста потенциала поля при смачивании тела [28]. По-видимому, можно утверждать наличие только квазиэлектретного состояния живого вещества.

Электрофизические свойства биотканей могут быть ответственны за возникновение ИНЧ- колебаний внешнего ЭП человека. Расчеты [31] свидетельствуют о том, что изменение этого поля в некоторой точке пространства зависит от диэлектрической проницаемости ε биообъекта. Относительная величина временного изменения диэлектрических свойств тканей живого организма составляет доли процента. Однако средняя величина $\Delta\varepsilon/\varepsilon$ биоструктур в области низких частот достаточно велика, поэтому допустима достоверная оценка динамики внешнего ЭП организмов. Эксперименты [31] показали, что изменение ε и ЭП человека в ИНЧ- диапазоне практически одинаково и определяется функциональным состоянием внутренних органов. Следовательно, регистрируемые квазиэлектростатические и ИНЧ электрические поля могут быть отнесены к третьей группе полей биологического происхождения.

Итак, биологические системы являются источниками внешних ЭМП, которые могут быть зарегистрированы существующими техническими средствами. Эти поля независимо от механизма их образования достаточно информатив-

ны и с успехом используются в физиологических экспериментах и в практической медицине. Так, электрические и магнитные поля, связанные с деятельностью мышцы сердца, успешно применяются для диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы, а по характеру изменения ЭП в окрестности биологически активных точек судят о функциональном состоянии организма в целом.

Литература

I. Кравкин Б.В. Возможна ли электроиндукция в тканях живого организма?: Сб.посвящ. памяти А.В. Леонтовича. Киев: Изд-во АН УССР, 1948, с.37.

2. Slipel, Morrow D. The magnetic fields accompaning neuronal activity of neurous system. - J. Wash. Acad. Sci., 1960, vol. 50, N 6, p.1-4.

3. Generally J.A., Holfer N.J., Cleessoock M.R. Magnetio fields accompaning transmission of nerve impulses in the frog sciatic. - J. Payebol., 1961, vol. 2, p. 52.

4. Хведелидзе М.А., Думбадзе С.И., Сургуладзе Г.Д. О биоэлектромагнитном поле. - В кн.: Бионика. М.: Наука, 1965, с.305.

5. Baule G., McFree R. Detection of the magnetic field of the heart. - Amer. Heart J., 1963, vol. 66, N 95, p. 689.

6. Cohen D. Magnetic field around the torso production by electrioal of aotivity of the human heart. - Science, 1967, vol.156, N 3775, p. 652-654.

7. Saarinen M., Karp P.J., Katila T., Siltanen. The magnetooardiogram in cardiae disorders. - Cardiov. Res., 1974, vol. 8, p. 6.

8. Сафонов Ю.Д., Провоторов Д.М., Дубз В.М., Якименков Л.И. Метод регистрации магнитного поля сердца - магнитокардиография. - Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1967, т. 9, с.47-51.

9. Cohen D. Magnetomyography. Magnetic fields around the human body, produced by sceletsl musoles. - Appl. Phys. Lett., 1972, vol. 21, N 3, p. 114-116.

10. Малахов А.И., Максимов А.С., Нефедов Ю.Я. Об электромагнитной гипотезе биологической связи. - В кн.: Бионика. М.: Наука, 1965, с.297.

11. Ливанов М.Н., Козлов А.Н., Корниевский А.В. и др. О регистрации магнитных полей человека. - Докл. АН СССР, 1978, т.238, № 1, с.253-256.

12. Cohen D. Magnetoenoephalography. Evidence of magnetio fields, produced by alfa-rhythm currents. - Science, 1968, vol.161, N3843, p.784.

13. Burr H., Mauro A. Electrosctatic fields cf the sciatic nerve in the frog. - Jale J. Biol. Med., 1949, vol. 21, p. 455.

14. Гуляев И.П., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Электроаурограммы человека и животных. - В кн.: Нервная система, т.9, Л.: Изд-во ЛГУ, 1968, с.159-172.

15. Валеев У.С., Ракитянский Д.Ф., Торнуев Ю.В. К вопросу об электрическом поле нерва - В кн.: Матер. II совещ. по применению математики,

радиоэлектроники и физики в биологии и медицине. Новосибирск: Новосиб. электротехн. ин-т, 1968, с.19.
16. Валеев У.С., Ракитянский Д.Ф., Торнуев Ю.В. К вопросу об электрическом поле нерва. – Бисфизика, 1970, т.15, № 4, с.652-656.
17. Торнуев Ю.В. О происхождении внешнего электрического поля возбужденного изолированного нерва. – Физиол.журн. СССР, 1972, т.17,№ 9, с.1385-1390.
18. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Аурограмма одиночного аксона рецептора растяжения речного рака. – Докл. АН СССР, 1972, т.207, № 3, с.750-752.
19. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Ауральное электрическое поле изолированного нерва и мышцы. – Бисфизика, 1974, т.19, № 2, с.290-294.
20. Гуляев И.П., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Электроаурограмма нерва мышцы, сердца лягушки, сердца и мускулатуры человека. – Докл.АН СССР, 1968, т. 180, с. 1054.
21. Валеев У.С., Торнуев Ю.В., Ракитянский Д.Ф., Осенний А.С. О происхождении внешнего электрического поля, регистрируемого вблизи человека и животных. – Укр. физиол. журн. , 1973, т. 1, с. 99-103.
22. Валеев У.С., Торнуев Ю.В., Ракитянский Д.Ф. Измерение электрического поля вокруг человека и животных. – В кн.: Матер. II совещ. по применению математики, радиоэлектроники и физики в биологии и медицине. Новосибирск: Новосиб. электротехн. ин-т, 1968, с. 44.
23. Филякин Б.Ф., Провоторов В.М., Тумановский М.Н. Клиническое значение дистантной флебографии. – Кардиология, 1972, вып. 10, с. 83-86.
24. Филякин Б.Ф., Провоторов В.М., Тумановский М.Н. Метод дистанционной фонокардиографии и его клиническое значение. – Кардиология, 1972, вып. 6, с. 84-86.
25. Провоторов В.М. Некоторые результаты применения метода бесконтактной регулярной флебографии. – Клиническая медицина, 1972, вып. 9, с. 83-86.
26. Торнуев Ю.В. Экспериментальное иоследование электростатических полей, создаваемых в воздухе биообъектами: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Томск: ТГУ, 1971, 17 с.
27. Ракитянский Д.Ф., Торнуев Ю.В., Осенний А.С. Установка бесконтактного измерения частоты дыхания, ритмики сердца, двигательной активности человека и животных. – В кн.: Современная электроника и ее применение. Томск: Политехн. ин-т, 1972, с. 21.
28. Кулин Е.Т. Биоэлектретный эффект. Минск : Наука и техника. 1980, 215 с.
29. Торнуев Ю.В. К вопросу об электрическом поле человека. – Физиология человека, 1980, т. 6, № 1, с. 148-152.
30. Губкин А.Н. Электреты. М.: Наука и техника, 1961, 133 с.
31. Торнуев Ю.В., Куделькин С.А. Об одном механизме инфранизкочастотных колебаний внешнего электрического поля человека. – В кн.:Естественные науки на службе здравоохранения. Новосибирск: СО АН СССР, 1980.

3.3. О возможных механизмах генерации электромагнитных излучений живыми системами

В любом организме протекают, как правило, физико-химические и физиологические процессы с образованием и использованием электромагнитной энергии. Они являются неотъемлемой частью жизнедеятельности биосистем.

Результатом этих процессов является формирование квазистатических и электромагнитных полей организма и отдельных его органов в широком диапазоне частот, в частности инфранизкочастотных ЭМП, как следствие работы сердца, мозга и движения заряженных элементов крови в кровеносной системе.

В настоящее время в литературе отсутствует четкое определение механизмов формирования биополей - полей материальной природы, генерируемых живыми системами. Тем не менее многочиоленные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что вблизи биологических объектов, в том числе и человека, наблюдаются квазистатические электрические и магнитные поля (см. п. 3.I - 3.2 наст. гл.), а также электромагнитные излучения оптического, инфракраоного и радиодиапазонов.

Под механизмами генерации электромагнитных полей живыми системами, с нашей точки зрения, следует понимать физико-химические процессы внутри организма, приводящие к образованию электромагнитных полей в окрестности генерирующей сиотемы. Диапазоны длин волн (или диапазоны частот), в которых в настоящее время регистрируются ЭМП биологических объектов, заключены в широком интервале электромагнитного спектра.

Биополя электромагнитной природы целесообразно разделить на низкочастотную составляющую, включая квазистатические поля, и высокочастотную составляющую (радиоволновое, оптическое и другие излучения).

По современным воззрениям квазистатические поля могут возникать за счет трансмембранной разности потенциалов, индукционных взаимодействий, электретных эффектов и некоторых других физических процессов, протекающих на молекулярном уровне. Трансмембранная разность потенциалов [1] образуется за счет диффузии и активного транспорта молекул и ионов через мембраны клеток. Накопление и разделение на мембране ионов разных знаков создает в ее окрестности квазистатические поля. Тесная связь структуры и функции мембран с метаболизмом свидетельствует о его зависимости от образования трансмембранной разности потенциалов и электростатического поля. Особенно отчетливо это видно на примере активного транспорта ионов, осуществляемого ферментами [2-4] - специфическими АТФазами, действие которых зависит от активности генетического аппарата, состояния цитоплазмы, свойств мембран, концентрации соответствующих ионов, электрического заряда на мембране и других факторов.

Общей чертой электретного состояния [5] является в физике диэлектриков наличие электрического поля, обусловленного ориентацией полярных молекул. Экспериментально показано существование вблизи живых объектов квазистатичеоких электрических полей, которые автор [6] назвал "био -

электретным" состоянием структур живых тканей (биоэлектретный эффект). Следует, однако, отметить, что в случае биоэлектретного состояния система является существенно неравновесной и внешнее поле порождается нескомпенсированными зарядами, наличие которых обеспечивается пространственно распределенными источниками ЭДС, связанными с клеточным и тканевым метаболизмом.

Биоэлектретное состояние вещества/6/ может проявиться при соблюдении определенных условий, в частности, удельное сопротивление среды должно быть достаточно высоким. Для сохранения электретного состояния время релаксации свободных зарядов должно быть значительно больше времени релаксации овязанных. Сопротивление биологических тканей велико - порядка 10^4-10^7 Ом/см, что дает основание для предположения о возможной роли электретных состояний в формировании квазистатических электрических полей живых систем.

Генерация нескомпенсированного заряда приводит к ориентационной поляризации дипольных структур тканей и, в свою очередь, зависит от их пространственного распределения. Так возникает сложная биоэлектретная структура целостного организма. Порождаемые ею квазистатические электрические поля дают ценную диагностическую информацию, позволяющую оценивать функциональное состояние органов и тканей, отдифференцировать по ЭП живую ткань от неживой и даже обнаружить специфику распределения напряженности ЭП у больных с различными формами нервно-психических расстройств/6/. Остается, однако, открытым вопрос об относительном вкладе процессов саморегуляции и эффектов внешних воздействий в формирование общей картины электрического поля.

Регистрируемое распределение полей зависит как от интенсивности метаболизма и структурных особенностей тканей, так и от состояния экранирующего слоя на поверхности кожи, ее влажности, ионизации воздуха и других факторов. Известные экспериментальные данные, полученные в клинике и в опытах на животных, свидетельствуют о перспективности изучения квазистатических полей живых систем.

Экспериментально полученные ЭП биообъектов могут быть обусловлены также перераспределением заряженных элементов внутри организма, поляризацией их в электрическом поле, формированием двойных электрических слоев на клеточных и других неоднородностях, что приводит к образованию значительных объемных зарядов, пространственное перемещение которых приводит к формированию внутри организма электромагнитных полей с различными параметрами в зависимости от скоростей перемещения заряженных элементов, биоритмов, молекулярной организации и других процессов метаболизма.

В целом квазиотатические ЭП обусловлены молекулярной организацией биообъектов (мембраны органелл и клеток, поверхности органов и тканей). Образование зарядов и ЭП, например, на мембранах, может ослабить или исключить действие внешних полей на метаболические реакции и предохра-

нить биоструктуры от патологических изменени - одноименные электрические заряды, например, препятствуют слипанию эритроцитов. С квазистатичеокими полями непосредственно связана также работа мозга и нервной системы в целом.

Перейдем к рассмотрению возможных механизмов генерации высокочасотной ооставляющей ЭМП живыми системами в порядке увеличения длин волн генерируемых излучений - ультрафиолетового (УФ), оптического (ОИ), инфракрасного (ИК), радиоволновогс (РИ).

Ультрафиолетовый диапазон биополя возникает в результате рекомбинации свободных радикалов ферментов и субстратов, при разрушении макромолекул [7], перекисном окислении липидов [8], а также в результате внутримолекулярных перестроек электронной структуры высокоэнергетических молекул [9,10]. Наиболее отчетливо генерация и соответствующая передача информации посредством УФ-излучения проявляется при делении клетск [11].

Оптическое излучение зарегистрировано впервые от корней раотений, а затем - от всех видов клеток и тканей. Показано, что интенсивность ОИ сыворотки крови является квантовомеханической характеристикой гомеостаза [12,13], что свидетельствует о существенной роли ОИ в процессах метаболизма. Кванты ОИ генерируются преимущественно при свободнорадикальном перекисном окислении (СРПО) липидов [14,15], на интенсивность которого, а следовательно, и на уровень ОИ оказывают влияние активаторы (Fe^{2+}, O_2), ионизирующее излучение [14] и ингибиторы СРПО (Mn^{2+},каротиноиды, токсферолы, аскорбиновая кислота, катехоламины). Свойства этих веществ проявлять окислительные и антиокислительные (ингибиторные) воздействия определяются их концентрацией, фазовым оостоянием, а также состоянием окисляющейся системы [13,15]. Имеют значение также структура и организация мембран, насыщенность их ферментными и антиокислительными системами [15], число квантов, способных возбудить СРПО липидов. В частности, при внешнем УФ-облучении отмечается усиление СРПО (накопление гидроперекисей и свободных радикалов), а следовательно, усиление ОИ в облучаемых образцах [16].

Оптическое излучение генерируется также в ферментативных реакциях, (например,в реакции превращения альдегида в кислоту люциферинлюциферазной системой), сопровождается свечением, а также возможно в реакциях с участием других ферментов (каталазы, липоксидазы, аскорбатоксидазы, ксантинексидазы, пероксидазы). Однако полученные данные противоречивы [17,18]. Имеются ферменты, например, супероксиддисмутаза, которые понижают уровень ОИ в исследуемых неорганических образцах. Влияя на обмен и превращение кислорода, супероксиддисмутаза тем самым действует на активность большого числа ферментов. Одновременное действие на активность ферментов и уровень оптического излучения свидетельствует об универсальном его значении для СРПО и процессов метаболизма в целом.

Из приведенных экспериментальных фактов следует, что оптический диапазон биополя возникает преимущеотвенно при рексмбинации радикалов

липидных молекул и управляется путем изменения компонентов СРПО и активности ферментов, связанных с обменом кислорода.

Обнаружение инфракрасного диапазона биополя связано с развитием оптико-электронных методов индикации тепловых процессов /I9,20/. Показано /2I,22/, что интенсивность генерируемого организмом ИК-излучения коррелирует с выраженностью метаболических процессов, напряженностью ЭМП организма и меняется при развитии патологии. В случае опухолевого процесса, например, уровень ОИ понижается, а уровень ИК-излучения повышается.

К источникам генерации живыми системами радиоволн относятся сопряженные с электрогенезом процессы образования и распространения радиоволн при прохождении импульсов по нейрону, при движении клеток и ворсинок, сокращении мышечных волокон, работе сердца, перистальтике кишечника и других процессах /23/. Образование ЭМП радиодиапазона возможно при изменении электронной структуры макромолекул, например молекул ДНК, белков, а также в результате биохимических, биофизических и иммунологических реакций /I8/.

Механизмы генерации ЭМП живыми системами различаются не только по молекулярному, электрофизиологическому обеспечению процессов генерации, но также по иерархии и взаимосвязи между различными механизмами. Например, в момент прохождения импульса по нейрону генерируются не только радиоволны /23/, но и ОИ /24,25/, которое связано непосредственно с метаболизмом, обеспечивающим электрогенез.

Рассмотренные выше ЭМП различных участков спектра могут оказывать энергетическое и информационное воздействие, в том числе нормирующее влияние на метаболические процессы, а также могут активировать СРПО и ферментативные реакции. Одни из этих эффектов наблюдались в экспериментах по митотическому делению, передаче на расстояние цитопатического эффекта и др. /26-29/, другие - возможны лишь при условии резонансного взаимодействия, для реализации которого достаточны незначительные потоки электромагнитной энергии. В результате поглощения энергии локальными центрами изменяются активность метаболизма и функциональное состояние клеток, тканей и органов. На характеристику других эффектов оказывает влияние интенсивность излучения, его поляризация, пространственное расположение рецептирующих структур (объем, конфигурация, асимметрия).

Как следует из изложенного, картина генерации высокочастотной составляющей ЭМП живыми объектами чрезвычайно многообразна. Конечно, для такой сложной существенно неравновесной системы, как живой организм, наличие излучений в широком диапазоне частот является неизбежным хотя бы за счет химических реакций и электрических процессов, приводящих к возбуждению молекулярных и надмолекулярных систем.

Но существует и другая сторона вопроса. Излучение может в принципе оказывать регулирующее влияние на ход химических или электрических процессов в организме и быть определенным каналом передачи информации

между клетками, клеточными органеллами, мембранами, между ДНК и белками. В этом плане представляется весьма вероятным наряду с отмеченными выше двумя информационно-управляющими системами организма (химической и электрической) наличие третьей системы - системы ЭМП, управляющей посредством излучения (см. также т.2, гл. II, п. I.I).

Утверждение о возможности существования единой ЭМП-системы требует ответа на ряд вопросов.

I. Какова специфика биологических процессов?

2.Что дает (или может дать) ЭМП-система дополнительно к химической и электрической системам организма?

3. Почему общая управляющая ЭМП-система не обнаружена до сих пор?

Специфика биологических процессов связана с наличием чрезвычайно сложных молекул. Если предположить неэлектромагнитную природу биополей, то при современном уровне измерительной техники поля особой природы должны были бы быть обнаружены на уровне простых молекул. Однако до настоящего времени отсутствуют результаты подобных измерений, т.е. реально имеет смысл обсуждать только электромагнитную природу биополей.

С другой стороны, вероятность "не заметить" существования единой системы ЭМП (подобно тому, как это было с электрической системой организма до разработки методов регистрации очень слабых токов), на первый взгляд очень мала. Существует, однако, определенный вид ЭМП, не учитывающийся ранее при анализе работы биосистем - ультракороткие импульсы (УКИ), обладающие целым рядом замечательных свойств. Между тем учет УКИ дает возможность хотя бы качественно ответить на указанные выше вопросы.

Исследование УКИ было обеспечено появлением лазеров с модулированной добротностью и самосинхронизацией мод, дававших импульсы с длинами волн 10^{-2} - 10^{-3} нм длительностью 10^{-10} - 10^{-12} с. При определенных условиях поглощение короткого импульса резонансным переходом ослабевает, и вещество становится практически прозрачным, при этом скорость импульса в среде уменьшается по сравнению с фазовой скоростью [26]. Распространяться в поглощающей среде, однако, могут лишь импульсы, удовлетворяющие условию

$$\frac{l}{h}\int_{-\infty}^{\infty} E(r,t)\,dt = 2\pi n,$$

где E - амплитуда импульса, l - дипольный момент, h - постоянная Планка, r - координата направления распространения плоской волны, t - время, n - целое положительное число.

Величина, стоящая в левой части этого равенства, называется площадью импульса. Если площадь импульса равна 2π (2π - импульс), то резонансные молекулы после начального возбуждения снова возвращаются в нижнее энергетичеокое состояние, так что энергия переходит опять в поле излучения, т.е. 2π - импульс движется через поглощающую среду

без потерь энергии. Рассматриваемый эффект самоиндуцированной прозрачности [26] является когерентным эффектом. Поглощение импульса происходит тогда, когда условия когерентности нарушаются. Оказалось, что для не очень малых плотностей и температур 2π - импульс распространяется на сравнительно небольшие расстояния. Когда длительность импульса отановится порядка времени релаксации (в результате потери энергии при сохранении площади импульса), импульс быстро поглощается.

Существенное значение имеет исследование ультракоротких импульсов, внутри которых поле меняет знак, и они имеют площадь, равную нулю (0π -импульсы). Оказалось, что 0π -импульсы характеризуются аномально слабым поглощением, а очень короткие импульсы могут распространяться на значительные расстояния [27]. В системе гармонических осциллятсров импульс распространяется как 0π-импульс независимо от его начальной площади [28]. Это приближенно справедливо даже для трехуровневой эквидистантной системы.

Минимальная длительность импульсов $\Delta\tau$ определяется известным соотношением $\Delta f \Delta\tau \geq 1$. Спектральная ширина линий Δf у биомолекул может достигать огромных значений, и в принципе при соответствующей кинетике процессов эти молекулы могут служить источниками очень коротких импульсов. Именно принципиальная возможность генерации ультракоротких 0π-импульсов, распространяющихся на большие расстояния, и является, с нашей точки зрения, специфической особенностью биосистем.

Таким образом, сформулирован ответ на поставленный выше первый вопрос: специфическая особенность биосистем обусловлена большим значением Δf и наличием эквидистантных излучающих подсистем с несколькими уровнями.

Ответ на второй вопрос о возможной роли ЭМП-системы в жизнедеятельности организма тесно связан об свойствами УКИ - универсальность, избирательность восприятия импульсов, распространение на большие расстояния даже через поглощающую среду (0π-импульсы), возможность локализации выделяемой энергии в малом объеме (2π-импульсы). Благодаря этим свойствам УКИ могут в принципе составить основу управляющей ЭМП-системы, приводя к координации процессов на молекулярном, клеточном и организменном уровнях.

Ясен ответ и на третий вопрос. Регистрация ультракоротких импульсов, свободно проходящих даже через поглощающую среду, ранее была невозможной. Даже в настоящее время для регистрации 0π-импульсов требуются специально поставленные эксперименты. В качестве детекторов можно использовать инверснозаселенную активную среду, которая может существенно реагировать на прохождение 0π-солитона. Это значит, что принимать сигналы в организме могут лишь специально настроенные системы [29]. По этой причине, вполне возможно, управляющая ЭМП-система до сих пор не была обнаружена.

Изучение когерентных эффектов в многоуровневых системах [29] показало, что существуют очень интересные возможности управления и модуля-

ции импульсов. Для трехуровневой системы (с уровнями I,2,3) была отмечена возможность управления прохождением через среду УКИ света одной резонансной частоты путем излучения на другой резонансной частоте. Так, изменением амплитуды поля на переходе 2–3 можно увеличить или снизить порог самопропускания для импульса частоты f_{12}. При сильном различии дипольных моментов переходов даже небольшое изменение поля на переходе 2–3 может вызвать резкое изменение условий прохождения импульса частоты f_{12}.

В работе /29/ отмечается возможность формирования коротких мощных импульсов на одном из переходов путем подачи аналогичного импульса на другой переход и "дежурящего" поля – на первый. Таким образом, возможности информации и управления в рамках рассматриваемой ЭМП-системы представляются исключительно многообразными и эффективными. Не исключено, что организмы излучают значительное число ультракоротких импульсов и находятся в своего рода среде УКИ, а конкретный организм может характеризоваться лишь определенным набором УКИ. Для подтверждения и развития этого подхода существенны конкретные физичеокие исследования различных эффектов взаимодействия УКИ, изучение их влияния на биологические объекты, анализ возможных механизмов генерации УКИ биологическими системами.

Итак, электромагнитные поля, генерируемые в биосистеме, распространяются внутри и за пределами организма и являются необходимым элементом жизнедеятельности. Проведенный анализ показывает, что их изучение пока еще находится в основном на стадии накопления экспериментального материала. Однако уже сейчас целесообразно поставить вопрос о едином системном подходе и координации исследований механизмов генерации ЭМП биосистемами.

Литература

I. Скулачев В.П. Трансформация энергии в биомембране. М.: Наука, I972, 203 с.
2. Уиттам Р. Кинетические и ферментативные аспекты мембранного транспорта. – В кн.: Биологические мембраны. М.:Атомиздат, I978,с.I62–I77.
3. Уиттам Р. Ферментативные аспекты транспорта натрия через мембраны. – Там же, с. I78–I84.
4. Нобль Д. Физико-химические свойства ионных каналов в возбудимых мембранах. – Там же, с. I37–I48.
5. Губкин А.И. Электреты. М.:Наука, I978. I92 с.
6. Кулин Е.Т. Биоэлектретный эффект. Минск: Наука и техника,I980.2I5с.
7. Гурвич А.А. Проблема митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии. Л.:Медицина, I968. 240 с.
8. Журавлев А.И., Журавлева А.И. Сверхслабое свечение сыворотки крови и его значение в комплексной диагностике. М.: Медицина, I975. I28 с.
9. Ливанова Т.Н. Хемилюминесценция раствора АТФ и реакции гидролиза АТФ актомиозином. – Биофизика, I973, т.I8, № 4, с. 600–604.

10. Ливанова Т.Н. Хемилюминесценция раствора АТФ. – Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1974, т. 78, № 10, с. 39–41.
11. Гурвич А.А. Избранные труды. М.: Медицина, 1977, 351 с.
12. Бурлакова Е.Б., Алесенко А.В., Молочкина Е.М. и др. Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте. М.: Наука, 1975. 211с.
13. Журавлев А.И. Сверхслабое свечение и свободнорадикальное состояние при метаболизме животных тканей. – Журн. общей патологии, 1973, т. 34, №4, с. 582–593.
14. Бурлакова Е.Б. Роль антиокислителей в физико-химических процессах регулирования клеток. – В кн.: Физико-химические основы авторегуляции в клетках. М.: Наука, 1968, с. 15–75.
15. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
16. Марзоев А.И., Рощупкин Д.И., Владимиров Ю.А. Исследование влияния УФ-света на биологические мембраны. Влияние облучения на хемилюминесценцию митохондрий. – Биофизика, 1973, т. 18, № 2, с. 258–263.
17. Владимиров Ю.А. Сверхслабые свечения при биохимических реакциях. М.: Наука, 1966, 102 с.
18. Журавлев А.И. Сверхслабые свечения и ферменты. – Успехи совр. биологии, 1970, т. 63, № 3, с. 398–407.
19. Брамсон А.М. Инфракрасное излучение нагретых тел. М.: Наука, 1964.
20. Козелкин В.В., Усольцев И.Ф. Основы инфракрасной техники. М.: Машиностроение, 1967, 308 с.
21. Вайл Ю.С., Барановский Я.М. Инфракрасные лучи в клинической диагностике и медико-биологических исследованиях. Л.: Медицина, 1969. 239 с.
22. Зарецкий В.В. Клиническая термография. М.: Медицина, 1976, 168 с.
23. Кольс О.Р., Федоров Г.Е., Свердлова Е.Н. и др. Свободнорадикальные процессы в норме при ритмическом возбуждении. – В кн.: Свободнорадикальное окисление липидов в норме и патологии. М.: Наука, 1976, с. 85–88.
24. Казначеев В.П., Шурин С.П., Михайлова Л.П., Игнатович И.В. О межклеточных дистанционных взаимодействиях в системе двух тканевых систем, связанных оптическим контактом. – В кн.: Сверхслабые свечения в биологии. М.: Наука, 1972, с.224–227.
25. Тарусов Б.Н. Информационное значение сверхслабого свечения. – Там же, с. 9–16.
26. Полуэктов И.А., Попов Ю.М.,Ройтберг В.С. Эффект самоиндуцированной прозрачности. – УФН, 1974, т. 114, с. 97–133.
27. Grisp M.D. Propagation of small-area pulses of coherent light through a resonant medium.- Phys. Rev., 1970, vol.A6, p.1604-1611.
28. Махвиладзе Т.М., Синицын И.Г., Шелепин Л.А. Использование ультракоротких импульсов для селективных процессов. – Письма в ЖТФ, 1977, т. 3, с. 1013–1116.
29. Когерентные кооперативные явления. М.: Наука, 1976, 156 с. (Труды ФИАН; Т. 87).

ГЛАВА II. ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОСФЕРУ И ЧЕЛОВЕКА

I. РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ

I.I. О возможных геофизических механизмах влияния солнечной активности на организм

Наличие корреляционных связей между индексами солнечной активности и некоторыми явлениями в биосфере (стихийно протекающие эпидемии и эпизоотии, статистика смертности) было установлено еще в 20-х годах А.Л.Чижевским [1, 2]. В последующие годы круг явлений, для которых так или иначе удается проследить статистическую связь с солнечной активностью, значительно расширился. Например, основатель дендрохронологии А.Дугласс [3] обратил внимание на то, что толщина годовых колец деревьев, растущих во влажном климате, точнее следует вариациям чисел Вольфа, чем климатические показатели того же района, и что, следовательно, между солнечной активностью и приростом деревьев существует непосредственная связь. Оперируя данными медицинской статистики, авторы [4] не только нашли 27-дневную цикличность в показателях смертности от некоторых заболеваний, сопряженную с магнитной возмущенностью, но и показали, что соответствующие изменения происходят синхронно для нескольких крупных городов. Дж.Пиккарди [5] обнаружил те же закономерности, используя специально разработанные физико-химические тесты, в которых измерялась скорость осаждения коллоидного раствора (результаты Пиккарди проверены и существенно дополнены в Советском Союзе [6]). Связь с уровнем солнечной активности такого физиологического показателя человека, как концентрация лейкоцитов периферической крови, была установлена Н.А.Шульцем [7] на рекордно большом массиве данных - свыше $3 \cdot 10^5$ измерений. В последнее десятилетие были получены убедительные данные, указывающие на связь с солнечной (либо геомагнитной) активностью показателей жизнедеятельности бактерий [8], насекомых [9,10], растительных организмов [11], птиц [12]. Эти и другие примеры [13-15] свидетельствуют о проявлении солнечно-земных связей в явлениях биологического мира. На протяжении долгого времени вопрос о реальности и природе подобных корреляционных связей (следует ли считать эту связь причинной?) был предметом полемики.

Ниже представлены некоторые данные и соображения о возможных геофизических механизмах связи солнечная активность - биосфера. Под геофизическими механизмами в данном случае подразумеваются схемы причинно-следственных связей, для которых определен конкретный физический агент среды обитания, с одной стороны, контролируемый солнечной активностью, с другой - непосредственно действующий на организм.

Традиционные экология, биометеорология и климатическая медицина до сих пор не учитывают ряда существенных для организма физических факторов внешней среды, но как раз некоторые из этих факторов эффективно контролируются солнечной активностью. Дальнейшее обсуждение ограничивается в настоящем изложении обоснованием экологической значимости для жизнедеятельности организма некоторого физического фактора, физиологический механизм действия которого требует особого рассмотрения в рамках других специальных дисциплин.

Многие исследователи [2,5,16-18], интересовавшиеся проблемой связи солнечная активность - биосфера, давно высказали догадку, что в реализации этой связи важную роль должны играть ЭМП. В настоящее время есть все основания утверждать, что догадка эта оказалась в общем правильной.

Как показывает анализ [19], все основные особенности связи медико-биологических явлений с солнечной активностью могут быть поняты, если допустить, что живые организмы чувствительны к амплитудно-спектральным изменениям ЭМП в широком диапазоне деятельности Солнца (см.гл.I, п.I.I) и примыкающим к нему диапазоне звуковых частот (атмосферики, магнитосферные шумы). Следует отметить, что феноменологические свойства гипотетических физических агентов, ответственных за связь биологических явлений с солнечной активностью, по описанию некоторых авторов, совпадают со свойствами инфранизкочастотных ЭМП (Z - излучение А.Л.Чижевского [1], Х-фактор Х.Мориямы [20], проникающее излучение Г.Бортельса [17]).

Биологические эффекты ИНЧ ЭМП малой напряженности привлекли внимание лишь в последние годы после надежного обнаружения нетепловых эффектов биологического действия ЭМП в широком диапазоне частот (см.т.2, разд.2, 4, гл.II, п.I.4, I.5) и экологической значимости фоновых ЭМП [21-23]. Установлено, например, что при воздействии на человека слабого (несколько вольт на метр) ЭП частотой 2-3 Гц время задержки реакции у многих испытуемых увеличивается [24,25]. Подобные результаты могут послужить разумной основой для объяснения корреляции между индексами солнечной активности и статистикой транспортных происшествий и производственного травматизма [26,27]. Найдено, что нервная система (в частности, ЦНС) наиболее чувствительна к действию слабых ЭМП в широком диапазоне частот [28]. Обнаружено заметное воздействие поля с частотой в несколько герц и на сердечно-сосудистую систему [29,30]. Под влиянием поля значительно ухудшается состояние сердечной мышцы у подопытных животных с экспериментальным инфарктом миокарда [31]. Последний результат можно связать с хорошо известными данными медицинской статистики о связи сердечно-сосудистой патологии с солнечной активностью [32] (см. также п.I.4, I.5 наст.гл.) ибо магнитная буря сопровождается существенным увеличением амплитуды колебаний ИНЧ ЭМП. Показано также, что ИНЧ ЭМП оказывает заметное влияние и на систему крови млекопитающих [33] (см. также т.2, гл.I, разд.3). Воздействие ЭМП, как правило, находится в пределах адаптационных возможностей организма (здоровый человек не замечает магнитных бурь!), и лишь когда эти возможности ограничены (ранний или, на-

против, преклонный возраст) либо нарушены (уже существующая патология), воздействие поля может иметь серьезные последствия.

Независимым доказательством экологической значимости фоновых ЭМП могут служить эксперименты с экранированием биообъектов от внешних полей. В ряде экспериментов обнаружено, что такого рода изоляция сопровождается определенными изменениями в жизнедеятельности организма, так что существование этого фона, по-видимому, важно для нормального функционирования биологических систем. Например, экранирование бактерий сопровождается подавлением их размножения [34,35]. Трехмесячное пребывание мышей в условиях электромагнитного экранирования приводит к значительным изменениям их двигательной активности и мышечной работоспособности [36]. Длительное эффективное экранирование сказывается, видимо, и на некоторых физиологических функциях человека [37].

Изложенное выше позволяет сформулировать следующую схему механизма влияния солнечной активности на биологические явления: возмущение на Солнце (например, мощная хромосферная вспышка) → возмущение магнитосферы и плазмосферы Земли (магнитная буря с внезапным началом) → изменение спектра ЭМП на поверхности Земли в области инфранизких частот → сдвиги в физиологических показателях организма (реакция на изменение внешней среды). Такая схема обладает важной особенностью - универсальностью, ибо, судя по лабораторным экспериментам, у большинства организмов обнаруживается чувствительность к изменениям уровня напряженности ЭМП, обладающих высокой проникающей способностью и присутствующих практически всюду.

Возможно, влияние солнечной активности на биосферу осуществляется сразу по нескольким каналам и передатчиками такого влияния наряду с ЭМП могут быть и другие физические агенты, в частности, акустические шумы атмосферы очень низкой частоты - инфразвуковые колебания естественного происхождения [38]. Слабые затухающие колебания на частотах ниже I Гц являются одной из причин существования в каждой точке земной поверхности некоторого фона инфразвуковых шумов. С солнечной активностью тесно связаны инфразвуковые сигналы, генерируемые при развитии полярных сияний [39,40]. Довольно значительная доля спорадических усилений колебаний в полосе частот 0,01-0,05 Гц на средних и низких широтах связана с магнитными бурями [41,42]. Если в период магнитной бури K_p-индекс магнитной активности не менее 8, буря сопровождается акустической инфразвуковой бурей с вероятностью 100%. Обычно спустя несколько часов после начала бури амплитуда инфразвуковых колебаний начинает возрастать, остается повышенной около четверти суток (до 10^{-4} Н·см$^{-2}$ в средних широтах), а затем постепенно уменьшается. Описанные эффекты достигают максимума чаще всего после полуночи по местному времени. К сожалению, биологическое действие инфразвука малой амплитуды почти не изучено. Однако есть основания полагать, что в отдельных частотных диапазонах акустические колебания инфранизских частот биологически активны [43]. Если это так, то атмосферные инфразвуки - еще один фактор-посредник, реализующий влияние солнечной активности на явления в биосфере.

Известно, что поверхность Земли защищена от действия УФ-излучения Солнца слоем озона. В последние годы обнаружено, что толща озоносферы зависит от солнечной активности(см., например, [44]).Это приводит к тому, что вблизи края полосы поглощения озона (λ =290 нм) может меняться приземный поток УФ-излучения (несмотря на тс, что излучение Солнца в этом диапазоне длин волн вне атмосферы остается неизменным). Согласно [45], при переходе от максимума к минимуму солнечной активности поток может измениться для оредних широт в I,5-2 раза, что весьма существенно, так как УФ-излучение на этих длинах волн обладает высокой биологической активностью. Бактерицидное, мутагенное и канцерогенное действие УФ-излучения обусловлено тем обстоятельством, что спектральная полоса λ =280-300 нм перекрывает край полосы поглощения важнейшего биологического ооединения - ДНК. Колебания потока УФ-излучения могут, следовательно,влиять на частоту мутаций микроорганизмов и некоторых простейших, а также приводить к физиологическим изменениям растительных организмов. Вероятно, именно с этими изменениями потока ультрафиолета связано наличие II-летней цикличности в заболеваемости раком кожи у человека [45].

В рабсте [46] обращено внимание на возможную экологичеокую значимость еще одного явления - относительно резкого воэрастания при геомагнитных возмущениях в атмосфере концентрации радона ^{222}Rn. По невыясненным пока причинам во время магнитных бурь существенно возрастает выход из грунта газов (в том числе ^{222}Rn). Явление носит глобальный характер. Биологический эффект возрастания концентрации радона (в среднем во время магнитной бури примерно в 5 раз) двоякий [46]: I) при вдыхании обогащенного радоном воздуха несколько увеличивается доза облучения ионизирующей радиацией внутренних органов; 2) в атмосфере (и во вдыхаемом воздухе) возрастает концентрация пложительных ионов. Известно, что оба эти фактора могут вызвать физиологические сдвиги в организме. Неясно, однако, насколько они будут значительны. Как и в случае колебаний интенсивности УФ-излучения, влияние увеличения концентрации радона (если оно окажется реальным) относится к ограниченному кругу явлений.

Интенсивность галактических космических лучей, как хорошо известно, антикоррелирует с геомагнитной возмущенностью. Соответствующие изменения, однако, очень малы. Понижение интенсивности космических лучей в период магнитных бурь с внезапным началом (форбушэффект) обычно не превышает нескольких процентов, что соответствует ничтожному понижению дозы облучения на протяжении двух-трех суток. Между тем из-за описанного выше эффекта скачкосбразного возрастания радиоактивности атмосферы доза облучения организма ионизирующей радиацией фактичеоки увеличивается. Ясно, что вариации интенсивности коомичеоких лучей не могут иметь существенного значения для обсуждаемой проблемы. Нет оснований также приписывать экологическое значение "классическим" вариациям геомагнитного поля, как это делается, например, в [14]. Во время главной фазы магнитной бури величина горизонтальной составляющей ГМП в интервале времени порядка суток уменьшается на средних широтах на несколько сотен нанотесл

(~ I% от невозмущенного значения). Предположение о том, что изменение напряженности МП на I% на протяжении суток может сопровождатьоя заметными физиологическими сдвигами каких-либо показателей организма, противоречит результатам магнитобиологических экспериментов. Следует отметить, что влияние солнечной активности на биосферу в некоторых случаях может быть обусловлено вариациями метеорологических факторов (изменения атмосферного давления, температуры, режима выпадения осадков), поокольку процессы в тропосфере до некоторой степени обусловлены солнечной активностью.

Общепризнанс , что все биологические системы на всех уровнях организации функционируют в режиме автоколебаний, которые внешне проявляются как биологические ритмы - циклические изменения показателей жизнедеятельности организма (физиологических, биохимических, психических и т.д.). В обширной литературе по биоритмам накоплено множество наблюдений над периодическими изменениями разного рода параметров (см.п.I.2 наст.гл. и т.2, гл.I, пп.2.6, 2.3). Наиболее подробно изучены для многих организмов полусуточный и суточный ритмы. Обнаружение ритма с периодом около семи дней дало основания поставить вопрос о естественном (а не историческом) происхождении календарной недели (некотсрые исследователи придают этому периоду особое значение; см.например, [47]. Кроме упомянутых ритмов, известны циклические изменения показателей жизнедеятельности человека с периодами около месяца (26-29 дней), полгода, год, сколо трех лет, около семи лет (так называемые макроритмы). На уровне систем организмов хорошо известны колебания численности некоторых популяций - "волны жизни" (с наибслее часто вотречающимися периодами около трех-четырех и десяти лет).

При исследовании окслосуточных (так называемых циркадных) ритмов установлено, что они могут быть принудительно оинхронизованы соответствующими иэменениями факторов внешней среды, чаще всего - режимом освещенности. Синхронизация происходит по типу "захвата" частоты, как это имеет место для механических и электрических колебательных систем при подаче на них внешнего периодического сигнала. В связи с этим можно предположить [48], что и другие общие закономерности, найденные в нелинейной теории колебаний, приложимы к биологическим осцилляторам - возможность синхронизации очень слабым сигналом с малой величиной "расстройки", синхронизация по гармонике, биения на границе полосы синхронизации, параметрический резонанс и т.д. Вынуждающей сидой для биологических автоколебательных систем могут быть в принципе любые периодически меняющиеся факторы внешней среды. К их числу следует, видимо, отнести климатические изменения (ооадки, средние температуры) и, конечно, факторы, рассмотренные выше,- ЭМП, инфразвук и др. Все эти параметры среды модулированы изменениями солнечной активности и долгопериодными приливными воздействиями Луны.

Если синхронизация имеет место, то появляется корреляция соответствующего биологического показателя с индексом внешней ("вынуждающей")

силы, т.е. с солнечной (геомагнитной) активностью. Связь, однако, имеет ту особенность, что может изменяться от одного географического района к другому, поскольку собственный период колебаний в экосистеме (плотность популяции данного вида, например) определяется совокупностью местных условий, а захват частоты осуществляется по той гармонике солнечной цикличности, период которой наиболее близок к собственному периоду системы. При неполном совпадении (но близости) этих периодов могут возникнуть биения. В этом случае на кривых, описывающих, например, динамику популяций ("волн жизни"), должны наблюдаться характерные детали: одновременное присутствие двух периодов с изменяющимся соотношением амплитуд, постоянное смещение фазы, рассматриваемой относительно фазы "вынуждающей" силы. Во многих случаях обнаруживается разительное сходство кривых колебаний плотности популяций (насекомые, грызуны) /49/ с описанной картиной.

Те же соображения, очевидно, применимы и в случае стихийно протекающих эпидемий и эпизоотий (см.п.I,6 наст.гл.), если полагать, что эпидемический процесс носит автоколебательный характер. Систему в некотором приближении можно считать состоящей по меньшей мере из трех связанных осцилляторов: колебания в уровне иммунитета подверженных данному заболеванию индивидуумов, циклические изменения в выживаемости и вирулентности возбудителя и колебания в числе переносчиков возбудителя. В подобной системе синхронизация может возникнуть при воздействии внешней "возмущающей" частоты на любой из упомянутых осцилляторов (при условии соблюдения определенных соотношений между их собственными частотами). С точки зрения представлений о синхронизации легко понять и географическую изменчивость цикличности эпидемических явлений /50/.

Представление о широком распространении в биологическом мире явлений типа принудительной синхронизации биоритмов может оказаться плодотворным для понимания определенных аспектов связи солнечная активность–биосфера. В частности, становится понятным присутствие высоких гармоник солнечной цикличности во многих периодически протекающих биологических процессах.

Таким образом, корреляционные связи между солнечной активностью и медико-биологическими явлениями следует рассматривать как причинные. Они поддаются объяснению, если сделать довольно естественное предположение, что среди факторов среды обитания, существенных для организмов, имеются и такие, которые зависят от вариаций солнечной активности.

Экспериментальные данные определенно указывают на экологическую значимость естественного ЭМП Земли в диапазоне инфранизких частот. Уровень напряженности этих ЭМП и их спектр эффективно контролируются солнечной активностью через вариации параметров солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и изменения потока жесткого электромагнитного излучения, возмущающего ионосферные токовые системы. Возможно, что организмы реагируют на изменения и некоторых других факторов внешней среды, коррелирующих с солнечной активностью (инфразвук, колебания

приземного ультрафиолетового излучения, вариации радиоактивности атмосферы).

Можно представить по крайней мере две схемы влияния гелиогеофизических факторов на биологические явления: I) организм реагирует на случайно распределенные во времени возмущения (магнитная буря с внезапным началом); 2) имеет меото принудительная синхронизация ритмов биологических систем циклическими изменениями этих факторов. Очевидное теоретическое и прикладное значение оолнечно-земных связей в биологии и медицине приводит к необходимости постановки дальнейших исследований всего круга вопросов, относящихся к этой важной проблеме.

Литература

1. Чижевский А.Л. Об одном виде специфически биоактивного или χ-излучения Солнца. - В кн.: Земля во Вселенной. М: Мысль, I964, с.342-372.
2. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М: Мысль, I976, 366 с.
3. Douglass A.E. Solar records in tree growth.-Science,1927,vol.65p220.
4. Düll T.,Düll B. Statistic über die Abhangigkeit der Sterblichkeit von geophysikalischen und kosmischen Vorgange.-In:F.Linke,B.Rudder. Medizin-meteorol. Statistic. B.:G.V.,1936, S.128.
5. Piccardi G., The chemical basis of medical climatology. Springfield: C°. Thomas Publ., 1962. 146 p.
6. Опалинская А.М. Влияние солнечной активности на реакцию Пиккарди.- В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томок: Изд-во ТГУ, I978, с.IO-I9.
7. Шульц Н.А. Влияние колебаний солнечной активности на численность белых кровяных телец. - В кн.: Земля во Вселенной. М: Мысль, I964, с.382-389.
8. Ачкасова Ю.Н., Бобова В.П., Брызгунова Н.И., Владимирский Б.М. Секторная структура межпланетного магнитного поля и размножение бактерий в лабораторном эксперименте. - Солнечные данные, I978,№I, с.99-I04.
9. Чернышев В.Б. Возмущенность земного магнитного поля и двигательная активность насекомых. - В кн.: Влияние солнечной активнооти на атмосферу и биосферу Земли. М: Наука, I97I, с.2I5-233.
10. Becker G., Gerisch W. Korrelation zwischen der Frasaktivitat von termiten und der geomagnetischen Aktivitat.-Zsohr. angew. Entomol., 1977, Bd84, S.353.
11. Дубров А.П. Гелиогеофизические факторы и динамика выделения органических веществ корнями растений. - В кн.: Проблемы космической биологии. М: Наука, I973, т.I8, с.67-96.
12. Moor F.R. Geomagnetic disturbances and orientation of nocturnally migrating birds.-Science, 1977, vol.196, p. 682.
13. Berg H. Solar-terrestrische Beziehungen in Meteorologie und Biologie. Leipzig: Akad. Verl., 1957.

I4. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л: Гидрометеоиздат, I974.
I5. Дружинин П.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Космос-Земля. Прогнозы. М.:Мысль, I974. 288 с.
I6. Аррениус С. Влияние космических условий на физиологические отправления. - Научное обозрение, I900, № 2, с.26I.
I7. **Bortels H. Meteorobiologische Unterschungen an Azotobakter, Zentralblatt fur Bakteriolcgie.-Parasitenkunde und Infektionskrankeiten, 1940, Bd. 102, S. 129.**
I8. **Reiter R. Meteorobiologie und elektrizitat der Atmosphare. Leipzig: Akad.-Verl., 1960.**
I9. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере.- В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М: Наука, I97I, с.I26-I4I.
20. **Moriyama H. Studies of X-agent.-Yokohama Med. Bull., 1966, vol. 17, p.31.**
2I. **Persinger M.A., Ludwig H.W., Ossenkopp K.P. Psychophysiological effects of extremely low frequenoy electromagnetic field: A review.- Percept. and Mot. Scills,1973, vol.3, 36 p., monograph suppl.**
22. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей о напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М: Наука, I975, т.I, с.I26-I50.
23. **Marino A.A.,Becker R.O. Biological effects of extremely low frequency electric and magnetic fields: A review.-Physiol. Chem. and phys., 1977, vol.9, p.131.**
24. **König H.,Ankermuller F. Uber den Einflus bescndere nieder frequenter elektrischer Vorgange in der Atmosphare auf den Menschen.- Naturwissensohaften, 1960, Bd. 47, S.486.**
25. **Hamer J.H. Very low frequency electromagnetic field and reactien time of man.-Commun. Behav. Biol., 1968, vol.8, p.217.**
26. **Bhaskara Rao D.S., Srivastava B.J. Influenoe of solar and geomagnetic disturbances on road traffic accidentes.-Bull. Nat. Geophys. Res. Inst. (Hyderabad), 1970, vol. 8, p.39.**
27. Дикельсон Э.Я. Зависимость травм и несчастных случаев в Риге от геомагнитных воэмущений. - Солнечные данные, I976, № 7, с.I00.
28. Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. М: Наука, I975, 207 с.
29. Владимирский Б.М.,Волынский А.М.Изменения сердечной деятельности у животных при воздействии низкочастотными электромагнитными полями.- В кн.: Экспериментальная и возрастная кардиалогия, Владимир, I970, ч.I, с.25.
30. Волынский А.М. Изменение сердечной и нервной деятельности у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями

низкой частоты. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, с.7-13.
31. Виноградов С.А., Артищенко В.А., Волынский А.М. Морфологические особенности инфаркта миокарда, возникающие при действии электромагнитного поля в эксперименте. - Там же, с.37-42.
32. Гневышев М.Н., Новикова К.Ф., Оль А.И., Токарева Н.В. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу Земли. М: Наука, 1971, с.179-187.
33. Темурьянц Н.А. Влияние слабых магнитных полей сверхнизкой частоты на морфологию и некоторые показатели метаболизма лейкоцитов периферической крови животных: Дис..., канд.биол.наук. Симферополь: Крымский мед.ин-т, 1972.
34. Vering F. Bacterial under metallic screen.-In:Symp. Intern. sur les relations entre phénomènes solaires et terrestres en chemie-physique et en biologie. Bruxelles, 1960, p. 177.
35. Ачкасова Ю.Н. Метаболизм и скорость размножения микроорганизмов, развивающихся при экранировании электрических и магнитных полей. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, с.51-56.
36. Копанев В.И., Ефименко Г.Д., Шакула А.В. О биологическом действии на организм гипогеомагнитной среды. - Изв.АН СССР. Сер.биол., 1979, № 3, с.342-353.
37. Wewer R. The effect of electric fields on circadian rhythmicity in man.- In: Proc. of 12th COSPAR Plenary meet. Prague, 1969, p.401.
38. Владимирский Б.М. Атмосферный инфразвук как возможный фактор, передающий влияние солнечной активности на биосферу. - Изв.КАО, 1974, т.52, с.190.
39. Wilson C.R. Auroral infrasonic waves.-J. Geophys. Res. 1969, vol. 74, p. 1812.
40. Wilson C.R. Two-station auroral infrasonic wave observations.- Planet. and Space Sci., 1969, vol. 17, p.1817.
41. Chrzanowski P., Green G., Lemmon K.T., Yong J.M. Travelling pressure waves associated with geomagnetic activity.- J. Geophys. Res., 1961, vol. 66, p. 3727.
42. Sachdev R.N. Microbarographic oscillations associated with geomagnetic activity.- I bid., 1969, vol. 74, p. 5413.
43. Gavreau V. Infrasonds.-Sci. J., 1968, vol. 4, p. 33.
44. Angel J.K., Korshover J. Quasi-biennal and long-term fluctuations in total ozone.- Mon. Weather Rev., 1973, vol. 101, p. 426.
45. Владимирский Б.М., Кисловский А.Л. Солнечная активность и биосфера. М: Знание, 1982, 62 с.
46. Шемьи-Заде А.Э. Биотропность геомагнитных возмущений как следствие вызываемого ими повышения удельной радиоактивности воздуха. - Биофизика, 1978, т.23, с.955-958.

47. Ковальчук А.В. Космически обусловленные многодневные ритмы физиологических процессов как фактор эволюции животного мира. - В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с.133.
48. Владимирский Б.М. Биологические ритмы и солнечная активность. - В кн.: Биологические ритмы; Проблемы космической биологии. М: Наука, 1980, т.41, с.289-300.
49. Лэк Д. Численность животных и ее регуляция в природе. М: Изд-во иностр.лит., 1957.
50. Ягодинский В.Н. Гелиофизические факторы развития эпидемического процесса. - В кн.: Проблемы космической биологии. М: Наука, 1973, т.18, с.47-66.

I.2. Значение секторной структуры межпланетного магнитного поля в синхронизации психофизиологической регуляции человека

Обнаружение секторной структуры межпланетного магнитного поля /1/ и существование у поверхности Земли в высоких широтах двух типов суточных вариаций геомагнитного поля /2/, по форме которых можно определить полярности секторов ММП /3,4/, оказало существенное влияние на развитие исследований в области солнечно-земных связей /5-7/.

Измерения МП на спутниках за пределами магнитосферы (на расстоянии более 10 радиусов Земли по направлению к Солнцу) показали, что в межпланетном пространстве в плоскости эклиптики образуются два, чаще - четыре, реже - шесть секторов, в которых МП (в среднем около 5 нТл) направлено преимущественно вдоль спирали от Солнца (положительный сектор) или к Солнцу (отрицательный сектор). Любой акт увеличения солнечной активности, сопровождающийся одновременным усилением волнового излучения и истечением плазмы с поверхнооти Солнца с "вмороженным" в нее магнитным полем, воспринимается на Земле дважды: через 8 мин 12 с как действие электромагнитного фактора, а затем через 4-5 суток, необходимых для преодоления солнечным ветром расстояния между Солнцем и Землей, как действие факторов корпускулярной природы. Структура секторов ММП довольно устойчива и в общих чертах повторяется через 27 дней (синодический период вращения Солнца). Пересечение Землей границ между секторами ММП сопровождается обычно существенным изменением характера протекания многих геофизических явлений.

Перелом в оценке степени влияния солнечной активности на атмосферу, наступивший в последние годы, в некоторой степени обязан иоследованиям, в котсрых ММП учитывается как один из параметров солнечной активности /8/. Не меньшая роль ММП и в решении проблемы влияния солнечной активности на биосферу, причем не только опосредованного через погоду, но и путем прямого воздействия волнового и корпускулярного излучений Солнца на биологические объекты /9-13/.

В работе /11,13/ показано, что в период минимума солнечной актив-

ности (1975 г.) степень выраженности доминирующего психопатологического синдрома[1] (ШС) у больных нервно-психическими расстройствами хорошо коррелирует ($P \leq 0{,}01 - 0{,}001$) с ММП. За два дня до пересечения Землей границ между секторами ММП степень выраженности ШС минимальна, а через два дня после пересечения - максимальна и при положительной полярности ММП выше, чем при отрицательной. Характер связи микропульсаций ГМП типа Pc 2-4 с ММП [14-16] позволил авторам работ [11-13] предположить, что эти микропульсации являются важным экологическим фактором, и временное уменьшение их амплитуды в дневные часы при пересечении Землей границ между секторами ММП (или их полное исчезновение во время некоторых "вспышечных" магнитных бурь, а также внезапных импульсов в ГМП) отрицательно влияет на организм больных с нарушенной системой адаптации.

Существование корреляции между степенью выраженности ШС и границами секторов ММП, впервые полученной в работах [11,13], было подтверждено американским психологом из университета в Миннесоте В.Вендтом [17].

По инициативе астрофизика Д.М.Вилкокса [18], внесшего существенный вклад в исследования структуры магнитного поля Солнца, межпланетной среды и их влияния на Землю, психиатр А.Котт организовал в двух пунктах (Бирмингеме и Фрамингеме) наблюдения, аналогичные описанным в работе [13]. Предварительный анализ этих наблюдений подтвердил указанную выше корреляцию ШС с секторной структурой ММП несмотря на некоторые различия в объектах исследования: в США наблюдались психически больные дети, находившиеся в условиях медикаментозного лечения и нестандартного режима, в Москве под наблюдением находились взрослые нервно-психические больные, прошедшие лечение методом разгрузочно-диетической терапии без применения медикаментов.

В работах [11,13] высказана гипотеза о том, что в некоторых случаях для синхронизации функций различных систем больной организм нуждается в воздействии на него квазисинусоидальных колебаний ЭМП определенной частоты (например, микропульсаций ГМП в диапазоне частот Pc 2-4). Отсутствие таких колебаний в течение некоторого времени может пагубно влиять на организм.

Ниже сравниваются некоторые результаты анализа наблюдений, выполненных нами в клинике диетотерапии Московского научно-исследовательского института психиатрии в 1977 г., с данными наблюдений во Фрамингеме, любезно предоставленными Д.М.Вилкоксом.

В клинике диетотерапии находились под наблюдением в течение года 112 нервно-психических больных, проходивших курс разгрузочно-диетической терапии (мужчин - 57, женщин - 55). Диагноз и доминирующие психопатологические синдромы приведены в табл.6.

---

[1] Степень выраженности доминирующего психопатологического синдрома каждого больного оценивалась по шестибалльной шкале. Отсутствие видимого проявления синдрома оценивалось баллом 0, а отчетливо выраженное проявление его - баллом 5.

Таблица 6

Диагноз	Число больных	Доминирующий ПНС	Число больных
Шизофрения	36	Астено-депрессивный	20
Неврозы	24	Ипохондрический	19
Органическое заболевание ЦНС	23	Фобический	17
		Депрессивный	16
Церебральный атеросклероз с психопатологией	15	Психопатоподобный	15
		Невроз навязчивости	12
Гипертоническая болезнь с психопатологией	14	Истерический	8
		Галлюцинаторный	5

Примечание. Число больных в возрасте до 20 лет - 12, от 20 до 40 - 56, старше 40 - 44.

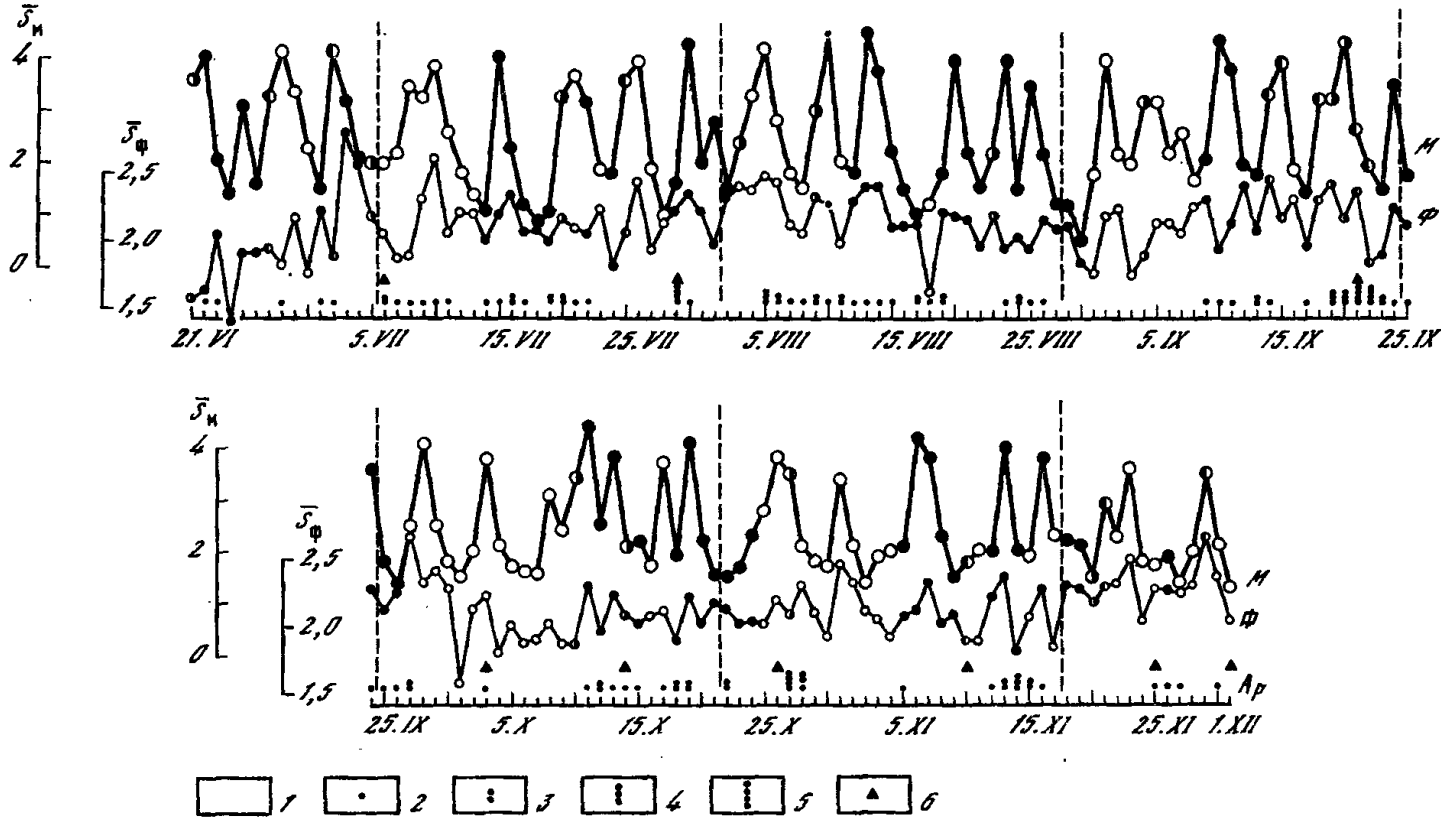
С момента поступления в клинику и до выписки из нее больные не принимали лекарственных препаратов, которые могли бы оказывать влияние на адаптационные системы вообще и психическое состояние в частности.

Исследования высшей нервной деятельности, артериального кровяного давления и частоты пульса проводились ежедневно на трех этапах лечения: до разгрузочно-диетической терапии (в среднем 18 дней), в период лечебного голодания (в среднем 25 дней) и в период восстановительного диетического питания (в среднем 33 дня). В период исследования состав группы больных постепенно обновлялся. Группу покидали больные, закончившие курс лечения, и поступали новые. В среднем в группе находилось одновременно 12-17 больных.

Оценка психического состояния проводилась ежедневно врачом и больным (с сохранной критикой) независимо от врача. Результаты оценок врача и больного сопоставлялись, и выводился средний результат. В итоге получено 8740 отдельных наблюдений. Путем деления суммы индивидуальных оценок на число обследуемых больных вычислялся средний за сутки балл $\bar{S}$ степени выраженности доминирующего ПНС.

Обнаружена отчетливая связь между баллом $\bar{S}$ и секторной структурой ММП, а также геомагнитной активностью (рис.43), что подтверждает результаты ранее проведенных исследований [11, 13]. Однако наблюдались и отклонения от установленных закономерностей, причина которых пока неясна. Так, в 1975 г. балл $\bar{S}$ был заметно выше при положительном направлении ММП, чем при отрицательном, а в 1977 г. этого различия не наблюдалось.

На рис.43 даны значения ($\bar{S}_м$) степени выраженности ПНС, определенные в клинике диетотерапии Московского научно-исследовательского института психиатрии МЗ РСФСР, а также во Фрамингеме ($\bar{S}_ф$) с 21 июня по 1 декабря 1977 г. Над осью времени для каждого дня показаны условными знаками величина планетарного индекса магнитной активности A_p и отмечены дни с внезапным началом магнитной бури.



Р и с. 43. Изменения ППС в клинике диетотерапии в Москве $\bar{S}_м$ и Фрамингеме (США) $\bar{S}_ф$ с 21 июня по 1 декабря 1977 г. при положительном (темные точки) и отрицательном (светлые точки) ММП

1 - 5 - разные значения планетарного индекса магнитной активности A_p (1 - ≤ 18;2 - 20 ÷ 38;3 - 40 ÷ 68;4 - 70 ÷ 118;5 - < 120 нТл); 6 - дни с внезапным началом магнитной бури

Из рис. 43 видно, что колебания $\bar{S}_M$ и $\bar{S}_\Phi$ происходят, как правило, синхронно, как бн под действием общей причины. Однако в отдельных случаях, например 9 - I2 сентября, изменения находятся в противофазе. Кривые на рис. 43 не позволяют однозначно оценить реакцию больных на магнитную бурю с внезапным началом. Например, после бури 29 июля $\bar{S}_M$ и $\bar{S}_\Phi$ резко увеличились, а при аналогичной магнитной ситуации 2I сентября величины $\bar{S}_M$ и $\bar{S}_\Phi$ уменьшились.

На рис. 44, 45 приведены результаты обработки данных A_p, $\bar{S}_\Phi$ и $\bar{S}_M$ методом наложенных эпох относительно границ t_0 секторов ММП. За день до смены полярности ММП с положительной на отрицательную и наоборот $\bar{S}_M$ имеет наименьшее значение в интервале от -7 до -I дня, а $\bar{S}_\Phi$ от -5 до -I. После пересечения Землей границ между секторами ММП наступает резкое увеличение как $\bar{S}_\Phi$, достигающей наибольшей величины в первый день после смены знака ММП с плюса на минус и во второй день после смены знака с минуса на плюс, так и $\bar{S}_M$, достигающей в обоих случаях наибольшей величины во второй день. Вертикальными отрезками на кривых показаны удвоенные отандартные ошибки для отдельных средних значений. Несмотря на невысокую достоверность данных для Фрамингема, коэффициент взаимной корреляции τ между $\bar{S}_M$ ($p<0,00I \div 0,0I$) и $\bar{S}_\Phi$ ($p<0,05 \div 0,2$) получен, хотя и небольшой ($\tau=0,25$), но статистически значимый ($p<0,0I$). Ход его при сдвиге данных от -I5 до +I5 дней показан на рис. 45.

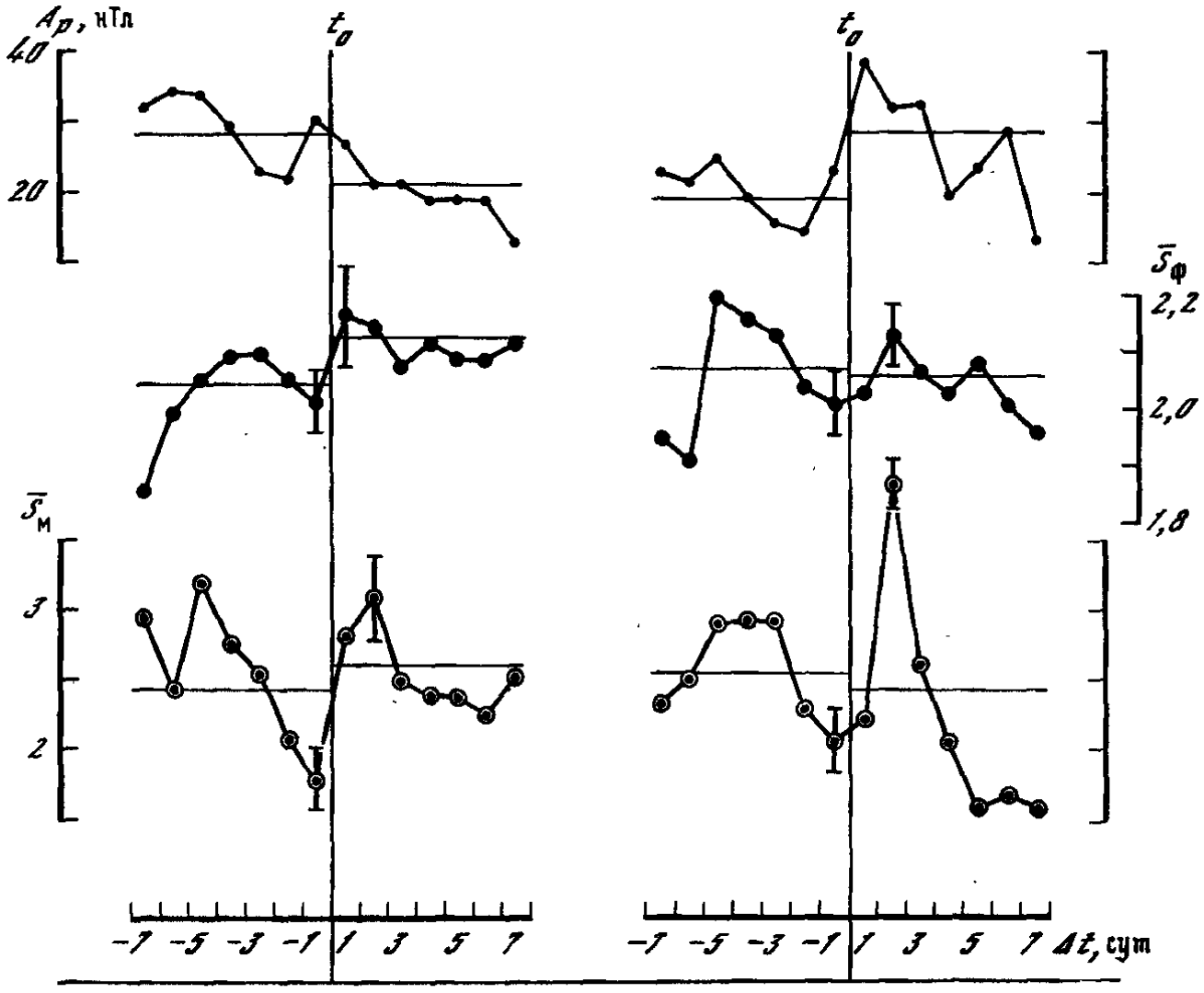
Значения степени выраженности ШПС были получены также по данным Московской городской клинической больницы им. П.П.Кащенко, аналогичный анализ которых дал достоверную значимость ШПС от момента пересечения границ секторов ММП. Для средних величин и разностей между экстремальными значениями в этом случае $p<0,02 \div 0,05$. Эти данные свидетельствуют о том, что эффект влияния перехода Земли из одного сектора ММП в другой менее выражен, если наблюдаемые больные находятся на медикаментозном лечении.

Таким образом анализ результатов исследований показал, что изменение знака ММП оказывает аналогичное действие на нервно-психических больных, разделенных большими расстояниями (Москва - Фрамингем).

Анализ результатов исследования кровяного давления, частоты пульса тех же пациентов приводит к обнаружению аналогичных закономерностей. Измерение кровяного давления и частоты пульса проводились ежедневно в II ч в одних и тех же условиях.

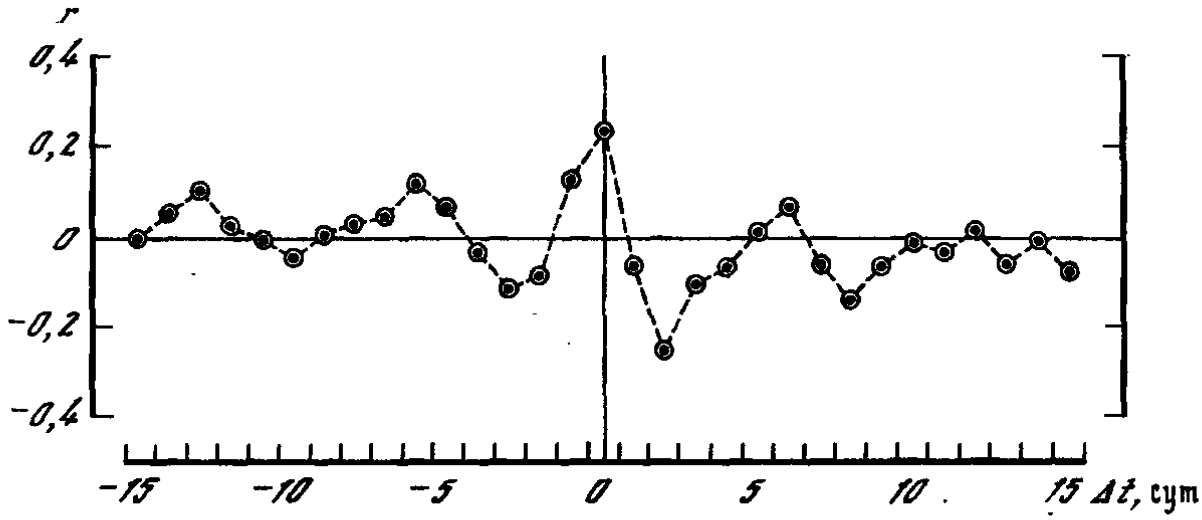
На рис. 46 показана динамика оредних величин артериального давления и частоты пульса группы нервно-поихических больных. Для сравнения представлен также ход степени выраженности ШПС для Москвы ($\bar{S}_M$, кривая 5) и для Фрамигема ($\bar{S}_\Phi$, кривая 6).

Одновременно проводились исследования высшей нервной деятельности по методу тестов. Для этой цели использовали "корректурный" метод А.Г.Иванова-Смоленского и таблицу В.Я.Анфимова /I9/. Испытуемому давался специальный текст с рядами повторяющихся букв и предлагалось вычеркивать одну, две или три определенные буквы. Работа продолжалась 4 мин (сред-

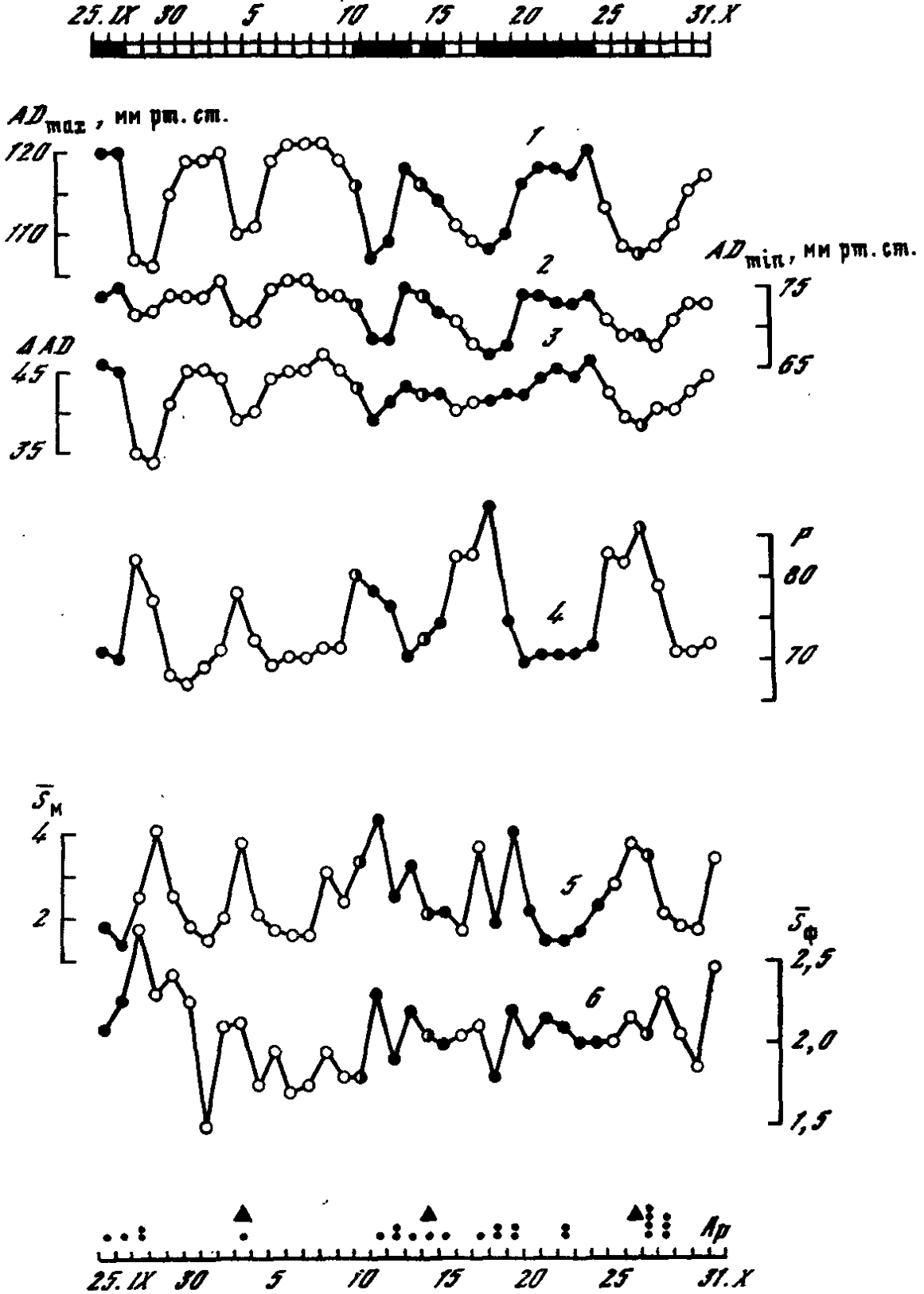


Р и с. 44. Результаты обработки данных по A_p, $\bar{S}_м$ и $\bar{S}_ф$ за период с 21 июня по 1 декабря 1977 г. методом наложенных эпох относительно границ (t_0) секторов ММП в Москве и во Фрамингеме

Слева – смена знака ММП с положительного на отрицательный, справа – наоборот



Р и с. 45. Значения коэффициента r взаимной корреляции данных, полученных в Москве и Фрамингеме (см. рис. 44).



Р и с. 46. Временной ход систолического (I), диастолического (2) артериального кровяного давления, их разности (3), частоты пульса (4), ПИС в клиниках диетотерапии в Москве (5) и во Фрамингеме (6) за период с 25 сентября по 31 октября 1977 г. при положительном (темные точки) и отрицательном (светлые точки) ММП.

Остальные обозначения см. на рис. 43

нее время, необходимое для просмотра таблицы), конец каждой минуты отмечался в таблице по секундомеру. После 5-минутной паузы эксперимент повторялся, при этом от 5 до 10 раз в минуту аритмично в течение 2-3 с давалось звучание сильного электрозвонка (внешнее торможение). Спустя 5 мин паузы после окончания первой части эксперимента испытуемому давалась инструкция вычеркивать, например, букву Х, но если перед ней стоит буква С, то не вычеркивать (внутреннее торможение). После 5-минутной паузы эксперимент повторялся, но с включением экстрараздражителя (звонка). Согласно данным А.Г.Иванова-Смоленского, зачеркивание сходных букв, повышенная реакция на экстрараздражители, несоблюдение заданных инструкций внутренних тормозов (условного тормоза), иногда резкое ускорение работы при введении тормоза (чрезмерная положительная индукция) свидетельствовали о преобладании раздражительного процесса. Медленная работа, большая отрицательная индукция, ясно выраженное последовательное торможение, резкое уменьшение объема работы за единицу времени с увеличением пропускаемых букв свидетельствовали о преобладании тормозного процесса.

Анализ показал, что в первый день после смены полярности секторов ММП независимо от последовательности смены знака число проверенных строк по таблице Анфимова за одинаковые промежутки времени (4 мин.) почти не отличается от числа проверенных отрок в предыдущие дни, однако резко, с высокой достоверноотью ($P < 0{,}001$) увеличивается чиоло ошибок, указывающих на роот раздражительности. На второй-третий день после смены полярности секторов ММП наблюдается достоверное ($P < 0{,}05$) уменьшение числа проверенных строк, значительное уменьшение ($P < 0{,}001$) числа ошибок, соответствующих состоянию раздражения, и достоверное ($P < 0{,}001$) увеличение числа ошибок, указывающих на преобладание тормозного процесса. В опытах с экстрараздражителями эти особенности возрастают.

Отличительной особенноотью результатов исследования корректурным методом является тот факт, что если число ошибок, свидетельствующих о преобладании раздражительного процесса, резко (критически) падает на второй день носле смены знака полярности секторов ММП, то уменьшение числа ошибок, свидетельствующих о преобладании тормозного процесса, происходит постепенно (литически) в течение 2-3 дней. Только опустя 3-4 дня после смены полярности секторов ММП наблюдается увеличение числа проверяемых строк и значительное уменьшение (а в некоторых случаях полное исчезновение) ошибок как раздражительного, так и тормозного характера. Эти ооо-бенности, наблюдающиеся при смене знака полярности секторов ММП, четко коррелируют со степенью выраженности ПМС и носят закономерный характер. Особенно наглядными они становятся, если данные, приведенные на рис.46, обработать методом наложенных эпох относительно границ секторов ММП.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что по крайней мере один из важных экологических факторов должен коррелировать с границами секторов ММП. Такая корреляция известна для микропульсаций ГМП типа Рс 2-4. У границ секторов, так же как во время некоторых вспышечных магнитных бурь и внезапных импульсов ГМП микропульсации либо исчезают, либо амплитуды их ощественно уменьшаются.

Таким образом, результаты наблюдений свидетельствуют о том, что ослабление действия на организм некоторых внешних факторов электромагнитной природы, какими являются микропульсации ГМП в диапазоне частот Pc 2-4, может приводить к усилению нервно-психических расстройств и нарушению высшей нервной деятельности у людей с нарушенной системой адаптации.

Преобладание раздражительного процесса в первые дни после смены полярности секторов ММП можно объяснить исчезновением микропульсаций ГМП типа Pc 2-4, которые могут выполнять роль пейсмекера, в результате чего наблюдается десинхронизация работы различных систем организма. Смену раздражительного процесса тормозным можно расценивать как адаптацию организма, направленную на экономичное использование психоэнергетического потенциала, выражающегося охранительным торможением коры головного мозга. Только после периода адаптации (3-4 дня) к изменившимся условиям (смена полярности) может восстанавливаться равновесие основных нервных процессов, которое выражается в повышении у нервно-психически больных продуктивности работы ЦНС и нормализации психической деятельности.

Литература

I. Wilcox J.M., Ness N.F. Quasi-Stacionary corotating in the interplanetary medium.-J.Geophys. Res., 1965, vol.70, p.5793-5808.

2. Мансуров С.М., Мансурова Л.Г. Некоторые особенности геомагнитных вариаций в полярных областях. - Геомагнетизм и аэрономия, 1965, т.5, № 4, с.740-744.

3. Mansurov S.M., Mansurova L.G. The relationship between the magnetic fields in space and at the Earth's surface.-Ann.geophys., 1970, vol. 26, p. 397-399.

4. Svalgaard L. Interplanetary magnetic sector structure 1926-1971.- J.Geophys. Res., 1972, vol. 77, p. 4027-4034.

5. Мустель Э.Р. Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.:Гидрометеоиздат, 1974, 484 с.

6. Possible relationships between solar activity and meteorological phenomena: NASA SP-366/Ed.Bandeen W.R., Maran S.P. Wash.: D.G.,1975. 263 p.

7. COSPAR, twenty first plenary meeting:Program-abstracts. 1978. 500 p.

8. Витинский Ю.И., Оль А.И., Сазонов Б.И. Солнце и атмосфера Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 352 с.

9. Ачкасова Ю.Н., Бобова В.П., Бризгунова Н.И., Владимирский Б.М. Секторная структура межпланетного магнитного поля и размножение бактерий в лабораторном эксперименте. - Солнечные данные, 1978, № I, с.99-102.

I0. Виноградова Л.И., Кордюков Э.В., Мансуров С.М., Мансурова Л.Г. Полярность секторов межпланетного магнитного поля и частота возникновения вегетативно-сосудистых пароксизмов при нарушении деятельности гипоталамических структур мозга. - В кн.: Физико-математические и

биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.:Наука, 1975, т.2, с.59-67.

11. Николаев Ю.С., Рудаков Я.Я., Мансуров С.М., Мансурова Л.Г. Секторная отруктура межпланетного магнитного поля и нарушения деятельности центральной нервной системы. - В кн.:Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43,с.51-59.

12. Портнов А.А., Рудаков Я.Я., Полищук Ю.И., Мансуров С.М., Мансурова Л.Г. Изменения высшей нервной деятельности у больных с нервно-психическими заболеваниями и секторная структура межпланетного магнитного поля. - В кн.: Актуальные вопросы магнитобиологии: Ма́тер.2-го межвузовского семинара. Симферополь, 1979, с.49-50.

13. Nikolaev J.S., Rudakov Ja.Ja., Mansurov S.M., Mansurova L.G. Interplanetary magnetic field sector structure and some distysanges of the central nervous system activity.-In: Seventh intern. interdisciplinary circle res. symp. Bad Homburg (Near Frankfurt), 1976, 27 June-3July, p.33.

14. Большакова О.В., Троицкая В.А. Связь направления межпланетного магнитного поля с режимом устойчивых колебаний. - Докл.АН СССР, 1968, № 2, с.343-346.

15. Городничева О.П., Микерина Н.В., Троицкая В.А., Иванов К.Г. Первые сопоставления геомагнитных пульсаций с типичной гидромагнитной структурой межпланетных потоков от мощных вспышек. - В кн.:Солнечный ветер и геомагнитные возмущения. М.:ИЗМИРАН СССР, 1975, с.25-45.

16. Троицкая В.А., Щепетнов Р.В., Гульельми А.В. Эффект внезапного прекращения геомагнитных пульсаций типа Pc 2-4. - Геомагнетизм и аэрономия, 1969, т.9, № 2, с.363-366.

17. Wendt H.W. Interplanetary magnetic field (JMF) sector polarity and neuropsychiatric adaptation eindrom: A reanalysis Minnesota. Acad. of Scien.-In:46th Annu. Meet. chronobiology, 1978. 20 p.

18. Wilcox J.M. The interplanetary magnetic field: Solar origin and terrestrial effects.-Space Sci. Revs, 1968, vol.8, p. 258-328.

19. Иванов-Смоленский А.Г. Методика исследования уловных рефлексов у человека (ребенка и взрослого, здорового и больного). Л.:Практическая медицина, 1928, 114 с.

I.3. Влияние гелиогеофизических факторов на сердечно-сосудистую и легочную патологию

Вопросу о влиянии климата, погоды, а также слагающих их метеорологических элементов на биосферу, в том числе на больного и здорового человека, посвящена обширная отечественная и зарубежная литература /I-6/. Однако, несмотря на огромное число работ, представления о биологической значимости исследуемых процессов еще недостаточно ясны. В современной медицине центральной проблемой до настоящего времени остается патология

сердечно-сосудистой системы, так как именно эти заболевания занимают печальное первенство в структуре заболеваемости и смертности населения, составляя 30-50% от всего числа заболевших и умерших [7-9]. Статистические данные Всемирной организации здравоохранения отражают тенденцию к нарастанию заболеваемости атеросклерозом, являющимся основой для развития наиболее грозной патологии сердца и сосудов - инфаркта миокарда, тромбозов и эмболий [10].

В последние десятилетия в структуре заболеваемости как в нашей стране, так и за рубежом значительное место начали занимать неспецифические заболевания органов дыхания. Еще на ранних этапах развития медицины было замечено, что при изменениях погоды наблюдается ухудшение состояния больных хроническими заболеваниями органов дыхания и кровообращения. Накопилось большое число работ, авторы которых пытались объяснить такое ухудшение состояния снижением атмосферного давления [11-14] или его "осцилляционными" колебаниями [1,15]. В последнее время появились высказывания о патологическом влиянии снижения масоового содержания кислорода при изменении атмосферного давления [15].

Ряд авторов в качестве "биотропного" фактора называет одновременное повышение влажности и атмосферного давления [16-18]; повышение температуры воздуха с одновременным падением атмосферного давления [19]; совместное воздействие низкого давления, большой влажности и сильного ветра [20,21].

Разноречивость полученных данных привела исследователей к выводу о том, что, по-видимому, единого биотропного фактора, вызывающего рост заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистой и легочной патологии либо обострение их хронического течения,не существует. Считается, что воздействие внешних факторов на живые организмы происходит через комплексное влияние погоды в целом [1-3,22,23]. Однако и этот вывод не объясняет ухудшение соотояния многих больных еще до наступления выраженных изменений метеорологических факторов.

В то же время известно, что грозы, фронтальная активность приводят к значительному и резкому изменению напряженности электрического поля атмосферы. Изменения напряженности ЭМП атмосферы наблюдаются задолго до изменения погоды. Можно предположить, что реакции больных являются результатом воздействия ЭМП низкой частоты и напряженности.

Экспериментальные исследования [24-27] показали, что ЭМП, адекватные природным, приводят к выраженным изменениям в живых системах. Клинические наблюдения [7,8,15,17,20,28-33] выявили наличие корреляции между частотой развития сердечно-сосудистой патологии и изменениями природных ЭМП.

В Ялтинском НИИ физических методов лечения и медицинской климатологии им.И.М.Сеченова более 10 лет проводятся исследования по выявлению влияния изменений гелиогеофизических факторов - импульсного электромагнитного поля (ИЭМП) атмосферы,геомагнитного поля,солнечной актив-

ности - на состояние лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями и с патологией органов дыхания специфической и неспецифической этиологии.

Под наблюдением находилось более 5 тысяч больных гипертонической болезнью, коронарным и церебральным атеросклерозом, постинфарктным кардиосклерозом, хроническими неспецифическими заболеваниями легких, (ХНЗЛ), туберкулезом легких. Уотановлено, что между ухудшением общего состояния больных - появлением головных болей, кардиалгий, развитием одышки, легочных кровотечений и кровохарканий - и активностью указанных выше гелиогеофизических факторов имеется определенная связь. Частота отрицательных реакций возрастала при усилении активности ИЭМП, при увеличении межсуточной изменчивости ГМП, повышении значений чисел Вольфа /34-36/.

В последние годы у больных с указанной патологией помимо общеклинического наблюдения ежедневно регистрировалась ЭКГ, измерялось артериальное давление и частота пульса, определялось комплексное сопротивление кожи (электродерматометрия) в зонах Захарьина-Геда, жизненная емкость легких (ЖЕЛ), проводилась пневмотахометрия (ПТХМ).

В качестве показателя солнечной активности использовались числа Вольфа, а для срочной информации - данные о радиоизлучении Солнца на частоте 3100 МГц (получаемые ежедневно из Симеизского филиала Крымской астрофизической обсерватории АН СССР). ГМП и его изменения регистрировались магнитсметрической станцией, установленной Институтом физики Земли АН СССР. Изменения ИЭМП регистрировались анализатором амплитудного спектра в интервале напряженности поля от 0,01 до 1,0 В/м на частоте 10 кГц и интегральной полосе пропускания фильтров 500 Гц.

С 1970 до 1975 г. под наблюдением в клинических отделениях Ялтинского НИИ им.И.М.Сеченова нахсдилось 1942 больных (445 - гипертонической болезнью, 815 - церебральным атеросклерозом, 582 - ишемической болезнью сердца и 300 больных ХНЗЛ). Большинство исследованных составляли мужчины (63%) в возрасте более 41 года (84,1%).

Установлено, что в день увеличения СА (числа Вольфа больше среднего значения для данного месяца на 25% и более) наблюдается статистически достоверное ($P < 0,02$) увеличение числа случаев ухудшения состояния больных гипертонической болезнью, характеризуемое ростом числа жалоб, увеличением диастолического давления от 4,2 до 5,6 отн.%, а систолического - от 1,3 до 2,6 отн.%. В то же время у больных церебральным атеросклерозом в эти же дни обнаруживалась тенденция к снижению отрицательных реакций.

В дни с резким усилением радиоизлучения Солнца анализ данных клинического наблюдения показал незначительное увеличение числа субъективных отрицательных реакций ($P > 0,05$) при некотором снижении процента случаев повышения артериального давления у больных гипертонической болезнью. Методом наложенных эпох выявить зависимость изменений состояния больных ишемической болезнью сердца и церебральным атеросклерозом от интенсивности радиоизлучения Солнца не удалось.

Для оценки биологических эффектов СА, опосредованных через изменения активности ГМП, было проведено условное ранжирование степени изменчивости горизонтальной составляющей ГМП по трехбалльной шкале : малая степень (суточная амплитуда $H_{сут} < 50$ нТл), средняя ($H_{сут} = 50 \div 99$ нТл), большая ($H_{сут} < 100$ нТл). Сопоставление клинического материала с данными об изменчивости ГМП и ИЭМП атмосферы показало следующее: субъективные симптомы ухудшения состояния больных сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также учащение случаев повышения артериального давления и обнаружения признаков ухудшения коронарного кровообращения (депрессия сегмента S-Т; снижение в ряде отведений вольтажа зубца Т; появление или усугубление отрицательного Т; усиление признаков $T_{V1} > T_{V6}$ и $T_{III} > T_{I}$) на ЭКГ чаще появлялись при резких межсуточных изменениях амплитуды ГМП, а также при усилении активности ИЭМП напряженностью от 0,1 до 1,0 В/м ($P < 0,05$). Особенно рельефно эта связь наблюдалась в дни близких гроз ($P < 0,02$). Полученные данные послужили основой для издания методических рекомендаций по профилактике отрицательных метеопатологических реакций [37].

Однако на изменение геофизических факторов среды реагируют не только лица с патологией сердечно-сосудистой системы. Усиление активности ИЭМП, увеличение межсуточной напряженности ГМП (особенно при резком увеличении амплитуды горизонтальной составляющей на 50 нТл/сут и более) сопровождаются снижением показателей ЖЕЛ и пневмотахометрии, уменьшением систолического давления у больных ХНЗЛ. Через 2 дня после геомагнитного возмущения в крови этих больных отмечено повышение содержания гепарина ($\chi^2 = 4,91$; $P < 0,05$) и рост фибринолитической активности. У больных туберкулезом легких уотановлено статистически высокодостоверное учащение случаев профузных легочных кровотечений со смертельным исходом после возмущений ГМП и резкое учащение (на 44%, $P < 0,05$) кровохарканий при увеличении активности ИЭМП [34].

Таким образом, изменения геофизических факторов (ГМП, ИЭМП) сопровождаются реакциями больных с различной патологией. Однако детальный анализ клинических данных показывает, что у одних исследованных лиц (вне зависимости от специфики заболевания) реакции на изменение электромагнитных полей наступают после повышения геоактивности, в то время как у других больных они возникают в день возмущения или за 1-2 дня до него. Кроме того, есть лица, имеющие патологию органов кровообращения или дыхания, которые не реагируют на изменение метеорологических факторов или ЭМП. Причиной этому, по-видимому, служат индивидуальные различия адаптационных возможноотей организма.

Естественно предположить, что человеческий организм в процессе эволюции выработал, вероятно, способность воспринимать информацию о приближающихся изменениях внешней среды (в данном случае погоды). Таким информационным сигналом может служить изменение ЭМП. Но если в организме системы поддержания гомеостаза наличием хронической патологии уже напряжены и адаптационные резервы исчерпаны, то в ответ на физиологически обусловленные изменения погоды развивается парадоксальная

реакция, которую мы воспринимаем как ухудшение состояния и называем метеопатологической.

При справедливости такого допущения механизм развития отрицательных реакций на изменение метео- и геофизических факторов можно представить следующим образом: здоровые лица и больные в начальной стадии нарушения адаптационных реервов реагируют на изменение факторов среды (в том числе и ЭМП) в день возмущения, но эта реакция обычно клинически бессимптомна. У больных оо значительно сниженными адаптационными возможностями возникают клинически выраженные патологические реакции после возмущения. И, наконец, реакция лиц, у которых система адаптации находится в стадии активации или возбуждения, наступает до значительных изменений факторов внешней среды; клинически четкая реакция возникает даже на слабый сигнал - предвестник предстоящих изменений погоды.

Так как организмы адаптируются к изменениям факторов среды через перестройку биоритмов, а ГМП может быть синхронизатором этих ритмов /38/, была сделана попытка выявить роль изменений активности ГМП в функциональном состоянии больных ХНЗЛ в период их курортного лечения. Для этого в 7,II,I5,I9 и 23 ч определялись частоты пульса и дыхания, величины артериального давления, жизненной емкости легких, мощности вдоха и выдоха, температура кожи и тела. Выяснилось, что в дни геомагнитных возмущений наблюдается сдвиг акрофазы частоты дыхания на 3 ч в сторону опережения. Максимальные значения ЖЕЛ наблюдается в 7 и I9 ч с тенденцией к снижению в ночное время, когда индекс $C_p \leqslant 0{,}5$. Возмущенное ГМП ($C_p \geqslant I{,}I$) приводит к изменениям ритма: ЖЕЛ увеличивается в II и I5 ч с незначительными снижениями в I9 и 23 ч. Акрофаза ПТХМ выдоха в дни активности смещается с II на I5 ч , а на вдохе отмечается достоверное его снижение ($P < 0{,}05$) по суммарным срокам наблюдения.

Таким образом, результаты наблюдений за больными с различной патологией сердечно-сосудистой и дыхательной систем в период их пребывания на климатическом курорте позволяют сделать заключение о преимущественно опосредованном через изменения ЭМП влиянии солнечной активности на состояние больных. При возмущении ГМП и повышении интенсивности ИЭМП у больных с исчерпанными адаптационными резервами наблюдаются извращения ритмических изменений физиолсгических функций, патологические изменения функциональных показателей, развиваются различные отрицательные реакции. В этой связи актуальной задачей является построение системы мероприятий по профилактике патологических реакций, для чего необходим общедоступный медицинский прогноз погоды, составным элементом которсго должна служить информация об изменениях ЭМП.

Литература

I. Воронин Н.М. Основы медицинской и биологической климатологии. М.: Медицина, I98I, 352 с.
2. Мезерницкий П.Г. Медицинская метесрология. Ялта, I937.

3. Асоман Д. Чувствительность человека к погоде: Перевод с нем. Л.: Гидрометеоиздат, 1966, 247 с.
4. Бобек К., Матоушек Ю., Барцал Р. Роль метеорологического фактора в патогенезе инфаркта миокарда. - В кн.: Вопросы климатопатологии в клинике сердечно-сосудистых заболеваний. М.: Медгиз, 1961, с.65-73.
5. Сарджент Ф., Захарко Д. Медико-метеорологические прогнозы - практическое приложение основных биоклиматологических понятий. - В кн.: Биометеорология: Избр.тр. II междунар.биоклиматологического конгресса (Лондон,1960). Л.: Гидрометеоиздат, 1965, с.127-144.
6. Тромп С.В., Боума Я. Влияние погоды и климата на основные метеотропные болезни человека в северных странах. - В кн.: Научно-технический прогресс и приполярная медицина. Новосибирск: СО АН СССР, 1978, т.1, с.103.
7. Рывкин Б.А. Солнечно-земные связи при сердечно-сосудистых заболеваниях. - В кн.; Солнечная активность и жизнь. Рига: Зинатне, 1967, с.107-111.
8. Славова Ц.Н. Влияние метеорологических, синоптических и гелиогеофизических факторов на смертность от инфаркта миокарда и мозгового инсульта: Автореф. дис....канд.мед.наук. М.: ЦНИИКиФ, 1971. 21 с.
9. Лукомский П.Е. Патогенез инфаркта миокарда. - Кардиология, 1974, т.1, с.5-13.
10. Виноградов А.В., Вихерт А.М., Дорофеева З.З., Чазов Е.И. Инфаркт миокарда. М.: Медгиз, 1971, 190 с.
11. Лизунова М.И., Ступницкий А.А., Степанов А.С. Влияние метеорологических факторов на больных гипертонической болезнью и атеросклерозом в условиях климата Куйбышевской области. - В кн. Вопросы климатотерапии в клинике сердечно-сосудистых заболеваний. М.: Медгиз, 1961, с.73-78.
12. Барац С.С., Шушаков А.П. О влиянии метеорологических факторов на течение гипертонической болезни и коронарной недостаточности. - Терапевтический архив, 1957, т.29, № 5, с.94-95.
13. Орбели Л.А. Лекции по физиологии нервной системы. М.: Биомедгиз, 1934. 226 с.
14. Панченко Д.И. Истощаемость адаптационных резервов под влиянием атмосферных колебаний. - В кн.: Вопросы сосудистых заболеваний нервной системы. Киев: Здоров'я, 1966, с.5-9.
15. Овчарова В.Ф., Бутьева И.В. и др. Специализированный прогноз погоды для медицинских целей и профилактика метеопатических реакций. - Вопр.курортологии, физиотерапии и лечеб.физ.культуры, 1974, т.2, с.109-119.
16. Поркшеян О.Х., Плисский С.М. Зависимость скоропостижной смерти от атерооклероза и гипертонической болезни от комплекса метеорологических факторов (погоды). - Тр.ЛенГИДУВ, 1967, вып.50, 1967, с.18-21.

I7. Гневышев М.Н. Солнечная радиация и ее воздействие на биосферу Земли. - В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, I969, с.237-239.
I8. Пожарская В.В. Динамика внутренних заболеваний в зависимоти от изменений погоды и реактивности организма. - В кн.: Вопросы реактивности организма при внутренних заболеваниях. М.;Л., I956, с.25I-293.
I9. Голиков П.П. Времена года, организм и лечение. Владивосток, I968, 2I5 с.
20. Данишевский Г.М., Юраж В.Я. Некоторые особенности течения гипертонической болезни и коронарной недостаточности в различных физико-географических зонах Советского Союза. - В кн.: Третье научное совещание по проблемам медицинской географии. Л.: Географ.об-во АН СССР, I968, с.45-48.
2I. Афанасьева В.Д. О связи инфаркта миокарда с метеорологическими факторами. - Сов.медицина, I957, т.5, с.II5-II7.
22. Воейков А.И. Задачи исследования климатов в целях медицины и гигиены. - В кн.: Мезерницкий П.Г. Физиотерапия. Пг., I9I6, т.I, с.I54-I58.
23. Воронин Н.М., Мясников К.Е., Феддер Ф.В. и др. К вопросу о механизмах метеотропных реакций. - В кн.: Климат и сердечно-сосудистая патология. Л.: Медицина, I965, с.I7-23.
24. Волынский А.М. Изменение сердечной деятельнооти и электрической активнооти коры головного мозга у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты и малой напряженности. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, I973, с.7-I3.
25. Владимирский Б.М., Волынский А.М. и др. Материалы исследования действия электромагнитных полей низкой частсты на различные системы организма животных и микроорганизмы. - В кн.: Курортное лечение больных. Киев, I970, с.327-329.
26. Холодов Ю.А. Магнетизм в биологии. М.: Наука, I970, 96 с.
27. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, I968, 288 с.
28. Ахмеджанов М.Ю., Полякова Р.Н., Колосова С.Н. Влияние метеорологических факторов и сезонов года на частоту возникновения острых сердечно-сосудистых расстройств. - Вопр.курортологии, физиотерапии и лечеб.физ.культеры, I962, т.2, с.I09-III.
29. Ажицкий Ю.А. Некоторые данные о реактивности организма больных, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, в зависимости от гелисгеофизических условий. - В кн.: Матер.Всесоюз.науч.-техн. симпоэ. "Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха". М.: Наука, I975, с.72-74.

30. Новикова К.Ф., Токарева Н.В., Гневышев М.Н., Оль А.И. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. -В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс: НИИ экспер. и клинической медицины МЗ Лит. ССР, 1969, с.242-244.
31. Ермолаев Г.Т. К вопросу о роли симпато-адреналовой системы в механизме возникновения метеопатологических реакций у больных гипертонической болезнью. -В кн.: Вопросы курортологии. Рига, 1970, с.55-57.
32. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, 175 с.
33. Сердюк А.М. Взаимодействие организма с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды. Киев: Наук.думка, 1977, 226 с.
34. Навроцкий В.В., Латышев Г.Д., Тархова Н.В. Влияние факторов внешней среды на частоту возникновения легочных кровотечений, кровохарканий и некоторые показатели свертывающей системы крови у больных деструктивными формами туберкулеза легких. - В кн.: Система свертывания крови и фибринолиз. Саратов, 1975, с.291-293.
35. Пяткин В.П., Ажицкий Ю.А., Бароуков О.М. и др. Состояние свертывающей системы крови у больных хронической пневмонией и активность геомагнитного поля. - Там же, с.297-298.
36. Пяткин В.П. Место профилактики метеопатических реакций в реабилитации больных сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями. - В кн.: Физические факторы в реабилитации больных неспецифическими легочными и сердечно-сосудистыми заболеваниями. Ялта, 1978, с.16-18.
37. Предупреждение метеопатологических реакций у больных сердечно-сосудистыми заболеваниями (методические указания). Ялта, 1971, 20 с.
38. Браун Ф. Геофизические факторы и проблема биологических часов. - В кн.: Биологические часы. М.: Мир, 1964, с.103-125.

I.4. О прогнозировании частоты осложнений сердечно-сосудистых заболеваний

Изучение влияния гелиогеофизических факторов на физиологические функции человека /1/ много лет привлекает внимание ученых различных специальностей. В работах /2,3/ на большом статистическом материале были установлены связи между увеличением числа случаев скоропостижных смертей, развитием инфарктов миокарда и магнитными бурями /2/. По данным /4/ наибольшее число гипертонических кризов приходится на день возмущения МП и первый день после него (38,5 и 37,2% соответственно).

В многочисленных отечественных работах отмечено влияние гелиогеофизических факторов на клеточный соотав, свертывающую оистему крови, сосудистый тонус. Литературные данные овидетельствуют о большой чувствительности кроветворного аппарата, форменных элементов крови, свер-

тывающей системы к воздействию МП /5-8/. В экспериментах /9,10/ установлено влияние МП низкой частоты и малой напряженности на функциональное состояние и трофику миокарда, приводящее к развитию выраженных дистрофических изменений при инфаркте миокарда в пограничной зоне и расширению зоны некроза. При действии импульсного МП в миокарде экспериментальных животных развиваются острые расстройства кровообращения и возникают значительные ультраструктурные и структурные изменения на тканевом, клеточном и субклеточном уровнях.

В работах /11-14/ показан рост числа осложнений инфаркта миокарда при развитии заболевания в "неблагоприятные" по гелиогеофизическим и метеорологическим характеристикам дни (большие магнитные бури, высокая солнечная активность, перепады атмосферного давления). В исследованиях /15/, в частности, изучалось влияние напряженности ГМП на возникновение основных осложнений острого инфаркта миокарда в течение суток. Частота этих осложнений повышалась как при увеличении, так и при выраженном снижении значения этого фактора. Авторы /15/ приходят к выводу о невозможности профилактических мероприятий среди сердечно-сосудистых больных, основываясь на следующих положениях: трудности выявления конкретных больных, которым грозит развитие сердечно-сосудистой катастрофы, опасность возникновения стрессорных ситуаций от самого факта оповещения об угрозе возможного влияния изучаемых параметров внешней среды на организм. Совместная работа врачей и геофизиков /15/ была направлена на поиск гелиогеофизических факторов, оказывающих отрицательное воздействие на больных с нарушением нервной и психической деятельности.

Задачи исследований связи состояния живого организма с внешними факторами физического характера можно разделить на две группы. Задачи первой группы - выявление функциональных взаимосвязей между числом осложнений сердечно-сосудистых заболеваний (или параметрами гемодинамики) и внешними физическими факторами. В этих задачах для формулировки и проверки гипотез о наличии функциональной взаимосвязи или ее характера используются статистические методы. Задачи второй группы - прогноз числа неблагоприятных случаев или значений соответствующих параметров.

В настоящей работе рассматривается вопрос о возможности прогнозирования частоты осложнений сердечно-сосудистых заболеваний.

Пусть имеется интервал времени $[t_1, t_2]$, в течение которого произошло N событий. Тогда эмпирическая частота осложнений ℓ определяется формулой

$$\ell(t_2, t_1) = N/(t_2 - t_1) \quad . \qquad (1)$$

Величины N являются случайными. Среднее значение ℓ определяется соотношением

$$\bar{\ell} = E\ell = EN/(t_2 - t_1) \quad ,$$

где E означает операцию взятия математического ожидания по множеству

значений N. Частота осложнений в момент времени t определяется как предельное выражение

$$\bar{l}_t = \lim_{t_1 \to t} \bar{l} = \lim \frac{EN}{t - t_1} \quad . \qquad (2)$$

Средняя эмпирическая частота осложнений для нескольких интервалов времени определяется формулой

$$L = \frac{l_1 |T_1| + l_2 |T_2| + \ldots + l_k |T_k|}{|T_1| + |T_2| + \ldots + |T_k|} = \frac{N_1 + N_2 + \ldots + N_k}{|T_1| + |T_2| + \ldots |T_k|} \quad , \qquad (3)$$

где $N_1, N_2, \ldots, N_k$ – числа событий на соответствующих непересекающихся интервалах времени $T_1 = [t_0, t_1]$, $T_2 = [t_1, t_2], \ldots, T_k = [t_{k-1}, t_k]$.

Используя введенные понятия, можно поставить задачу прогнозирования. Пусть имеется последовательность значений эмпирической частоты осложнений

$$l_1, l_2, l_3, \ldots, l_n \quad , \qquad (4)$$

соответствующая последовательности интервалов $T_1, T_2, \ldots, T_n$, и задан интервал $[t_0, t]$, где $t > t_n$. Необходимо предсказать значение частоты осложнений $\bar{l}_t$ в момент t.

Поскольку значения $\bar{l}_t$ определяются на основе конечного числа данных наблюдений, предсказание осуществляется с некоторой ошибкой. Поэтому необходимо также оценить точность прогноза, т.е. с заданной вероятностью определить нижнюю и верхнюю границы $[\bar{l}_t^{\,н}, \bar{l}_t^{\,в}]$, в которых заключено истинное оцениваемое значение.

Формально эта задача может быть решена путем статистического анализа последовательности (4) значений эмпирической частоты l. Однако более эффективным является подход, связанный с использованием информации о влиянии на частоту осложнений внешних физических факторов (при этом статистический анализ последовательности (4) является предварительным этапом).

Проблему можно определить следующим образом. Имеются m физических факторов, которые могут быть представлены как переменные $x_1(t)$, $x_2(t)$, $\ldots, x_m(t)$, меняющиеся со временем. Частота $\bar{l}$ является функцией от этих переменных:

$$\bar{l} = F[x_1(t), \; x_2(t), \ldots, \; x_m(t), \; t] \quad . \qquad (5)$$

В этих условиях исходные данные представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} l_1 &= F[x_{11}(t), \; x_{21}(t), \ldots, \; x_{m_1}(t), \; t] + \varepsilon_1 \quad , \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ l_n &= F[x_{1n}(t), \; x_{2n}(t), \ldots, \; x_{mn}(t), \; t] + \varepsilon_n \quad , \end{aligned} \qquad (6)$$

где $x_{ij}(t)$ – некоторое значение (например, среднее) функции $x_i(t)$

в интервале (t_{j-1}, t_j); ε_i $(i = 1, \ldots, n)$ – случайные величины, такие, что

$$E\varepsilon_i = 0, \quad E\varepsilon_i \varepsilon_j = 0 \quad \text{при } i \neq j, E\varepsilon_i^2 = \sigma^2 \text{ для всех } i . \qquad (7)$$

Величины $x_1(t_1), \ldots, x_m(t)$ могут рассматриваться либо как отдельные реализации соответствующих случайных процессов, либо как некоторые характеристики по множеству реализаций. В первом случае F представляет собой обычную функциональную зависимость, во втором – функционал, определенный на множестве реализаций случайного процесса. Эти случаи используются для постановки задач краткосрочного и долгосрочного прогнозирования соответственно. Величины ε_i отражают влияние случайных некотролируемых факторов "шумового" характера.

Основная идея использования соотношений (5) заключается в следующем. Если вид зависимости F известен, то, зная предыдущие значения величин x_i, можно достаточно точно предсказать будущие значения $\bar{\ell}$ При этом прогноз не будет абсолютно точным ввиду присутствия величин ε_i, но, зная дисперсию σ^2 этих величин, можно оценить точность прогноза.

На практике вид зависимости F не бывает известен точно. Кроме того, конкретный выбор факторов $x_1(t), \ldots, x_m(t)$ представляет определенные трудности. Зависимость (5) определяется в два этапа: 1) отбор факторов, 2) отыскание подходящей аппроксимации для F. Первый из них гораздо более трудоемкий.

Рассмотрим проблемы, возникающие при отборе факторов $x_1(t), \ldots, x_m(t)$, входящих в соотношение (5). Прежде всего необходимо установить принципы отбора этих факторов. Очевидно, количество факторов, так или иначе влияющих на величину частоты осложнений сердечно-сосудистых заболеваний, не поддается учету. Это положение сохраняется, даже если искать факторы, связанные с частотой осложнений не причинно-следственной, а статистической зависимостью. К счастью, для решения задачи прогноза нет необходимости искать все такие факторы: достаточно найти такое число их, чтобы после подбора подходящей аппроксимации вида зависимости F "остаточные" величины ε_i обладали свойствами (7). Использование этого критерия исключительно важно, поскольку задача сразу приобретает конструктивный, "конечный" характер.

Имеется, по-видимому, еще одно обстоятельство, которое значительно облегчает решение задачи. Можно ожидать, что некоторые факторы, статистически связанные с частотой осложнений, статистически связаны и между собой. В то же время другие "информативные" факторы статистически независимы (или слабо зависимы). Ясно, что отбор факторов будет наиболее эффективным (в отношении точности прогноза) или экономичным (в смысле числа отобранных факторов), если будут отбираться только статистически независимые или слабо зависимые факторы.

Из изложенного вытекает следующая простая процедура отбора информативных факторов. После предварительного анализа исходных данных вы-

бирается некоторый фактор, который по предположению может быть статистически связан с частотой осложнений и подвергается предварительному статистическому анализу. Исследуется статистическая связь между частотой осложнений и исследуемым фактором; если связь обнаруживается, то фактор включается в список используемых для прогнозирования факторов, выбирается второй фактор, который подвергается предварительному статиотическому анализу и исследуется наличие статистической связи между этим фактором и выбранным ранее; если имеетоя значимая связь, то исследуемый фактор исключается, если же значимой овязи между факторами нет, то анализ статистической связи повторяется.

Аналогично поступают с каждым исследуемым фактором. При этом исследуется статистическая связь каждого очередного фактора с каждым из уже выбранных. После исключения этого фактора необходимо оценить "остаточные" величины ε_i и проверить выполнение условий (7). Если эти условия выполняются, то поиск новых факторов прекращается.

Представленная выше схема действительно является чрезвычайно проотой. Этого, к сожалению, нельзя сказать о каждом этапе в отдельности. Рассмотрим некоторые проблемы и трудности, которые возникают на каждом этапе.

Основная задача этапа предварительного анализа данных об осложнениях - выделение нестационарной составляющей, которая представляет собой сумму скрытых регулярных и ритмических компонентов. Длительность циклов, которые можно обнаружить, изменяется от нескольких часов до I0-I2 лет и более.

Характер возникающих проблем можно иллюстрировать на примере анализа данных о 778 больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями, поступивших в терапевтические отделения и блок интенсивной терапии Московской городской больницы скорой помощи № 53 за период с декабря I975 по май I976 г. При регистрации данных фиксировалось число осложнений в сутки. Ниже приведены данные о числе больных, поступивших о определенным забслеванием (всего у 778 больных наблюдалось I207 "катастроф"): инфаркт миокарда - 228, гипертоничеокая болезнь - 344, ревматический порок сердца - 33, ишемическая болезнь сердца - I33, пароксизмальная форма нарушения ритма сердечной деятельнооти и симпатоадреналовый криз - 40. Возможность выделения тех или иных нестационарных составляющих зависит от интервала времени, в течение которого фиксировались наблюдения, и от "дискретности" наблюдений. Например, в данном случае в принципе не могут быть обнаружены циклы, длительность которых превышает полгода. Изменения, соответствующие этим циклам, воспринимаются при анализе данных как тренды (т.е. как систематические изменения частоты, имеющие непериодический характер). С другой стороны, ввиду дискретности наблюдений приходится исключить из рассмотрения периоды, длительность которых не превышает 24 ч.

Рассмотрим для примера методику проверки наличия семидневных циклов. В табл.7 содержитоя распределение значений эмпирического риска

Таблица 7

Распределение значений эмпирического риска осложнений по дням недели

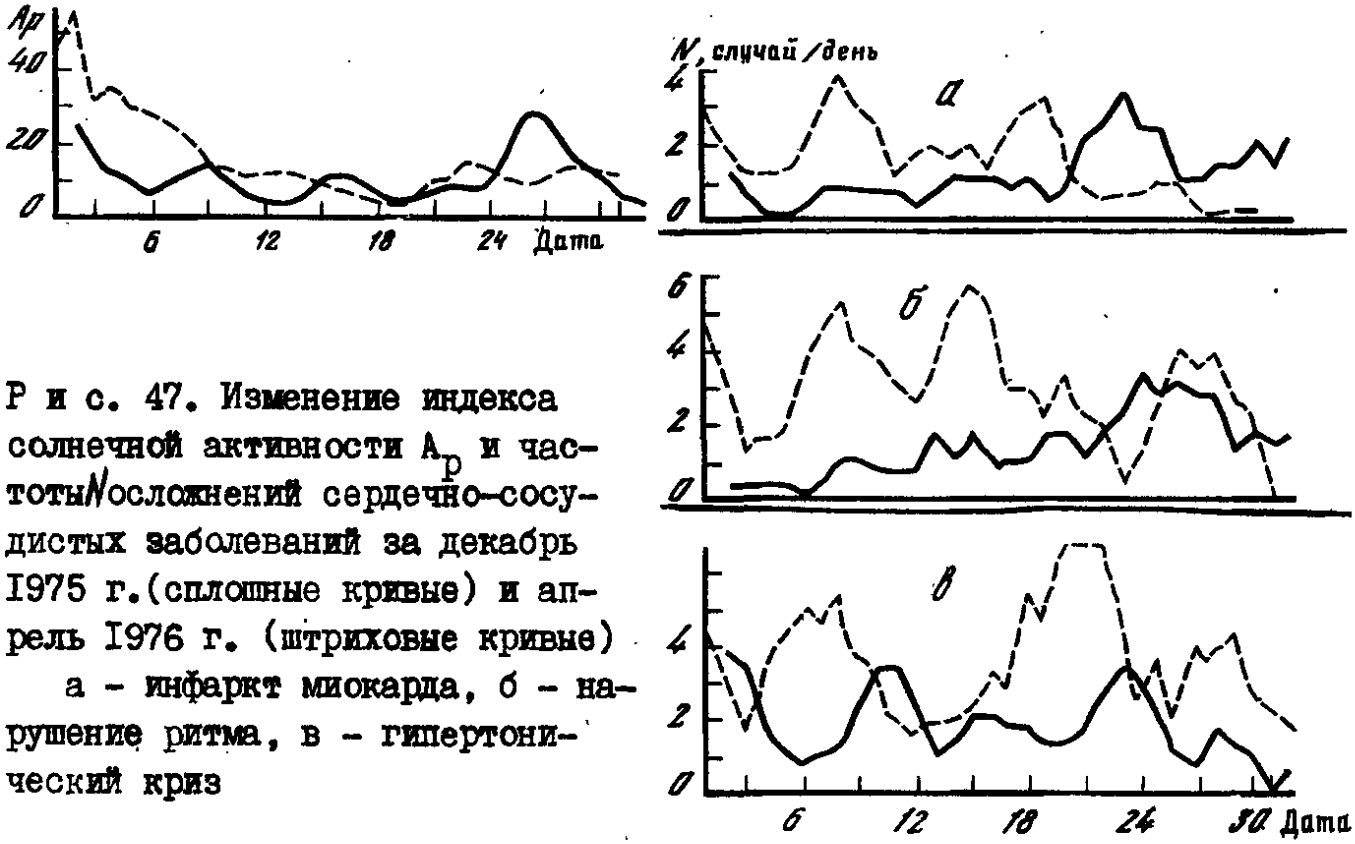
i	День недели	T_i	Нарушение ритма сердечной деятельности		Инфаркт миокарда		Левожелудочковая недостаточность		Гипертонический криз		Внезапная смерть	
			N_i	γ_i	N_i	γ_i	N_i	γ_i	N_i	γ_i	N_i	γ_i
I	Понедельник	26	5I	I,96	38	I,46	I5	0,58	73	2,8I	8	0,3I
2	Вторник	26	38	I,46	32	I,23	I6	0,6I	54	2,08	9	0,35
3	Среда	26	65	2,50	4I	I,64	25	0,96	80	3,08	I0	0,38
4	Четверг	25	59	2,36	24	0,96	I9	0,86	72	3,00	I6	0,68
5	Пятница	25	55	2,2	3I	I,24	I5	0,60	58	2,20	8	0,32
6	Суббота	26	29	I,I2	29	I,I6	I5	0,58	39	I,50	I6	0,6I
7	Воскресенье	26	35	I,35	36	I,44	I6	0,6I	4I	I,58	6	0,23
	Среднее по всем дням			I,84		I,28		0,67		2,32		0,4I
	Значение χ^2			28,9		6,2		5,7		28,6		2,5
	Интеграл критерия χ^2			$6,I0^{-5}$		0,4		0,45		$7,I0^{-5}$		

осложнений по дням недели. Значения $\bar{l}_i$ получены по формуле (2) как результат деления числа осложнений N_i, приходящихся на определенный день недели, на число повторений T_i этого дня недели в течение исследуемого периода. При этом праздничные дни были исключены, так как на них падает ряд факторов "шумового" характера. Легко заметить, что частота по всем видам осложнений, кроме случаев внезапных смертей, имеет максимум по средам. Для проверки неслучайности этого факта была испытана гипотеза о равномерном распределении частоты по дням недели. Этой гипотезе соответствует среднее по всем дням значение частоты, приведенное в табл.7. Там же приведены значения величины χ^2 и интеграла критерия χ^2, который использовался для проверки гипотезы /16/. Малые значения интеграла показывают, что гипотеза о равномерном распределении в двух случаях осложнений - инфаркт миокарда и левожелудочковая недостаточность - не может быть отвергнута. Но это свидетельствует лишь о том, что вопрос в целом подлежит дальнейшему, более детальному исследованию. Факт максимума частоты по всем осложнениям в один и тот же день скорее всего неслучаен. Наличие максимума по случаям внезапной смерти в четверг хорошо согласуется с наличием в среду максимума частоты менее катастрофических осложнений, которые могут ей предшествовать. Однако полученные выводы требуют серьезной проверки на материале большего объема.

При предварительном анализе информации необходимо стремиться к возможно более полному определению ритмических и других неслучайных составляющих. Это требование объясняется важностью результата не только при решении задачи прогноза, но и при исследовании связи риска осложнений с внешними физическими факторами. Во многих публикациях коэффициент корреляции подсчитывают, не считаясь с наличием трендов и ритмических составляющих. Между тем при таком способе оценки значение коэффициента корреляции получается завышенным. Необходимо выделить неслучайные составляющие из обоих рядов данных (о частоте осложнений и об уровне активности исследуемого фактора), вычесть их из наблюдений и искать коэффициент корреляции применительно к стационарным "остаточным" рядам.

Следующий этап исследований - поиск внешних физических факторов, статистически связанных с частотой осложнений. В соответствии с намеченной выше общей схемой работа на этом этапе начинается с выбора первого из совокупности факторов. С этой целью рассмотрим связь между частотой осложнений и индексом планетарной геомагнитной активности A_p. По указанным выше причинам немедленное вычисление коэффициентов корреляции между частотой осложнений и индексом A_p нецелесообразно, так как значение корреляции может оказаться завышенным. Поэтому на уровне постановки задачи целесообразно ограничиться предварительным графическим анализом имеющихся данных.

На рис.47 в качестве примера приведены графики изменения индекса A_p и частоты N осложнений сердечно-сосудистых заболеваний в декабре



Р и с. 47. Изменение индекса солнечной активности A_p и частоты N осложнений сердечно-сосудистых заболеваний за декабрь 1975 г. (сплошные кривые) и апрель 1976 г. (штриховые кривые)

а - инфаркт миокарда, б - нарушение ритма, в - гипертонический криз

1975 и апреле 1976 г., сглаженные методом скользящих средних по трем точкам. Видно, что максимумам A_p соответствуют максимумы эмпирической частоты большинства осложнений (обратное верно не во всех случаях). Таким образом, можно надеяться, что при дальнейшем анализе обнаружится связь между частотой осложнений и индексом A_p, так что этот фактор можно использовать как отправную точку при решении рассматриваемой задачи.

Специфические проблемы и трудности, которые могут возникнуть при последующем отборе информативных факторов, можно проиллюстрировать на примере исследования связи между частотой осложнений сердечно-сосудистых заболеваний и полярностью ММП. Существует предположение, что наиболее сильное отрицательное влияние на состояние больного организма проявляется в момент смены знака полярности ММП, точнее говоря, в период, охватывающий день перемены знака с точностью до двух дней [15]. Предположение было нами проверено на представленных выше данных о частоте осложнений и на данных динамики секторной структуры ММП. Проверка проводилась по следующей методике. Исследуемый интервал времени (декабрь 1975 - май 1976 г.) был разбит на отрезки, в каждый из которых попали: день перемены знака полярности ММП, по два дня до и после перемены знака, а также третий, четвертый и т.д. дни после смены знака (при условии, что каждый из них не является вторым или первым днем, предшествующим следующей перемене знака). Далее было подсчитано значение средней эмпирической частоты по каждому виду осложнений для дня смены знака и для каждого дня до и после нее (табл.8).

Сравнение значений, приведенных в табл.8, показывает, что средний риск в течение периода "день перемены знака полярности ММП $\pm$ 2 дня"

Таблица 8

Зависимость средней эмпирической частоты осложнений от смены знака ММП

Вид осложнения	Число осложнений	Средняя эмпирическая частота осложнений для разных дней после смены знака ММП												Частота, усредненная по интервалам	
		-2	-I	0	I	2	3	4	5	6	7	8	9	-2÷2	3÷9
Инфаркт миокарда	23I	I,44	I,80	I,I2	I,48	0,83	I,73	I,07	I,I8	I,28	I,20	I	I	I,34	I,29
Нарушение ритма	336	I,88	2,I2	2,28	I,35	I,66	I,40	I,I8	2,46	3,00	2,80	I,33	I,33	I,845	I,845
Гипертонический криз	4I8	2,3I	2,64	2,48	2,00	I,79	2,I3	2,43	3,27	2,29	I,40	3,30	I,67	2,24	2,43
Левожелудочковая недостаточность	I26	I,06	0,52	0,68	0,63	0,67	0,47	0,50	I,I8	0,86	I,00	I,00	0,67	0,68	0,74
Внезапная смерть	72	0,44	0,4	0,4	0,22	0,62	0,20	0,2I	0,64	0,43	0,80	0,67	0,33	0,4I	0,40
Общее число дней с данным номером дня после смены знака ММП		I6	25	25	27	24	I5	I4	II	7	5	3	3	II7	58

в общем действительно выше, чем на третий, четвертый день после смены знака. Однако на пятый и шестой день частота осложнений неожиданно увеличивается, причем, как правило, превышает частоту вс все предшествующие дни. Дать объяснение этому факту, разумеется, трудно. Было бы полезно проверить устойчивость этой тенденции на других данных. Действительно ли риск осложнений в указанный период около дня смены знака ММП в среднем выше, чем в остальные дни?

В табл.8 приведены также соответствующие осредненные значения риска осложнений. Из них следует, что данные по гипертоническому кризу, левожелудочковой недостаточности и нарушениям ритма сердечной деятельности не позволяют отвергнуть гипотезу об отсутствии влияния рассматриваемого фактора. Для инфаркта миокарда и случаев внезапной смерти имеется некоторое превышение эмпирического риска осложнений в интересующий нас период по отношению к остальным дням.

Однако сравнение полученных данных по критерию χ^2 показывает, что расхождения значений частоты не значимы.[1)] Следсвательно, представленные данные не позволяют обнаружить искомый эффект.

Высказывается мнение, что частота заболеваний зависит сильнее от перемены знака полярности ММП в направлении от "+" к "-", чем от "-" к "+" (см.п.I.2 наст.гл.). Исследование этого вопроса на основе представленных выше данных наталкивается на трудности технического характера: при чередовании коротких интервалов между переменами знака невозможно решить, какие номера присвоить дням внутри этих интервалов. Например, пусть между переменами знаков "+" и "-" прошел один день. Неясно, считать ли этот день первым перед переменой "-" на "+" или первым после перемены "+" на "-". Попытки обойти эту трудность, используя данные по этим дням дважды или, наоборот, исключая их из рассмотрения, искусственны. Было бы, разумеется, грубой ошибкой делать на основании изложенного выше вывод об отсутствии связи между полярностью ММП и частотой осложнений сердечно-сосудистых заболеваний. Однако на рассмотренном нами материале эту связь обнаружить трудно. Вследствие этого невозможно испсльзовать динамику секторной структуры ММП при решении задачи прогнозирования риска осложнений сердечно-сооудистых заболеваний в той постановке, которая сформулирована выше. Необходимо подчеркнуть, что влияние полярности ММП следует искать, измеряя не числс "катастроф" в сутки, а значения параметров гемодинамики, которые могут меняться в течение суток. Другой путь для преодоления трудностей заключается в том, чтобн регистрировать моменты перемены знака полярности ММП и возникновения "катаотроф" с точноотью до часов или даже минут.

I) В публикациях медико-биологического направления в подобных ситуациях часто применяют критерий Стьюдента, который в данном случае не годится. Рассмотрение этого вопроса выходит за рамки этой публикации.

Из изложенного следует, что при отборе информативных факторов необходимо учитывать не только наличие связи с частотой осложнений, но и структуру исходных данных, в частности, способ их регистрации. В процессе решения задачи может оказаться, что некоторые факторы, статистически связанные с частотой осложнений, не будут использоваться для прогнозирования частоты или, наоборот, для эффективного учета некоторого фактора придется изменить структуру исходных данных, т.е. по существу пересмотреть исходную постановку задачи. Что касается характера зависимости F, связывающей частоту осложнений с выбранными факторами, то представляется весьма перспективным использование модели авторегрессии - проинтегрированного скользящего ореднего.

В нашей публикации дана общая постановка задачи прогнозирования числа осложнений сердечно-сосудистых заболеваний. Наиболее информативным показателем для описания временных изменений частоты осложнений является число соответствующих событий в единицу времени.

Итак, предварительное исследование статистической связи между частотой осложнений сердечно-сосудистых заболеваний и индексом планетарной геомагнитной активности A_p показало, что этот индекс может служить отправной точкой в поиске набора факторов, используемых для прогнозирования частоты осложнений. Опыт исследования наличия отатистической связи между частотой осложнений сердечно-сосудистых заболеваний и динамикой секторной структуры ММП показывает, что при отборе информативных факторов для решения задачи прогнозирования необходимо принимать во внимание не только самый факт наличия отатистической связи, но и структуру информации об осложнениях.

Литература

I. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.:Мысль, I976, 367 с.
2. Новикова К.Ф., Бяков В.М., Михеев Ю.П. и др. Вопросы адаптации и солнечная активность. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, I982, с.9-97.
3. Новикова К.Ф., Гневышев М.Н., Токарев Н.В. Влияние солнечной активности на возникновение заболеваний инфарктом миокарда и смертность от него. - Кардиология, I978, т.8, № 4, с.I09-II2.
4. Стош Н.В., Левдикова С.С. Влияние магнитных полей на сердечно-сосудистую систему. - В кн.: Актуальные проблемы сердечно-сосудистой патологии. М., I975, вып.2, с.2I-3I.
5. Соломатин А.П. Геомагнитная активность Земли и ее воздействие на больных с сердечно-сосудистыми нарушениями. - В кн.: 3-й Всесоюз. симп. "Влияние МП на биологические объекты": Тез.докл. Калининград, I975, с.I02-I03.
6. Абдулаев М.Д., Жданов С,М. Влияние электромагнитных волн различной мощности на кровь в эксперименте. - Тр.НИИ рентгенологии, радиологии и онкологии (МЗ АзССР), I970, т.8, ч.2, с.I73-I80.

7. Деген И.Л., Поташник В.Я. Изменения свертываемости крови в постоянном магнитном поле. – Врачебное дело, 1970, № 7, с.45–46.
8. Забродина Л.В. Действие постоянного магнитного поля на свертывающую систему крови в эксперименте: Автореф.дис....канд.мед.наук. М.: ИМБП. 1972.
9. Абдулина З.М., Мирахимов М.М., Приживой Т.М. О влиянии магнитного поля на вязкость и свертывающую активность крови. – Здравоохранение Киргизии, 1974, № 5, с.16–18.
10. Виноградов С.А., Артищенко В.А., Волынский А.М. Морфолсгические особенности инфаркта миокарда, возникающие при действии электромагнитного поля в эксперименте. – Тр. Крымского мед.ин-та, 1973, т.53, с.37–42.
11. Амосов А.В., Панфилова Г.А. Влияние импульсного магнитного поля на кровеносные сосуды мышцы сердца в эксперименте.– В кн.: Структурные закономерности кровоснабжения и иннервации внутренних органов в нормальных и патологических условиях. Чебоксары, 1973, с.3–6.
12. Ганелина И.Е., Рывкин Б.А. О влиянии некоторых метеорологических и гелиогеофизических факторов на течение первичного острого инфаркта миокарда. – Кардиология, 1973, № 8, с.21–29.
13. Гороховский Г.И., Локшина П.Л., Дмитриев А.А., Ремизов Г.А. О влиянии воздействий внешней ореды на заболеваемость и летальность при инфаркте миокарда. – В кн.: Вопросы еказания скорой медицинской помощи. М,, 1970, с.109–110.
14. Гороховский Б.И., Дмитриев А.А., Локшина П.Л., Ремизов Г.Л. Окружающая среда, ее воздействие на заболеваемость и летальность от инфаркта миокарда. – Сов.медицина, 1971, № 4, с.105–110.
15. Ганелина И.Е., Чурина С.К., Савояров Н.В. Состояние физических факторов внешней среды и частота основных осложнений острого инфаркта миокарда. – Кардиология, 1975, № 10, с.112–118.
16. Большев Л.Н., Смирнов Н.И. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965.

I.5. О возможности прогноза заболеваемости инфарктом миокарда по анализу гелиогеофизических данных

Организм человека способен приспосабливаться к изменениям гелиогеофизических характеристик среды, однако в случаях, ведущих к ослаблению адаптации, эти изменения могут вызвать нарушения некоторых функциональных систем организма /1–9/.

Для установления влияния гелиогеофизических факторов на динамику заболеваемости инфарктом миокарда были изучены медицинские документы 2037 больных, лечившихся в различных стационарах г.Минска. Диагноз инфаркта миокарда устанавливался на основании клинических, лабораторных и электрокардиографических данных, а в случаях смерти – по данным патологоана-

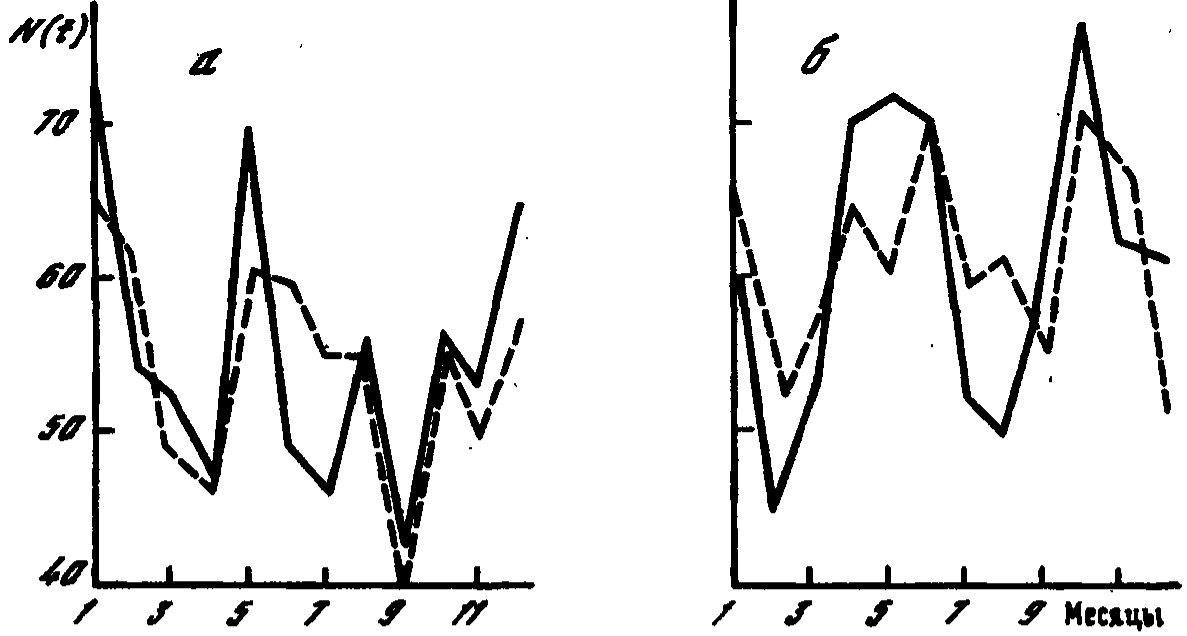
томического вскрытия. Параллельно с клиническими наблюдениями изучались параметры, характеризующие динамику гелиогеофизических, геомагнитных, метеорологических и синоптических процессов.

Для характеристики солнечной и геомагнитной активности были использованы временные ряды ежесуточных и ежемесячных значений площади солнечных пятен $S(t)$, чисел Вольфа $W(t)$, десятибалльные трехчасовые характеристики напряженности МП Земли $K(t)$ по данным геофизической обсерватории в Плещеницах и материалы о хромосферных вспышках и магнитных бурях. Для характеристики метеоусловий были использованы данные наблюдений Минской обсерватории за температурой и относительной влажностью воздуха, атмосферным давлением, направлением и скоростью ветра, облачностью, осадками, продолжительностью солнечного сияния и др. Синоптические данные включали материалы о движении фронтов, циклонов и антициклонов. В общей сложности анализировались и сопоставлялись с числом заболеваний инфарктом миокарда $N(t)$ свыше 15 различных гелиогеофизических и метеорологических характеристики внешней среды.

Спектральный анализ временных рядов $N(t)$ с совокупностью гелиогеофизических факторов $Y(t)$ позволил установить удовлетворительное совпадение ооновных экстремумов их амплитудных спектров по оси частот, причем основная энергия процессов связана с гармоникой T = 1 год, что является предпосылкой долгосрочного прогнозирования заболеваемости инфарктом миокарда по гелиофизическим, геомагнитным и метеорологическим данным. Для осуществления прогноза апробировались модели, в которых заболеваемость инфарктом миокарда находилаоь в линейной зависимости от гелиофизических, геомагнитных и метеорологических факторов. При этом процедура идентификации модели позволяла осуществить оценку значимооти влияния аргументов и по мере уточнения модели исключить несущественные факторы.

Оказалось, что учет трех конкретных рядов наблюдений по упрощенной модели позволяет прогнозировать $N(t)$ с погрешностью не более 20% (рис.48). Учет дополнительных метеорологических факторов с использованием усложненных моделей позволяет уменьшить ошибку прогноза до 10-15%. Проведенный анализ показал тесную связь заболеваемости инфарктом миокарда с различными характеристиками внешней среды и возможность долгосрочного прогноза заболеваемости. Надежность прогноза $N(t)$ зависит в основном от надежности прогноза гелиофизической, геомагнитной и метеорологической активности, что делает прогноз перечисленных факторов первоочередной задачей геофизики.

Ряд геофизических и метеорологических характеристик ореды обитания в настоящее время надежно не прогнозируется, что не позволяет построить сложные модели прогноза, включающие широкий набор аргументов. Однако, как показывает многомерный корреляционный анализ, для долгосрочного прогноза $N(t)$ достаточно набора прогнозируемых на данном этапе характеристик геофизических полей, особенно если прогноз заболеваемости



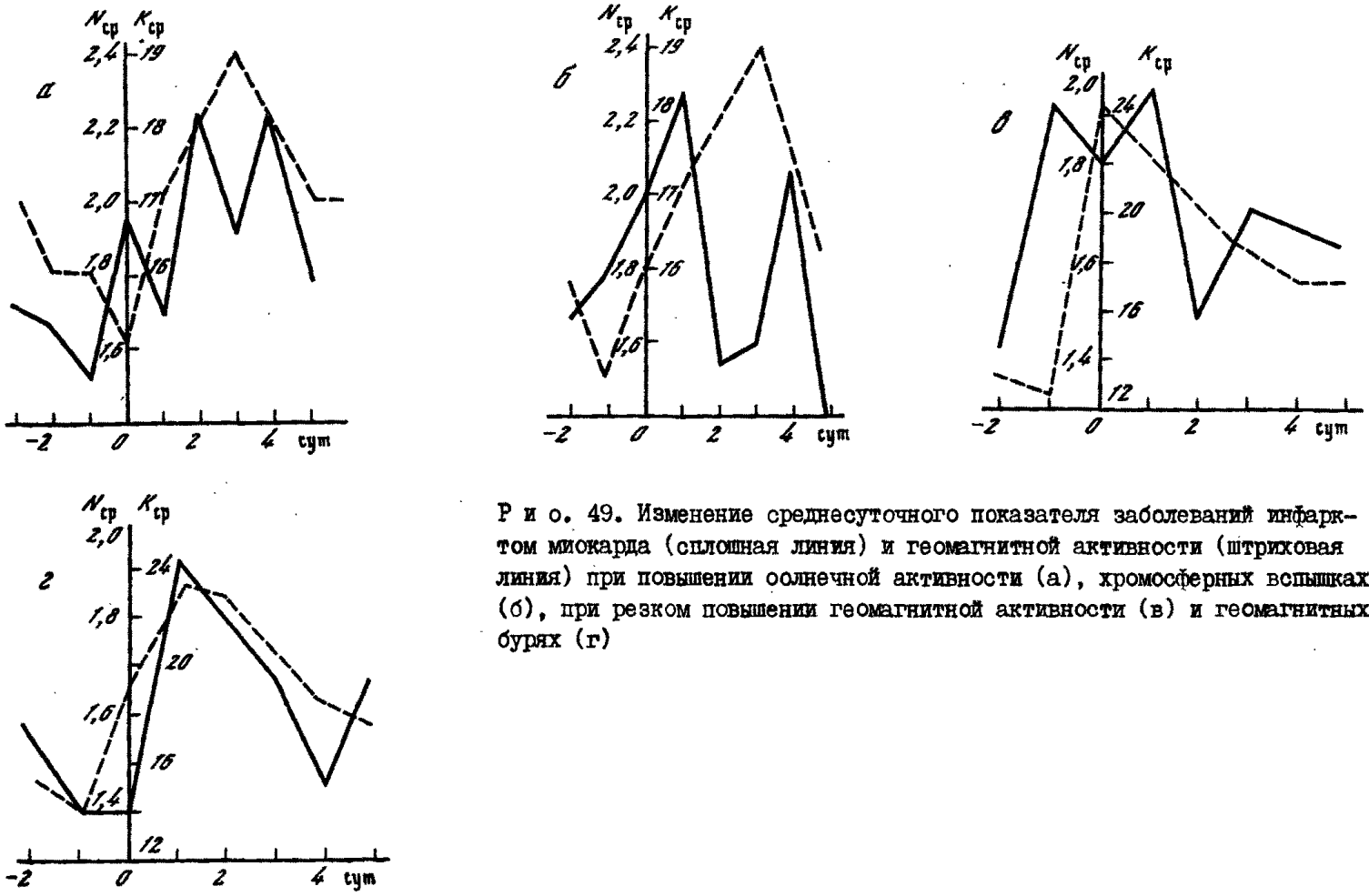
Р и с. 48. Прогнозируемые (штриховая линия) и наблюдаемые (сплошная линия) значения заболеваемости инфарктом миокарда за 1968 г. (а) и 1969 г. (б)

инфарктом миокарда производится раздельно для различных возрастных групп. Так, например, коэффициент корреляции между $N(t)$ и $S(t)$ для возрастной группы до 50 лет имел значение 0,3, а для более старших возрастов он оставил 0,7. Надежный долгосрочный прогноз $N(t)$ можно осуществлять, используя в качестве аргументов прогноз среднемесячных значений $K(t)$ и $S(t)$, а также суммы дней антициклонической и циклонической погоды за месяц.

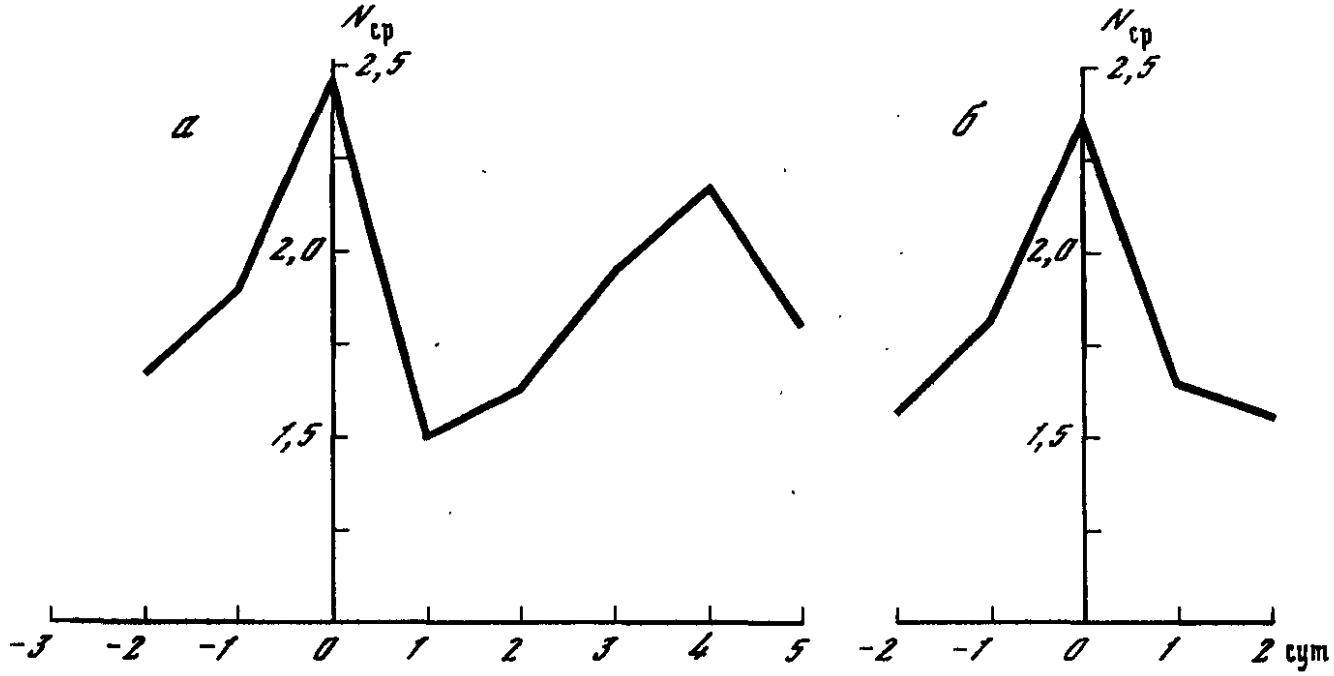
Таким образом, среднемесячные прогнозные характеристики гелиогеомагнитных и метеорологических процессов $Y(t)$ могут явиться основой для долгосрочного прогноза заболеваемости инфарктом миокарда. Однако $Y(t)$ – это интегральные параметры, они дают осредненное представление о реальных геофизических процессах, не отражая резкие и относительно кратковременные их изменения, а именно: влияние периодов повышенной солнечной и магнитной активности, хромосферных геоактивных вспышек, изменения атмосферного давления, температуры и влажности, прохождение циклонов, антициклонов и атмосферных фронтов грозовой деятельности и др. Для сопоставления $N(t)$ с резкими изменениями ряда геофизических характеристик $Q(t)$ использовался, главным образом, многомерный корреляционный анализ и способ наложения эпох.

Простые сопоставления $N(t)$ с суммарными суточными значениями напряженности ГМП K_Σ показали, что при $K_\Sigma = 2 \div 5$ среднесуточный показатель заболеваемости составил $1{,}06 \pm 0{,}25$, а при $K_\Sigma > 25$ – $1{,}86 \pm 0{,}12$, или на 75 % больше.

На рис.49,50 приведены зависимости числа случаев инфарктов миокарда от солнечной и геомагнитной активности, а также от прохождения циклонических и атмосферных фронтов. К анализу привлекались интервалы в



Р и о. 49. Изменение среднесуточного показателя заболеваний инфарктом миокарда (сплошная линия) и геомагнитной активности (штриховая линия) при повышении оолнечной активности (а), хромосферных вспышках (б), при резком повышении геомагнитной активности (в) и геомагнитных бурях (г)



Р и с.50. Среднесуточный показатель заболеваний инфарктом миокарда при прохождении циклонов (а) и атмосферных фронтов (б)

8 дней (два дня до возникновения аномальных изменений геофизических полей и пять дней после него). Дни, когда значения индекоов W и S превышали оредний уровень на 150% (всего 48 периодов), или дни мощных (свыше 3 баллов) хромосферных вспышек (всего 14 вспышек) считались аномальными днями с повышенной солнечной активностью. Дни со значением $K \geqslant 1{,}5\ K_{ср}$ (всего 88 периодов) и дни, в которые отмечались сильные магнитные бури (всего 38 бурь), считались аномальными днями с повышенной геомагнитной активностью. Для каждого из перечисленных параметров методом наложения эпох в интервале $[(-2) - (+5)]$ дней строились среднециклические кривые суточных значений числа N заблеваний инфарктом миокарда. За нуль-дни принималіось дни с аномальным значением одного из параметров, характеризующих солнечную /10/ и геомагнитную активность.

Изучение влияния этих флюктуаций на число случаев инфарктов миокарда показало достсверное увеличение заболеваний в день повышения солнечной активности, а также на второй и четвертый дни от момента увеличения солнечной активности; несколько меньшее увеличение было на третий и пятый дни (рис.49,а). В периоды мощных хромосферных вспышек рост чиола заболеваний наблюдался в день вспышки, достигая максимума на следующий день. Второй подъем числа заболеваний соответствует четвертому дню пссле хромосферной вспышки. Геомагнитная активность достигла максимума на третий день от начала повышения солнечной активности и от момента хромосферной вспышки. В периоды повышения геомагнитной активности и в дни магнитных бурь (рис.49,в,г) рост заболеваний наблюдался за день до начала повышения геомагнитной активнооти, в день повышения и на следующий день после геомагнитной бури. Такое возраотание числа случаев ин-

Таблица 9

Частота развития тяжелых осложнений в зависимости от состояния факторов внешней среды в день возникновения инфаркта миокарда

Характер осложнений	I-я группа		2-я группа		3-я группа	
	n	*n,%*	*n*	*n,%*	*n*	*n,%*
Кардиогенный шок	2	2,0	I5	I3,6	I6	9,6
Острая сердечная недостаточность	3	4,3	I9	I7,3	I9	II,4
Хроническая сердечная недостаточность	6	8,7	I0	9,I	II	6,6
Разрыв сердца	-	-	3	2,7	7	4,2
Всего	II	I5,6	47	42,7	53	3I,8

Обозначения: *n* - число больных, получивших осложнение;
n,% - то же в процентах по отношению к числу больных в группе.

фаркта миокарда укладывается в общую схему солнечно-земных связей. Первый максимум среднециклических кривых связывается с возрастанием в период хромосферных вспышек волнового излучения в крайней ультрафиолетовой и рентгеновокой частях опектра, второй - с приходом мощных корпускулярных излучений, с которыми связаны гесмагнитные бури. Некоторое запаздывание максимумов объясняется скрытым перисдом накопления патологических процессов в организме.

Установлено,что наиболее благоприятной для сердечно-сссудистых больных была погода в антициклоне, при которой среднесутсчный показатель заболеваний соотавил I,48 ± 0,057. В дни циклонов число случаев инфаркта миокарда увеличивалось на 28%, а в дни перехода от антициклсна к циклону - почти в 2 раза. Рост числа случаев инфаркта миокарда начинался за день до наотупления циклона, достигая максимума в день его прохождения. Второй подъем заболеваний возникал на третий-четвертый день от начала прохождения циклона (рис.50). Первый подъем числа заболеваний, по-видимому, связан с действием нерегулярных электромагнитных импульсов (атмосфериков), оказывающих влияние на активность коры головного мозга и коллоидные системы организма челсвека. Второй может определяться резкими изменениями метеорологических элементов, которые оказывают неблагоприятное влияние на вегетативную нервную систему и приводят к изменениям в свертывающей системе крови [II].

С целью изучения влияния гелиогеофизических и метеорологических факторов на течение и исходы инфаркта миокарда были проведены клинические наблюдения за 367 больными. У 346 больных из атого числа был четко установлен день начала заболевания, они были разделены на три груп-

пы: 69 человек (первая группа) заболели в дни, условно названные "благоприятными", с незначительными возмущениями гелиофизических и метеорологических полей, II0 больных (вторая группа) - в дни с циклонами и I67 человек (третья группа) - в дни с неблагоприятными гелиофизическими и геомагнитными факторами (табл.9).

Установлено увеличение числа заболеваний инфарктом миокарда в дни с неблагоприятными метеорологическими и гелиогеофизическими факторами по сравнению с "благоприятными" днями. Атипичные формы инфаркта миокарда (абдоминальная, астматическая, церебральная), которые отличаются более тяжелым течением, значительно чаще встречались во второй (I3,6%) и третьей (I5%) группах больных по сравнению с первой (4,3%). В этих группах больных в неоколько раз чаще наблюдались и тяжелые осложнения. Смертельные исходы от инфаркта миокарда также чаще встречались среди больных второй (I5,5%) и третьей групп (I8,6%) по сравнению с больными первой группы (5,8%).

Таким образом, гелиогеофизические условия оказывают существенное влияние на возникновение, течение и исходы заболевания инфарктом миокарда, особенно для лиц старше 50 лет. Отмечается рост числа случаев инфарктов миокарда (в I,5 - 2 раза) в дни прохождения циклонов и атмосферных фронтов. Максимум заболеваний приходится на 3-4 день от начала прохождения циклона. Инфаркты миокарда, возникающие в неблагоприятные по гелиогеофизическим факторам дни, отличаются более тяжелым течением, чаще сопровождаются осложнениями и повышенной летальностью. Исследования показали, что гелиогеофизические данные могут быть использованы для оперативного и долгосрочного прогноза заболеваемости инфарктом миокарда с целью профилактики и эффективного лечения заболеваний.

Литература

I. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, I973, 287 с.
2. Рывкин Б.А. О влиянии гелиофизических факторов на течение и исходы сердечно-сосудистых заболеваний в Ленинграде: Автореф. дис.... канд.мед.наук. Л.: Ин-т физиологии им.Павлова АН СССР, I966, I2 с.
3. Королева Н.Н. Влияние гелиофизических и метеорологических факторов на течение гипертонической болезни в условиях климата г.Иркутска: Автореф.дис. ...канд.мед.наук. Каунас: Медиц.ин-т, I967. I6 с.
4. Колсдченко В.П. Распределение заболеваемости инфарктом миокарда и геомагнитные возмущения. - Солнечные данные, I969, т.6, с.II2-II6.
5. Кондратюк И.К., Боборыкин А.М. Связь между солнечной активностью и заболеваемостью инфарктом миокарда в г.Минске. - Здравоохранение в Белоруссии, I973, т.2, с.72.
6. Кондратюк И.К. Влияние циклонической погоды на возникновение и течение инфаркта миокарда. - В кн.: Матер. У Республиканского съезда терапевтов Белорусской ССР (2I-23 мая I973 г.). Минск, I973, с.259-26I.

7. Матвейков Г.П., Кондратюк И.К., Боборыкин А.М. и др. Влияние гелиофизических и геомагнитных факторов на заболеваемость инфарктом миокарда. - Докл. АН БССР, 1973, т.17, № 9, с.853-856.
8. Метелица В.И., Мазур Н.А. Эпидемиология и профилактика ишемической болезни сердца. М.: Медицина, 1976, 168 с.
9. Мазур Н.А. Подходы к профилактике основных заболеваний сердечно-сосудистой системы. - Терапевтический архив, 1979, т.51, № 1,с.6-9.
10. Солнечная активность. - Солнечные данные, 1967-1969, вып.1-12, с.5-35.
11. Айтмуханова Л.М., Богдановская Г.К. Метеорологические факторы и некоторые компоненты свертывания крови у больных коронарным атеросклерозом в условиях г.Алма-Аты. - В кн.: Материалы к научной сессии по проблеме "Климат и сердечно-сосудистая патология". М.: Ин-т терапии АМН СССР, 1966, с.68-70.

I.6. О долгосрочном прогнозировании эпизоотий

Одним из актуальных вопросов возникновения естественных трансмиссивных болезней является разработка научно обоснованных критериев долгосрочного прогнозирования эпизоотий различных инфекций (чума, туляремия, энцефалит и др.). Возможность решения поставленной задачи появилась сравнительно недавно, только после выполнения советскими и зарубежными учеными ряда принципиально новых исследований, в том числе в области изучения воздействия солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли [1-3]. Выявленные закономерности солнечно-земных связей позволили, в частности, использовать для долгосрочного эпизоотического прогнозирования следующие гелиоклиматические характеристики: 1) многолетний ход солнечной активности в ее 11-летних и вековых (80-90-летних) циклах, причем в качестве основного показателя флюктуаций солнечной активности можно использовать числа Вольфа; 2) смену основных типов циркуляционных процессов и развитие региональных климатических аномалий (в первую очередь температур и осадков), влияющих на сочленов экосистемы природных очагов. В этих характеристиках учитывается ряд важных закономерностей, установленных гелиофизиками и метеорологами [4-6]. Во-первых, в северном полушарии процессы смены и преобразования циркулярных эпох согласуются с ходом солнечной активности в вековом цикле, а именно: в периоды спада активности Солнца преобладает типичная для земной атмосферы зональная форма циркуляционных процессов (W), а в периоды подъема в результате частных возмущений зональной циркуляции господствуют меридиональные (Е - восточная и С - центральная) формы. Во-вторых, развитие положительных или отрицательных (крупные засухи) климатических аномалий сопряжено с эффектом геомагнитной активности (индекс K_p), нарушающим зональную циркуляцию и, как следствие, вызывающим формирование устойчивых антициклонов [7,8]. В прогностичес-

ком аспекте чрезвычайно существенно выделять согласно разработанным схемам определенные гелиоклиматические провинции, в которых климатические аномалии нередко противоположны по знаку /2,9/.

Анализ многочисленных литературных данных позволяет считать, что флюктуации эпизоотичеокой активности природных очагов ряда трансмиссивных инфекций в многолетнем аспекте определяютоя расомотренной выше ритмикой атмосферных циркуляционных процессов, формирующих тот или иной гидрометеорологический фон. Механизм же воздействия метеорологических факторов на эпизоотический пульс очагов достаточно сложен и осуществляется чаще всего (не исключая, конечно, и прямого влияния) по принципу многоступенчатых связей, в которых в качестве важных промежуточных звеньев выступает трофический фактор, плотность носителей и переносчиков, а также оостояние популяций возбудителя конкретной инфекции.

Первые попытки использования солнечных данных для объяснения причин и времени воэникновения ряда инфекционных заболеваний человека и развития эпизоотий среди домашних и диких животных предпринял основоположник русской и советской гелиобислогии А.Л.Чижевский /10/. Позже это направление несмотря на острую критику оппонентов продолжали развивать многие иоследователи /11-13 и др./. Заметную лепту в проблему циклических колебаний численности различных животных в первую очередь промысловых и вредных видов внесли экологи /14-16 и др./, подтвердившие как объективную закономерность феномен возникновения волн массового размножения животных в оптимальные по метеорологическим и экологическим условиям годы. Что касается дальнейших разработок проблемы цикличноети и поиска критериев прогноза эпизоотий различных инфекций в их природных очагах, то расшифровка этой сложной проблемы начата /17-21/ и рисуется в оптимиотичных тонах.

Основываясь на материалах анализа причин, обусловливающих естественную ритмику эпизоотической активности очагов, мы раосматриваем чумной биоценоз как достаточно стойкую подвижно-равновесную экосистему (носитель-переносчик-возбудитель), проходящую последовательно три фазы развития, а именно: депрессивную, предэпизоотическую и эпизоотическую. Каждая из перечисленных фаз характеризуется определенным метеорологическим фоном, конкретным состоянием численности носителей и переносчиков, а также соответствующим уровнем эпизоотической активности очагов. Причем первые две фазы составляют в целом так называемый межэпизоотический период жизни очага. Следует отметить, что наотоящая схема эпизоотического процесса чумы характерна и для проявления других природноочаговых инфекций.

В анализируемой нами экоеистеме очага наименее изученным звеном пока остается возбудитель чумы, который в фазы глубоких депрессий очагов нередко ускользает из поля зрения иоследователей. Ряд причин может влиять на трудность выявления микроба в данную фазу: низкая численность носителей и переносчиков, дисперсность очажков и минимальное число

зараженных объектов (количественная сторона), а также, очевидно, адаптивная изменчивость самого возбудителя, который в фазу депрессии, утрачивая свою агресоивность, не вызывает четких реакций со стороны организма важнейших носителей (качественная сторона). На внутривидовую изменчивость чумного и других микробов /22/ помимо "сопротивления" сочленов экосистемы и, в частности, меняющейся инфекционной чувствительности популяций основного носителя, возможно, влияют корпускулярные излучения Солнца и степень возмущенности ЭМП.

В предэпизоотическую фазу межэпиэоотического периода экосистема очага перестраивается, происходит увеличение численности носителей и переносчиков, повышается удельный вес высокочувствительных особей в популяциях грызунов и изменяется структура их поселений. К концу предэпизоотической фазы экосистема природного очага в целом оказывается внутренне подготовленной для скачкообразного перехода к новому качественному соотоянию. Необходим лишь "сигнал" пускового действия. С появлением такого сигнала (например, возникновение заоухи) возбудитель чумы реализуется в форме эпизоотий.

Таким образом, прогноз эпизоотической (эксплозивной) фазы как одного из состояний экосистемы природного очага сопряжен: а) с доокональным знанием биоценотической и пространотвенной структуры очага; б) с учетом факторов, ускоряющих или, наоборот, блокирующих процесс подготовки системы к фазе эксплозии; в) с уотановлением характера повторяемости прогнозируемого процеоса на основе анализа достаточно репрезентативных временных рядов.

Итак, опираясь на достижения метеорологов и гелиофизиков в области общей теории климата и прогнозов погоды, приступим к анализу имеющихся в нашем распоряжении материалов.

В качестве эталонов избраны идентичные по структуре полупуотынностепные очаги в Северо-Западном и Волго-Уральском междуречьях. Основной носитель в этих очагах - малый суслик, т.е. зимоспящий грызун с моноэстричным типом размножения, многолетняя динамика численности которого характеризуется волнообразной кривой. К факультативным носителям, имеющим важное значение в диссеминации чумы, относится домовая мышь - вид с полиэстричным типом размножения, способный к бурным подъемам численности в годы с оптимальными климатокормовыми условиями. Важнейшие переносчики - блохи.

В прошлом (преимущественно в дореволюционный период) эпидемии в очагах данного типа развивались на фоне: а) промысла сусликов и обработки их шкурок; б) массового размножения мышевидных грызунов; в) обилия блох в жилье человека. Эти три ведущие фактора, действующие вкупе или отдельно, по существу и определяли эпидемический потенциал очагов.

На цикличность проявления чумы в Прикаспийских очагах впервые обратил внимание И.К.Мамонтов /23/. Однако подмеченная им цикличность и

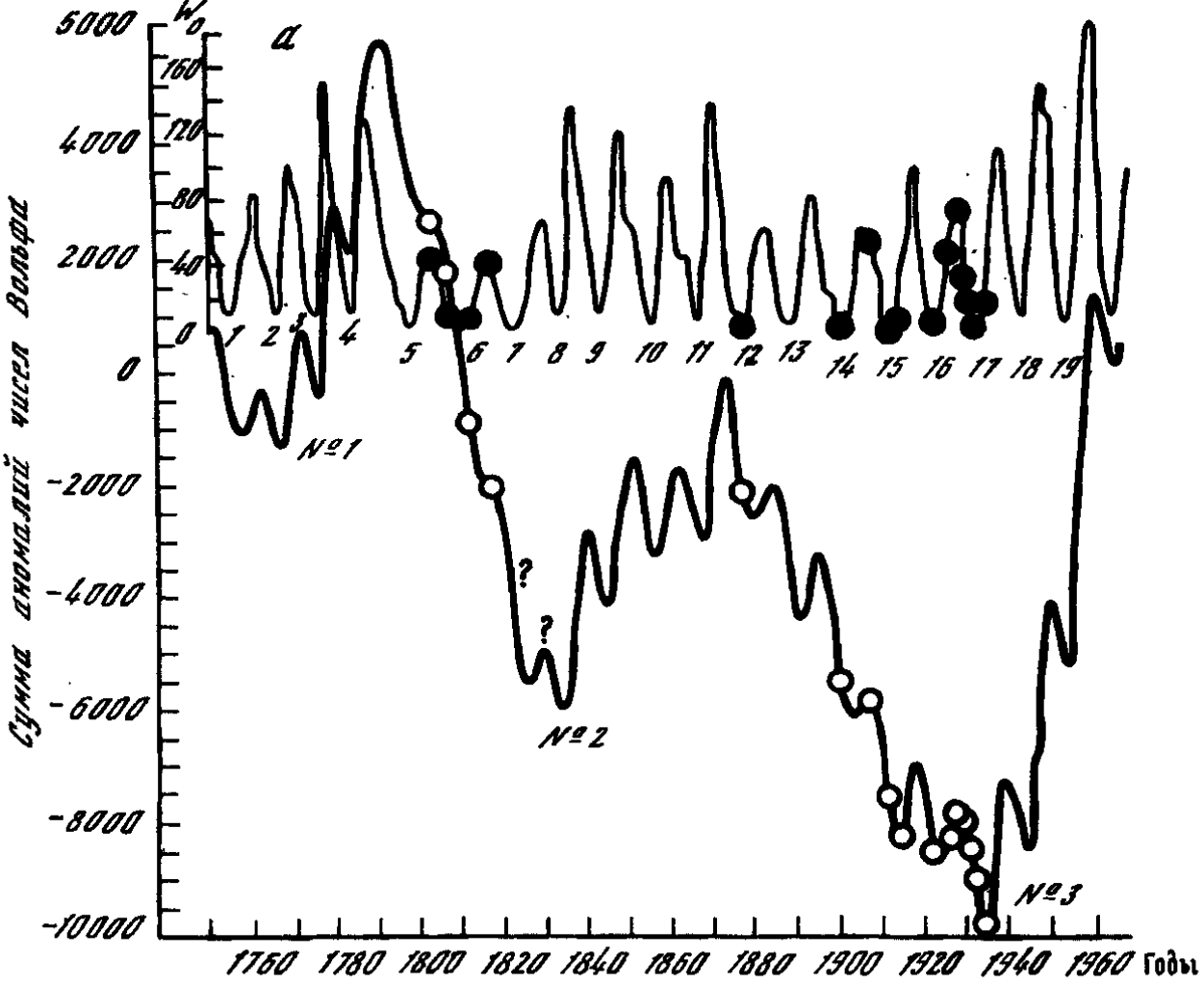
синхронность возникновения эпизоотических волн в рассматриваемых очагах нуждается в уточнении и расшифровке.

Подробный анализ хронологических данных вспышек чумы - интегральной кривой аномалий среднегодовых значений чисел Вольфа (вековая цикличность Солнца) и кривой их абсолютных значений (II-летняя активноть), заимствованных из /I/, подтверждает наличие перечисленных выше связей активности очагов чумы с гелиоклиматическими факторами.

Из рис.5I,а, где показана цикличность проявления эпидемий чумы в очагах сусликового типа, следует, что в период, приходящийся по времени на ветвь спада I-го векового цикла солнечной активности (I800-I820 гг.), в очаге имело место развитие серии крупных вспышек чумы, которые, несомненно, были сопряжены с резким подъемом в это время эпизоотической активности. Новая эпидемическая волна (I878-I930 гг.) приурочена к нисходящей ветви 2-го векового цикла солнечной активности.

Следует заметить, что временной эпизоотический ряд оказался значительно короче эпидемического вследствие того, что эпизоотии чумы стали регистрировать лишь с начала I0-х годов текущего столетия после обнаружения спонтанно зараженных чумой малых сусликов сначала в Заволжьи (I9I2 г.), а затем в правобережьи Волги (I9I3 г.). Эпизоотии чумы I9I3-I9I4 гг. совмещаются, как и вспышки чумы, с нижним отрезком нисходящей ветви 2-го векового цикла активности Солнца и с минимальной фазой его II-летнего цикла № I5. Помимо сусликов в чумную эпизоотию были вовлечены и домовые мыши, массовое размножение которых отмечалоь на юго-востоке России в I9I3-I9I4 гг. Очередные крупнейшие эпизоотические волны 20-30-х годов приурочены к фазе минимальной вековой активности Солнца и сопряжены с нисходящими ветвями его II-летних циклов № I6 и I7, причем в эпизоотический процесс также вовлекались мышевидные грызуны (I922-I923 и I932-I933 гг.).

Дальнейший ход эпизоотий чумы в очаге Северно-Западного Прикаспия был во многом нарушен фронтальными работами по истреблению малого суслика, начатыми здесь с I933 г. Эффект от этих работ был весьма ощутим, так как они ускорили и углубили процесс естественного затухания чумы, наметившийся со второй половины 30-х годов и в других очагах сусликового типа. Последующие эпизоотические проявления очагов (Заволжье - I94I-I942; I950-I952 гг.; Северо-Западный Прикаспий - I947-I948, I954 гг.; Ногайская степь Дагестана - I950-I952 гг.) носили весьма локализованный характер и сопровождались выделением единичных культур чумы. Наступивший о I953-I954 гг. длительный межэпизоотический период в очагах сусликового типа был обусловлен отрицательными аномалиями в ходе метеорологических факторов, крайне неблагоприятно воздействовавшими на популяции малого суслика в пределах всей западной ветви ареала данного вида. В состоянии особенно глубокой депрессии на протяжении почти двух десятилетий находились поселения сусликов в полупустыне и



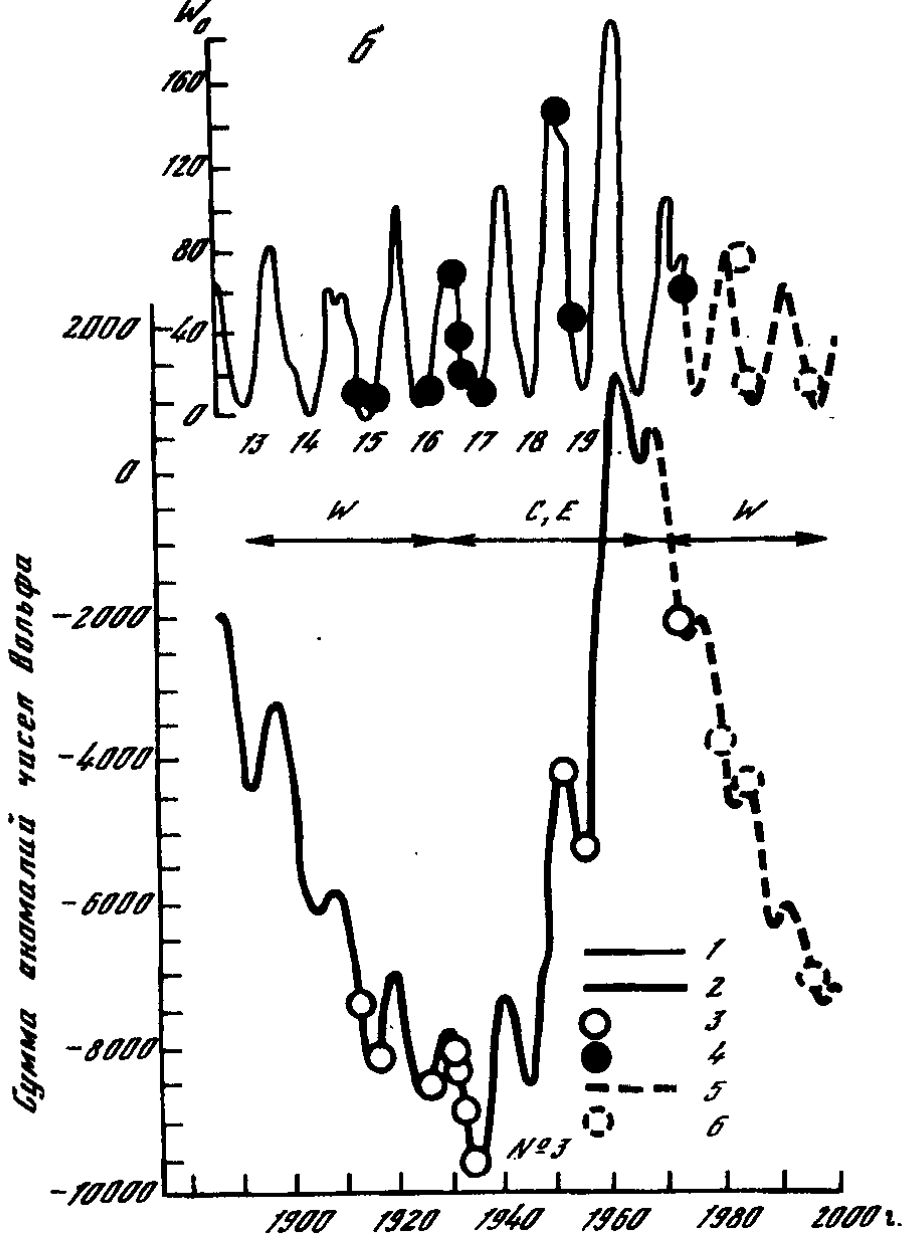
Р и с. 5I. Цикличность проявления эпидемий (а) и эпизоотий (б) чумы в очагах сусликового типа, имевших место до I937 г.

I - кривая абсолютных значений чисел Вольфа (II-летние циклы), 2 - интегральная кривая аномалий средних годовых значений чисел Вольфа (вековые циклы), 3 - время возникновения эпидемий на кривой вековых циклов, 4 - то же на кривой II-летних циклов, 5 - прогностические кривые вековых и II-летних циклов солнечной активности, 6 - время возникновения прогнозируемых эпизоотий чумы крупного ранга. Цифры у кривой I - номера II-летних циклов; № I - № 3 - номера вековых циклов; W ,E,C - циркуляционные эпохи и их границы

в подзоне северной пуотыни, где вымершие курганчики этих грызунов встречались на обширных пространствах [I8,24].

Этот пессимальный период в жизни очагов, как видно из рис.5I,б, совмещается с круто поднимающейся ветвью кривой 3-го векового цикла солнечной активности и двумя его резко аномальными II-летними циклами (№ I8 и I9), на протяжении которых преобладали меридиональные формы атмосферной циркуляции типа С и Е, оказывающие сильное давление на экосистемы чумных очагов.

Очередная эпизоотическая волна в Северо-Западном Прикаспии возникла в I972-I973 гг., когда численность сусликов восстановилась в первую очередь в северных и северо-западных частях очага. После длительного



перерыва (35 лет) были выявлены интенсивные эпизоотии сначала в поселениях сусликов центральной части Ергенинской гряды (1972 г.) и затем в Сарпинской низменности (Зурган-Зергентинский участок, 1973 г.). Можно полагать, что эпизоотия чумы в Сарпинской низменности развилась параллельно с эпизоотиями на Ергенях, т.е. летом 1972 г., когда в условиях жесточайшей засухи подвижность сусликов была необычайно высокой. Весьма характерно, что в последующие 1973 и 1974 гг. (оптимальные по условиям увлажнения) в северной и центральной частях Ергеней наблюдался большой рост численности мышевидных грызунов. И надо полагать, что мыши не восприняли чумную эстафету от сусликов лишь в результате проведенной борьбы с грызунами в местах стойкого укоренения чумы.

Из рис.51,б видно, что эпизоотическая волна чумы 1972-1973 гг. (ее правомочно считать лишь одним из симптомов общей активизации очагов суслikового типа) совмещается с верхним отрезком ниспадающей ветви текущего (3-го) векового цикла солнечной активности и с ниспадающей ветвью его 11-летнего цикла № 20. Иначе говоря, чума вновь проявилась

в форме остро протекавших эпизоотий в наиболее оптимальных частях очага с установлением эпохи зональной циркуляции, хотя в атмосферных процессах еще продолжались возмущения, унаследованные от предыдущей эпохи, которая отличалась чрезвычайно высокой активностью Солнца.

Из анализа приведенных материалов следует, что все крупные волны эпидемий и эпизоотий чумы, имевшие место в очагах сусликового типа, по времени возникновения приурочены почти исключительно к нисходящим ветвям кривой вековых циклов солнечной активности и к минимальным их фазам. Как видно, эти периоды резкой активизации очагов совпадают с эпохами, на протяжении которых преобладают атмосферные циркуляционные процессы зонального типа (*W*). С окончанием эпох зональной циркуляции эпизоотический и эпидемичеокий потенциал очагов шел резко на убыль и чума на долгие годы уходила в "подполье". Длительные межэпизоотические периоды в очагах, напротив, совмещаются с восходящими ветвями кривой вековых циклов солнечной активности, когда преобладают уже меридиональные циркуляционные процессы (типа С и особенно Е), неблагоприятно воздействующие на сочленов чумного биоценоза и активность очагов в целом. Установленные (обратные по знаку) коррелятивные связи между солнечной активностью и эпизоотическим потенциалом очагов в их вековом проявлении прослеживаются и в ходе II-летней цикличности: здесь также по мере спада активности Солнца и особенно в фазы минимальных значений чисел Вольфа активность очагов резко возрастает, а на ветвях подъема чума проявляется крайне редко. Однако в II-летней цикличности вырисовывается и дополнительный весьма существенный штрих - развитие крупных эпизоотий чумы в годы, которые совмещаются не только с минимумами, но и с максимумами II-летних циклов.

В дополнение к основным выводам следует добавить еще два существенных тезиса. Во-первых, в развитии эпизоотий чумы после длительных временных перерывов (прохождение депрессивной и предэпизоотической фаз) важное значение принадлежит засухам, которые выводят "созревшую" систему чумного биоценоза из статического состояния в динамическое. Именно такой механизм действовал в период изначального развития большинства крупных эпизоотий чумы, в том числе и эпизоотий, возникших на Ергенях в 1972 г. Во-вторых, в периоды наступления эпизоотических фаз нередко возникали волны массового размножения факультативных носителей, в частности высокочувствительных к чумному микробу домовых мышей. Последние, воспринимая чумную эстафету от малых сусликов, способствовали резкому возрастанию эпидемического потенциала очагов. Многие из упоминавшихся крупных эпизоотий чумы заканчивались в прошлом подобным финалом.

Прогнозирование эпизоотической активности природных очагов чумы необходимо осуществлять исходя из задач текущей и заблаговременной профилактики этой инфекции на уровне краткосрочного (на ближайший сезон или год), долгосрочного (на очередной II-летний цикл) и сверх-

долгосрочного (на предстоящую эпоху) прогнозов. Оставляя в стороне краткосрочный прогноз (он строится на основе анализа текущего эпизоотического состояния конкретного очага с учетом тенденции развития ведущих его компонентов), перейдем к обсуждению долгосрочных прогнозов.

Рассмотрим долгосрочный прогноз. В текущем II-летнем цикле № 21 минимум солнечной активности отмечен в 1976 г. На протяжении этого и последующих циклов, согласно эпохальному гидрометеорологическому прогнозу, будет преобладать зональная циркуляция, причем фронт прохождения циклонов должен смещаться от высоких широт к более низким, т.е. распространяться на центральные и южные районы европейской части СССР. На этом фоне следует ожидать дальнейшей стабилизации экосистем очагов сусликового типа, прерываемых развитием эпизоотий чумы в годы аномального хода температур и осадков.

Очередная активизация очагов (после волны 1972-1973 гг.) должна произойти в 1981-1982 гг., т.е. на максимуме текущего II-летнего солнечного цикла или год спустя после него (1982 г.), когда не исключены крупные возмущения ГМП и нарушения западной циркуляции в результате формирования глубоких антициклонов над восточным сектором Европейского континента. Возникновение второй эпизоотической волны вполне вероятно в 1985-1986 гг., т.е. на нижнем отрезке ниспадающей ветви цикла № 21 или в его минимальную фазу (см.прогностические кривые на рис.51).

Перейдем к сверхдолгосрочному прогнозу. Из кривых, приведенных на рис.51, следует, что восходящая ветвь 3-го векового цикла солнечной активности достигла максимума на рубеже 60-х и 70-х годов. Исходя из того что в ближайшие три-четыре десятилетия солнечная активность будет неуклонно снижаться при одновременном развитии процессов зональной циркуляции, в предстоящую эпоху (на нисходящей ветви 3-го векового цикла) следует ожидать заметную активизацию очагов сусликового типа. Такая тенденция, вообще говоря, уже проявилась в начале новой эпохи, когда еще шло "противоборство" меридиональной и зональной форм циркуляции атмосферы. Имеются в виду возникновения эпизоотий чумы в 1970 г. (Терско-Сунженское междуречье), в 1971 г. (Центральный Кавказ - Приэльбрусье), в 1972-1973 гг. (Северо-Западный Прикаспий - Ергени и Сарпинская низменность) и в 1975 г. (Кумыкская степь Дагестана). Не исключено, что по мере восстановления численности сусликов чума проявится и на других территориях, в том числе в полупустынно-степных очагах Волго-Уральского междуречья и Зауралья.

Максимальную активность очаги сусликового типа должны обрести к 2000 г. (последний отрезок нисходящей ветви 3-го векового солнечного цикла), если, конечно, к этому времени процесс интенсивного освоения человеком целинных земель (распашка, орошение) не коснется территорий, где сохраняются жизненные центры - ядра очагов.

В связи с оживлением очагов сусликового типа и неблагоприятным в целом прогнозом на ближайшие десятилетия, в течение которых ожидаются, кроме того, крупные подъемы численности мышевидных грызунов (1981-1982, 1985-1986 гг.), возникает необходимость усиленного эпизоотологического надзора не только за очагом Северо-Западного Прикаспия (включая его южную часть - Ногайскую степь), но и за другими очагами аналогичной структуры: Предкавказье, Центральный Кавказ (Приэльбрусье), Волго-Уральское междуречье и Зауралье.

Литература

1. Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973, 257 с.
2. Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Космос - Земля. Прогнозы. М.: Мысль, 1974, 288 с.
3. Рубашев Б.М. Проблемы солнечной активности. М;Л.: Наука, 1964, 362 с.
4. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1971, 280 с.
5. Дзерзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере северного полушария в XX отолетии. М.: Гидрометеоиздат, 1968, 240с.
6. Мустель Э.Р. Современное состояние вопроса о реальности корпускулярно-атмосферных связей. - В кн.: Солнечно-атмоосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с.7-8.
7. Покровская Т.В. Синоптико-климатологические и гелиогеофизические долгосрочные прогнозы погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1969, 254 с.
8. Покровская Т.В., Мандель Д.Г. О связи количества осадков на Европейской территории СССР и в Северном Казахстане с геомагнитной активностью и возможность вероятностного прогноза погоды. - В кн.: Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1974, с.347-352.
9. Эйгенсон М.С. Солнце, погода и климат. Л.: Гидрометеоиздат, 1963, 274 с.
10. Чижевский А.Л. Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. М.:Мосполиграф, 1930, 120 с.
11. Цимахович Н.П. Исследования по проблеме Солнце - биосфера в СССР. - Бюл. Радиоастрономич.обсерватории АН ЛатвССР, Рига, 1973, с.48-73.
12. Максимов А.А. Типы вспышек и прогнозы массового размножения грызунов. Новосибирск: Наука, 1977, 187 с.
13. Ягодинский В.Н. Космический пульс биосферы. М.: Знание, 1975, 144 с.
14. Виноградов Б.С.Материалы по динамике фауны мышевидных грызунов СССР. Л., 1934, 62 с.

I5. Формозов А.Н. Колебания численности промысловых животных. М.;Л.: КОИЗ, I935. I08 с.
I6. Щербиновский Н.С. Пустынная саранча шистоцерка. М.: Сельхозгиз, I952, 4I6 с.
I7. Верета Л.А. Принципы прогнозирования заболеваемости клещевым энцефалитом. М.: Медицина, I975, 85 с.
I8. Лавровский А.А. О периодической активности природных очагов чумы и причинах, ее обусловливающих. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, I97I, с.74-80.
I9. Лавровский А.А., Шевченко В.Л., Дробинский О.К. и др. Основные принципы долгосрочного прогнозирования эпизоотической активности природных очагов чумы различного типа. - В кн.: Международные и национальные аспекты эпиднадзора при чуме. Иркутск, I975, ч.I, с.4I-43.
20. Попов Н.В. Разработка основных принципов прогнозирования эпизоотий чумы среди малых сусликов в природном очаге Северо-Западного Прикаспия: Автореф.дис. ...канд.биол.наук. Саратов, I977, I9 с.
2I. Бурделов А.С. О цикличности изменений численности больших песчанок и эпизоотий в их популяциях. - Тр. Среднеазиат. противочумного ин-та (Алма-Ата), I959, вып.5, с.I77-I85.
22. Катола В.М. Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, I97I, с.I04.
23. Мамонтов И.М. О кратности отработок земель от сусликов. - Тр.Ростовского-на-Дону противочумн.ин-та, I957, т.I3, с.275-284.
24. Варшавский С.Н. Ландшафты и фаунистические комплексы наземных позвоночных Северного Приаралья в связи с их значением в природной очаговости чумы: Докл., представленный на соискание уч.степ.д-ра биол.наук по совокупности опубликованных работ. Саратов, I965, 76 с.

2. РЕАКЦИИ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ

2.I. Влияние солнечной активности на скорость окисления тиоловых соединений

Анализируя механизмы реакции живого организма на любые внешние воздействия, необходимо учитывать уровень структурной и функциональной организации системы, на котором реализуется данное воздействие. Речь идет о физиологических механизмах, в которых принимают участие определенные морфологические структуры (орган, ткань, клетка, клеточный органоид), или о биохимических механизмах, в которых участвуют некоторые молекулы и надмолекулярные комплексы.

Существенно, что многие гелиобиологические эффекты проявляются на разных биологических объектах. Так, с одной стороны, изменения солнеч-

ной активности сказываются на урожайности сельскохозяйственных культур /1/, приросте древесины /2/, интенсивности размножения рыб /3/, микроорганизмов /4/, насекомых и млекопитающих /5/, численности популяций лейкоцитов и эритроцитов в крови человека /6/, скорости генерации органов и тканей /7/. С другой стороны, в патогенезе инфарктов миокарда, мозговых инсультов, гипертонических кризов, достоверно коррелирующих с солнечной активностью, играют важную роль деструктивные изменения сосудистой стенки, повышение ее проницаемости, нарушения регуляции свертывания крови и тонуса кровеносных сосудов. Следовательно, можно предположить, что многие известные ныне гелиобиологические эффекты в значительной мере обусловлены влиянием солнечной активности либо на деление и рост клеток, либо на мембранную проницаемость.

Каковы же биохимические механизмы этих эффектов? Ответ на этот вопрос не выходит за рамки гипотез, опирающихся на некоторые экспериментальные факты. Многолетними исследованиями Дж.Пиккарди /8,9/ показано, что от уровня солнечной активности зависит скорость выпадения окоихлорида висмута из коллоидной фазы, которая образуется при гидролизе хлористого висмута. Эти наблюдения позволили Пиккарди /8/ высказать предположение, что и биологические коллоиды, находящиеся в водной среде в состоянии неустойчивого равновесия, также должны реагировать на космические воздействия. Поскольку к таким коллоидам относятся белки и нуклеиновые кислоты, с которыми связаны основные проявления жизнедеятельности, гипотеза Пиккарди заслуживает серьезного внимания.

Физико-химическую сущность упомянутого явления Пиккарди связывает с изменением солнечной радиации и ЭМП Земли, влияющих на параметры коллоидных частиц, структуру воды и водных растворов. Рассматривая воду как сильно разбавленный раствор, содержащий ионы кальция, Л.Д.Киоловский /10/ видит главное звено молекулярного механизма реакции живых систем на воздействие солнечной активности в образовании и распаде гексааквакомплексов кальция в водной фазе клеток и тканей. Следствием этого могут явиться изменения структуры и свойств воды и изменения концентрации свободных ионов кальция, участвующих в ультраструктурной организации и регуляции проницаемости клеточных мембран, активации некоторых ферментов, регуляции свертывания крови.

Таким образом, основу биохимического механизма влияния солнечной активности на процессы жизнедеятельности, согласно /8-11/, составляют изменения физико-химических свойств воды клеток и тканей организма, что в свою очередь сказывается на биологических свойствах белков и клеточных мембран. Эти представления открывают пути к пониманию явлений, которые происходят на молекулярном и надмолекулярном уровнях живых систем, реагирующих на излучения Солнца, и объясняют в общей форме природу некоторых гелиобиологических эффектов. Вместе с тем предлагаемые гипотезы в общем виде затрагивают, очевидно, лишь некоторые стороны сложных биохимических процессов, обусловленных действием солнечной активности.

В настоящее время внимание исследователей привлекает роль тиоловых соединений в процессах жизнедеятельности. Как известно, эти соединения содержат высокореакционноспособные функциональные сульфгидрильные SH-группы, вследствие наличия которых они вступают в различные химические реакции, в частности реакции окисления, имеющие биологическое значение [12-14]. На скорость взаимодействия SH-групп с окислителями оказывают влияние химическая природа тиола и окисляющего вещества, их количественные соотношения, температура, pH среды. При поотоянстве этих факторов, казалось бы, скорость окисления тиола в повторяющихся опытах должна всегда оставаться неизменной.

В течение длительного времени мы определяли скорость окисления димеркаптопропансульфоната натрия (унитиол) нитритным ионом. Водные растворы унитиола и нитрита натрия, приготовленные на фосфатном буфере (pH 7,0), смешивали так, чтобы конечные концентрации реагирующих веществ соотавляли $6 \cdot 10^{-4}$ и $1 \cdot 10^{-3}$ М соответственно; смесь инкубировали в ультратермоотате при 39,5°С. Каждые 30 мин определяли остаточное содержание сульфгидрильных групп в инкубационной смеси амперометрическим титрованием [15], выражали его в процентах к исходному уровню и вычисляли разницу между первоначальным и остаточным количеством, по которой судили о количестве окисленных SH-групп. Графическим способом находили время, необходимое для окисления 50% SH-групп, или время полуокисления (ВПО) унитиола T_y; эту величину использовали для оценки скорооти реакции [14].

Оказалось, что ВПО сульфгидрильных групп, измеряемое в течение длительного времени в одинаковых условиях, не является постоянным. В отдельные дни одного или даже нескольких меояцев ВПО колеблется в относительно узком интервале времени, тогда как в другие дни его изменения заключены в широком диапазоне (табл.10). Как видно из таблицы, в начале 1971 г. среднее значение T_y оставляло 146 ± 19 мин при уровне вероятности 99%. К весне 1972 г. T_y уменьшилось и в апреле равнялось 112 ± 8 мин при этом же уровне вероятности. Вместе с тем ВПО резко сокращалось в период 20-22.I.71 и 22.IУ.72 г. Убедившись в том, что колебания T_y не связаны с техническими погрешностями опыта, мы пришли к заключению о возможном влиянии на кинетику наблюдаемой рекции внешнего фактора и попытались сопоставить полученные данные с уровнем солнечной активности. Однако удовлетворительной корреляции ВПО с числами Вольфа, характеризующими относительное число солнечных пятен, обнаружить не удалось. Между тем сведения, публикуемые в бюллетене [16], свидетельствуют о том,что 20 и 21.I.71 г. наблюдалось многократное увеличение (против обычного) уровня потока радиоизлучений Солнца в диапазоне 204 и 234 МГц. В этот же период зафиксированы и другие необычные явления на Солнце: хромосферные вспышки с несколькими максимумами яркости (22,23.I.71), появление очень протяженной активной области 21 и 23.I и области, активной в течение дня (20 и 22.II). Значительное

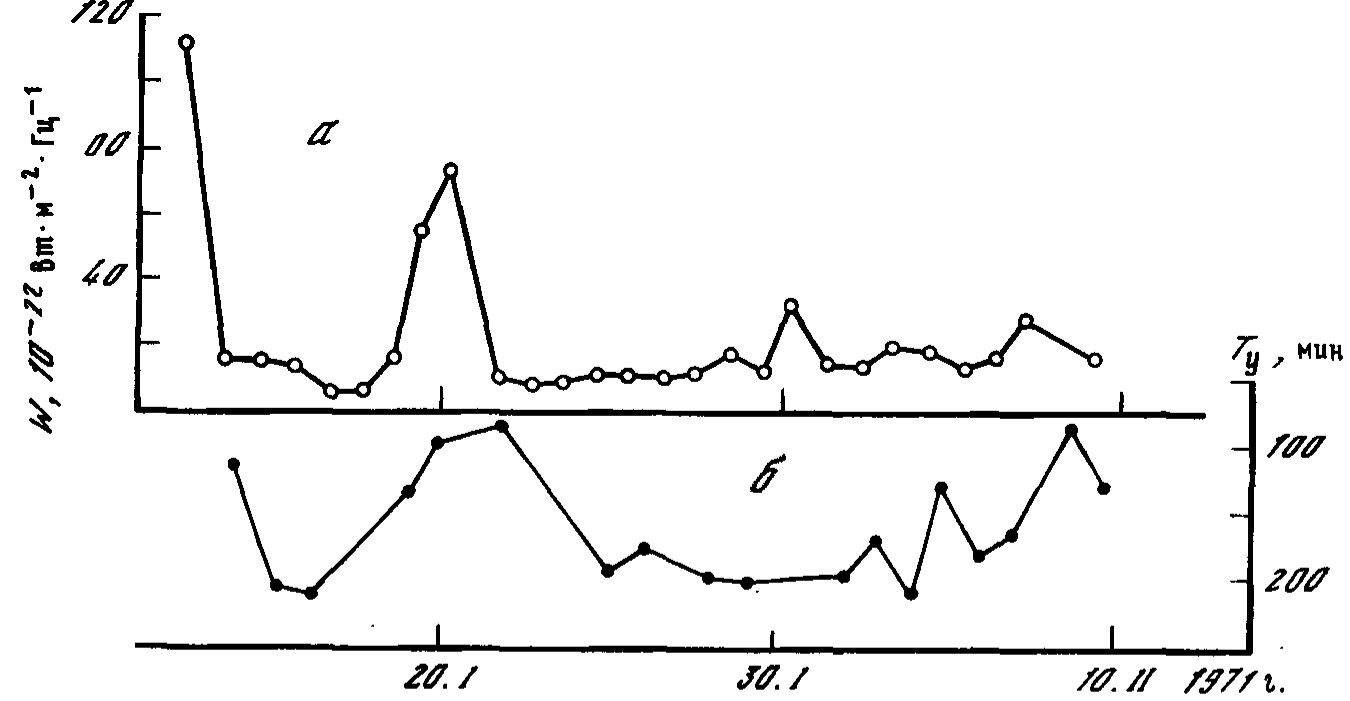
Таблица I0

Время полуокисления унитиола нитритом натрия в январе–феврале I97I и в апреле I972 г.

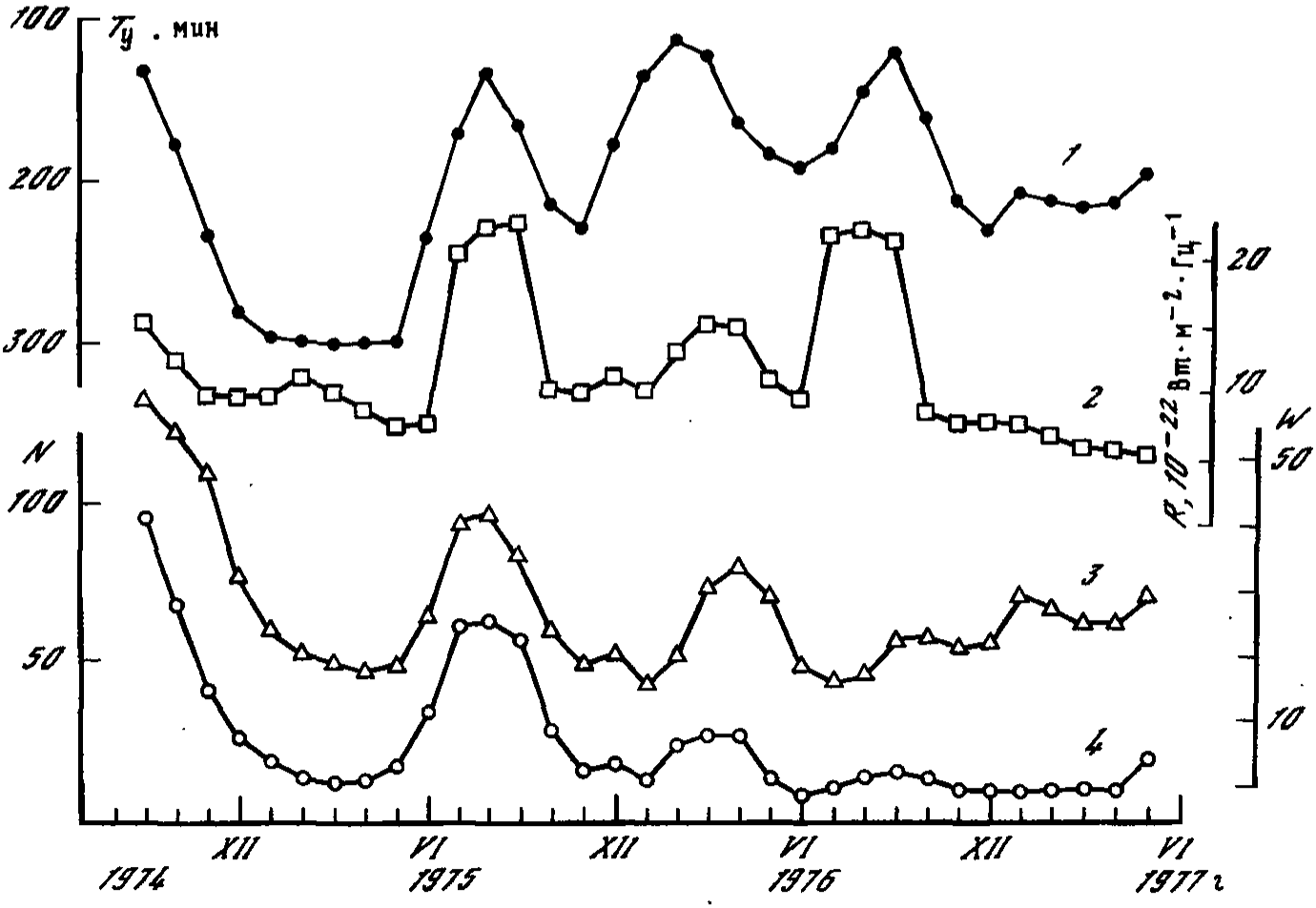
Дата	T_y, мин	Дата	T_y, мин	Дата	T_y, мин	Дата	T_y, мин
I5.I.7I	I74	9.II.7I	I30	I.IУ.72	I20	I9.IУ.72	II2
I6	I85	I0	I00	3	II6	2I	I00
I9	II0	II	II0	4	II2	22	60
20	75	I2	II0	5	II0	24	I20
22	60	I5	I20	6	88	25	I30
25	I74	I6	I34	7	I20	26	I05
26	I60	I7	I05	8	I20	27	II5
28	I85	I8	I78	I0	I25	28	I20
29	I90	I9	90	II	II8	29	I35
I.II.7I	I90	20	2I0	I2	I20		
2	I66	22	200	I3	I05		
3	205	24	I40	I4	98		
4	I26	25	I35	I5	II6		
5	I80	26	I90	I7	II6		
6	I66	27	I70	I8	II2		
8	85						
	$\bar{T}_y$ = I46				$\bar{T}_y$ = II2		

усиление потока радиоизлучений в диапазоне I00 МГц наблюдалось 2I и 22.IУ.72 г., причем 2I апреля в метровом диапазоне радиоволн был зарегистрирован необычный всплеск продолжительностью 2I0 мин [I6].

Удовлетворительная корреляция между уровнем солнечной активности и скоростью окисления SH-групп была обнаружена и при сопоставлении потока радиоизлучений [I6] с ВПО унитола (рис.52). Можно полагать, что воздействие гелиофизических факторов аналогичным образом сказывается и на характере окислительно-восстановительных реакций, протекающих с участием других тиоловых соединений и окислителей. Так, результаты, тождеотвенные описанным выше, наблюдались в опытах по окислению цистеина нитритом или окислению унитиола адренохромом [I7]. Заслуживает особого внимания тот факт, что адреналин, который обычно не взаимодействует с сульфгидрильными группами, блокировал до 60% SH-групп унитиола во время мощной хромосферной вспышки I6–I8 декабря I970 г. [I6]. По-видимому, в это время резко усилилось спонтанное окисление адреналина кислородом воздуха, что и привело к образованию его окисленных производных типа дегидроадреналина и адренохрома, способных блокировать тиоловые группировки [I7]. Отсюда следует, что



Р и с. 52. Изменение радиоизлучения Солнца (средний поток за 2 ч наблюдений) на частоте 234 МГц (а) и ВПО унитиола (б) в январе – феврале 1971 г.



Р и с. 53. Динамика изменений ВПО унитиола T_y и показателей солнечной активности в 1974 – 1977 гг.

1 – ВПО (для наглядности сопоставлений шкала ВПО перевернута), 2 – радиоизлучение Солнца на частоте 200 МГц (средний поток за 3 ч наблюдений), 3 – числа Вольфа, 4 – общее количество хромосферных вспышек за месяц (величины 1 – 3 – средние за месяц)

возрастание солнечной активности приводит к увеличению скорости окисления тиоловых соединений. Об этом же свидетельствуют результаты ежедневных измерений ВПО унитиола за более длительный период - 34 мес (с сентября 1974 по июнь 1977 г.).

Для характеристики уровня солнечной активности использовали следующие показатели за месяц: среднее значение чисел Вольфа (W); среднее значение интенсивности потока радиоизлучений R с частотой 200 МГц и общее число N хромосферных вспышек. Источником сведений об ежедневных значениях W и N служили месячные бюллетени Пулковской обсерватории [18]. Кривые, характеризующие динамику изменений ВПО унитиола и солнечной активности за период наблюдений, приведены на рис.53. Для устранения мелких и случайных колебаний проведено сглаживание рядов по трем точкам по формуле невзвешенной скользящей средней [1].

Из рис.53 следует, что скорость реакции и уровень солнечной активности в различные месяцы изменялись значительно. Сопоставление кривых приводит к заключению, что окисление унитиола сильно ускорялось в периоды возрастания солнечной активности. Параллелизм в ходе кривых, наиболее отчетливо выраженный на участке 1974-1975 гг. свидетельствует о наличии связи между ВПО унитиола и солнечной активностью, на что указывают значения коэффициентов корреляции, приведенные в табл.II.

Неоднократно высказывалось мнение о том, что, с одной стороны, солнечная активность влияет на состояние ЭМП Земли, а с другой - многие биологические процессы зависят от состояния ГМП [1,16,18]. По мнению Пиккарди [8], существование связи биологического эффекта с действием МП подтверждается наличием его суточных изменений и тем, что этот эффект ослабляется металлическим экраном. Для выяснения механизмов изменений ВПО Р.Н.Павловой были предприняты две серии опытов. В одной из них смесь унитиола с нитритом инкубировали 120 мин в параллельных пробах в темноте под экранами из черной бумаги и листовой меди, определяя по окончании инкубации содержание сульфгидрильных групп. В опытах другой серии определяли время полуокисления унитиола нитритом в 9 и 17ч(табл.12). Полученные результаты показали, что скорость окисления снижалась в среднем на 50% под металлическим экраном и на 42% - во второй половине суток, что позволяет связать колебания ВПО с действием ЭМП. Касаясь вероятных механизмов этой связи, нельзя не обратить внимания на гипотезу Л.Д.Кисловского [10] относительно возможности образования свободных радикалов в водных растворах при воздействии сил электромагнитной природы, поскольку способность свободных радикалов инициировать окислительные реакции общеизвестна.

Таким образом, в результате происходящих на Солнце хромосферных вспышек становится возможным появление в клетках и тканях живых организмов частиц с высокой степенью сродства к электронам. Поскольку в

Таблица II

Коэффициенты корреляции ВПО унитиола и величин, характеризующих уровень солнечной активности

Период наблюдений	$r(ВПО,N)$	$r(ВПО,R)$	$r(ВПО,W)$	$r(N,R)$	$r(N,W)$	$r(W,R)$
1974–1975 гг.	–0,87	–0,82	–0,68	0,86	0,89	0,42
1976–1977 гг.	–0,47	–0,65	–0,23	0,73	0,,48	–0,32
1974–1977 гг.	–0,30	–0,52	–0,20	0,81	0,79	0,15

Таблица 12

ВПО унитиола (мин.) в разное время суток в марте и апреле 1972 г.

Время, ч	Март				Апрель							Среднее
	23	28	29	30	4	5	12	13	14	17	19	
9 – 11	110	115	96	120	112	110	120	105	98	116	112	110±2,4
17 – 19	146	190	118	160	120	220	250	330	250	170	155	191±17

клетках присутствуют вещества, способные выполнить функции доноров электронов, возникают благоприятные условия для донорно-акцепторных взаимодействий, которые Сент-Дьердьи [19] относит к числу наиболее распространенных и самых важных биологических взаимодействий. Изменение равновесия между донорами и акцепторами электронов, по мнению Сент-Дьердьи, используется для регуляции различных функций клетки.

Одним из универоальных доноров электронов являются сульфгидрильные группы низкомолекулярных тиоловых соединений и белков, легко вступающие, как указывалось выше, в обратимые окислительно-восстановительные реакции [34], обусловленные переносом электрона. Известно, что с этой реакцией связан ряд биолсгических процессов, таких как клеточное деление [12,19], проницаемость клеточных мембран [14,20–23], биологические ритмы [13,24,25], ферментативный катализ реакций энергетического, углеводного, белкового и липидного обменов [26,27], функция нейрорецепторов [28–31], свертывание крови [32–33] и др.

Итак, экспериментальные исследования показали, что влияние солнечной активности на скорость окисления тиоловых соединений может иметь существенное значение в разработке механизмов действия Солнца на биологические системы.

Литература

1. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976, 366 с.
2. Битвинскас Т.Т. К вопросу о связи солнечной активности, климата и прироста насаждений. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с.57–61.

3. Протасов В.Р. Биоэлектрические поля в жизни рыб. М., 1972, 228 с. (Тр.ЦНИИ рыбного хозяйства).
4. Ягодинский В.Н. Гелиофизические факторы развития эпидемиологического процесса. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1973, т.18, с.47-66.
5. Максимов А.А. Динамика численности и ритмы эпизоотий у грызунов в сопоставлении с циклами солнечной активности. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с.61-74.
6. Шульц Н.А. О влиянии космических факторов на систему крови. - Пробл.гематологии и переливания крови, 1963, № 3, с.20-26.
7. Нагорский П.М. Об основах нового направления в советской медицине.- В кн.: Солнце, электричество, жизнь. М., 1972, с.15-17.
8. Пиккарди Дж. Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 96 с.
9. Пиккарди Дж. Солнечная активность и химические тесты. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с.141-147.
10. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. - Там же, с.147-164.
11. Дубров А.П. Гелиогеофизические факторы и динамика выделения органических веществ корнями растений. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1973, т.18, с.67-95.
12. Алов И.А. Цитофизиология и патология митоза. М.: Медицина, 1972, 264 с.
13. Сельков Е.Е. Два альтернативных автоколебательных стационарных состояния в метаболизме тиолов. - Биофизика, 1970, т.15, № 6, с.1065-1073.
14. **Barron E. Thiol groups of biological importance. - Adv. Enzymol., 1951, vol. 11, p. 201-266.**
15. **Kolthoff J., Harris W. Amperometric titration of mercaptans with silver nitrate. - Industr. and Eng. Chem.,Anal.,1946,vol.18,№3, p.161-162.**
16. Солнечные данные: Месячные бюллетени Пулковской обсерватории 1970-1972 гг.
17. Тимофеева В.М. Некоторые биохимические эффекты окисленных производных адреналина:Автореф.дис. ...канд.биол.наук. Л.: Лен.сан.-гиг.мед. ин-т, 1972.
18. Солнечные данные: Месячные бюллетени Пулковской обсерватории 1974-1977 гг.
19. Сент-Дьердьи А. Биоэлектроника. М.: Мир, 1971, 76 с.
20. Коштоянц Х.С. Белковые тела, обмен веществ и нервная регуляция. М.: Изд-во АН СССР, 1951, 99 с.
21. Герасимова Г.К., Нахильницкая З.Н. Роль сульфгидрильных групп в радиационном повреждении транспортной функции мембран эритроцитов. -

В кн.: Действие ионизирующего излучения на клеточные мембраны. М.: Атомиздат, 1973, с.51-57.
22. Соколовская Т.М. О биохимическом механизме острого отека легких при ингаляции двуокиси азота. - В кн.: Тиоловые соединения в биохимических механизмах патологических процессов. Л., 1979, с.13-18. (Тр.Лен.сан.-гиг.мед.ин-та; Т. 125).
23. Rothstein A. Sulfhydryl groups in membrsne structure and function. - Curr. Top. Membranes and Transp., 1970, vol. 1, p. 135-176.
24. Губин Г.Д., Герловин Е.Ш. Суточные ритмы биологических процессов. Новосибирск: Наука, 1980. 276 с.
25. Кооль А.Л.,Труупыльд А.Ю.О суточных изменениях активности дегидрогеназ в коре надпочечников крыоы. - Цитология, 1968, т.10, № 8, с.1064-1067.
26. Торчинский Ю.М. Сульфгидрильные и дисульфидные группы белков. М.: Наука, 1971, 229 с.
27. Соколовский В.В. Гистохимические исследования в токсикологии. Л.: Медицина, 1971, 174 с.
28. Черниговский В.Н. Интероцепторы. М.: Медгиз, 1960, 659 с.
29. Юрьева Г.К. Новые данные о роли сульфгидрильных групп белков во вкусовой чувствительности. - Биофизика, 1961, т.6, № 2, с.172-176.
30. Турпаев Т.М. Медиаторная функция ацетилхолина и природа холинорецептора. М.: Изд-во АН СССР, 1962, 140 с.
31. Трахтенберг И.М., Савицкий И.В., Тринус Ф.П. К анализу гипотензивного эффекта при воздействиях, связанных с инактивацией SH-групп. - Укр.физиол.журн., Киев, 1963, т.9, № 6, с.748-753.
32. Соколовский В.В. Тиоловые соединения в биохимических механизмах жизнедеятельности. - В кн.: Тиоловые соединения в биохимических механизмах патологических процессов. Л.,1979, с.5-9.(Тр.Лен.сан.-гиг.мед.ин-та; Т. 125).
33. Миронов Г.П., Молчанова Л.В. Реакции перехода $SH - SS$ при образовании фибрина. - Вопр.мед.химии, 1971, т.17, № 3, с.301-305.
34. Соколовский В.В. О биохимическом механизме реакции живых организмов на изменение солнечной активнооти. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1982, т.43, с.180-193.

2.2. Анализ рядов наблюдений с унитиоловым тестом

Статистическими исследованиями /1-3/ и прямыми опытами по моделированию геомагнитной бури показано, что слабые переменные магнитные поля инфранизкочастотного диапазона могут вызывать достоверные функциональные сдвиги в биологических объектах на разных системных уровнях - от молекулярного и клеточного /4,5/ до тканевого и органного /5,6/. Результаты многочисленных опытов подтвердили гипотезу о том, что ГМП является активным посредником действия СА на биосферные процессы. Однако по мере

Таблица I3

Характерные периоды изменения T_y и его среднего квадратического отклонения σ за I970–I976 гг.

Номер периода	Период наблюдений	T_y, мин	σ, мин	Характеристика реакции	Характеристика внешнего фактора
I	IX.7I – УI.72	II3	9	Устойчиво ускорена	Постоянно присутствует и и имеет минимальную флюктуацию
2	XII.74 – УI.75	298	I4	Устойчиво замедлена	Имеет минимальную (фоновую) интенсивность и мало флюктуирует
3	I4.IX.74 – I2.X.74	98	37	Резкое ускорение (T_y (I4.IX) = I70 мин, T_y (23.IX) = 45 мин)	Существенно усиливается по интенсивности
4	30.IУ.75 – 27.УП.75	I06	50	Резкое ускорение (T_y (30.IУ) = 280 мин, T_y (I0.УП) = 6I мин)	То же

накопления данных отало ясно, что предположение о единственности этого фактора вряд ли правомерно. Отмечено, что во время повышения СА наблюдается значительная дисперсия результатов опытов [6] вплоть до статистически достоверного образования новой группы эффектов и даже эффектов другого знака [7].

В статистических исследованиях связей между динамикой биологических процессов и уровнем геомагнитной активности, например [3,8], выявляется неоднозначность, выражающаяся в том, что в некоторые периоды нарушается устойчивость связей между процессами, появляются фазовые сдвиги, вплоть до эффектов опережения [8,9].

Отсюда следует, что опосредование СА осуществляется несколькими факторами, из которых пока изучена биоактивность только геомагнитных возмущений. Стало ясно, что неизвестный фактор (или факторы), в определенных ситуациях неявно участвуя во взаимодействии МП и биологического объекта, способен существенно изменять конечный результат этого взаимодействия.

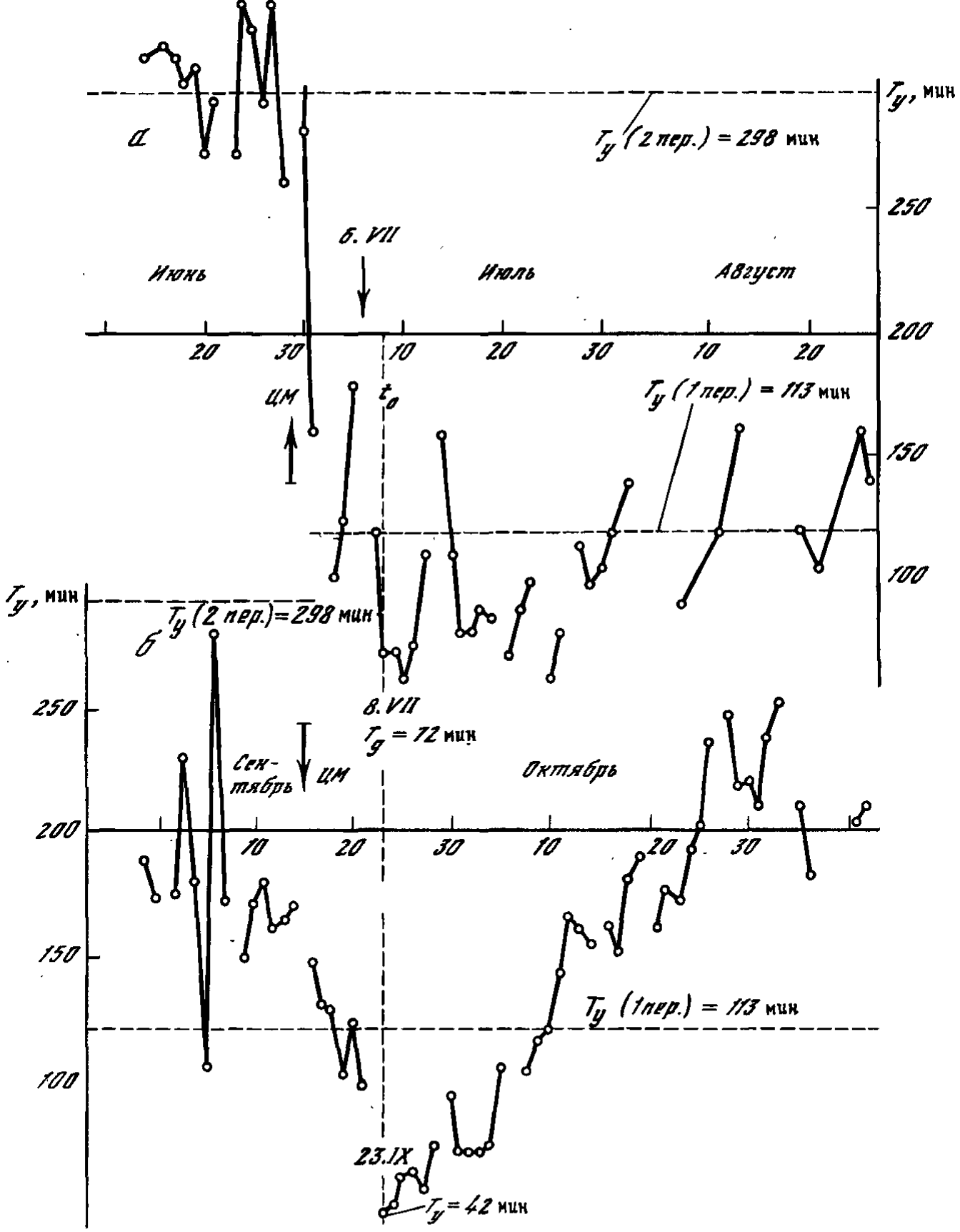
Важная биологическая роль реакции окисления тиоловой группы и "гелиочувствительность" этой реакции (см.п.2.I наст.гл.) послужили основанием для выбора именно этого теста с целью более подробного статистического и экспериментального изучения характера опосредования действия СА на биологические объекты.

Наблюдательный ряд - последовательность результатов ежедневных измерений времени полуокисления унитиола (T_y), проводимых с 1970 г. по настоящее время по единой методике в одни и те же часы при жесткой стандартизации условий опыта (ряд имеет пропуски в воскресные и праздничные дни, а также в отдельные периоды).

За период наблюдения T_y изменялось в диапазоне от 42 до 346 мин, отражая более чем семикратное изменение скорости реакции. Абсолютная погрешность измерений не превышает I-2 мин, что существенно меньше величины минимальной ореднемесячной дисперсии флюктуаций T_y.

Для анализа причинной обусловленности динамики T_y представляет интерес выделение характерных периодов, на протяжении которых кинетика реакции характеризовалась бы либо устойчивым значением T_y, отражающим стабильность действия внешнего фактора, либо наоборот - интенсивными их флюктуациями.

В табл.I3 представлены данные о средних значениях T_y и дисперсии σ за четыре периода, выделенных из всего наблюдательного ряда ежедневных значений. Первые два периода характеризуются незначительной дисперсией результатов наблюдений за значительные промежутки времени (7-I0 мес.). В первом периоде реакция устойчива и аномально ускорена - T_y почти в 3 раза меньше, чем во втором периоде, который характеризуется замедлением реакции - вплоть до значений T_y порядка 300 мин. Третий и четвертый периоды отличают резкие относительно кратковременные и однонаправленные (в сторону ускорения) изменения значений T_y.



Р и с. 54. Динамика ежедневных значений времени полуокисления унитиола T_y для аномальных периодов 1975 г. (а) и 1974 г. (б)

Кривые совмещены по моменту t_0 наступления минимума T_y. Стрелки ЦМ – времена прохождения активных областей на Солнце через его центральный меридиан; отметка 6.VII.75 г. – начало активации вулканической деятельности на Камчатке

Ускорение реакции так же, как и между первыми двумя периодами, в 3 раза происходит за несколько дней до вспышки и является аномальным на фоне устойчивого замедления реакции.

На рис.54 можно видеть оба периода резкого уменьшения T_y, совмещенные во времени по моменту (t_0) достижения максимально ускоренной реакции. Здесь же отмечены для сравнения уровни T_y первого и второго периодов. Сопоставляя динамику T_y в третьем и четвертом периодах, можно отметить элементы сходства в тенденциях изменения T_y во времени: длительность спада в обоих случаях ооставляет 7-8 дней, одинаков и колебательный характер обоих процесоов, что, возможно, свидетельствует о сходстве механизмов активации некоторого фактора в указанные периоды.

Резкие перепады уровня T_y могут наблюдаться и в устойчивые эпохи на фоне сравнительно небольших средних значений флюктуаций T_y, однако они кратковременны: длительность отдельных выбросов не превышает одного дня. По сравнению с этим сроком изменения T_y в третьем и четвертом периодах характеризуются постепенным снижением уровня. Характерна и суточная ритмика T_y. Наблюдения показали (см.п.2.I, табл.I2), что в вечерние часы независимо от времени года значения T_y увеличиваются почти в 2 раза, по сравнению со скоростью реакции окисления унитиола в утренние и дневные часы.

Весь наблюдательный материал представлен в табл.I4, где приведены усредненные значения T_y, его среднее квадратическое отклонение, а также числа Вольфа. Месячный интервал усреднения был выбран для сглаживания исходного ряда, уменьшения его дисперсии, с целью выявления тенденции изменения кинетики реакции.

Для выявления связи между динамикой теста и гелиофакторами был использован регрессивный анализ без введения априорных гипотез о характере возможной корреляции, ибо применение метода линейной корреляции неадекватно [I] вследствие нестационарности ряда. Можно ожидать, что лишь усредненный ряд, отражающий устойчивые тенденции процесса при больших интервалах усреднения, будет удовлетворять гипотезе о стационарности.

Рассмотрим далее возможные физические факторы, которые могут быть ответственными за изменения T_y в связи с СА.

I. Интенсивность пятнообразования (числа Вольфа). Существует однозначная функциональная связь между долгопериодическими флюктуациями ВПО унитиола и уровнем солнечной активности (рис.55). Эмпирическое выражение этой связи:

$$T_y = -kW + b \,, \qquad (I)$$

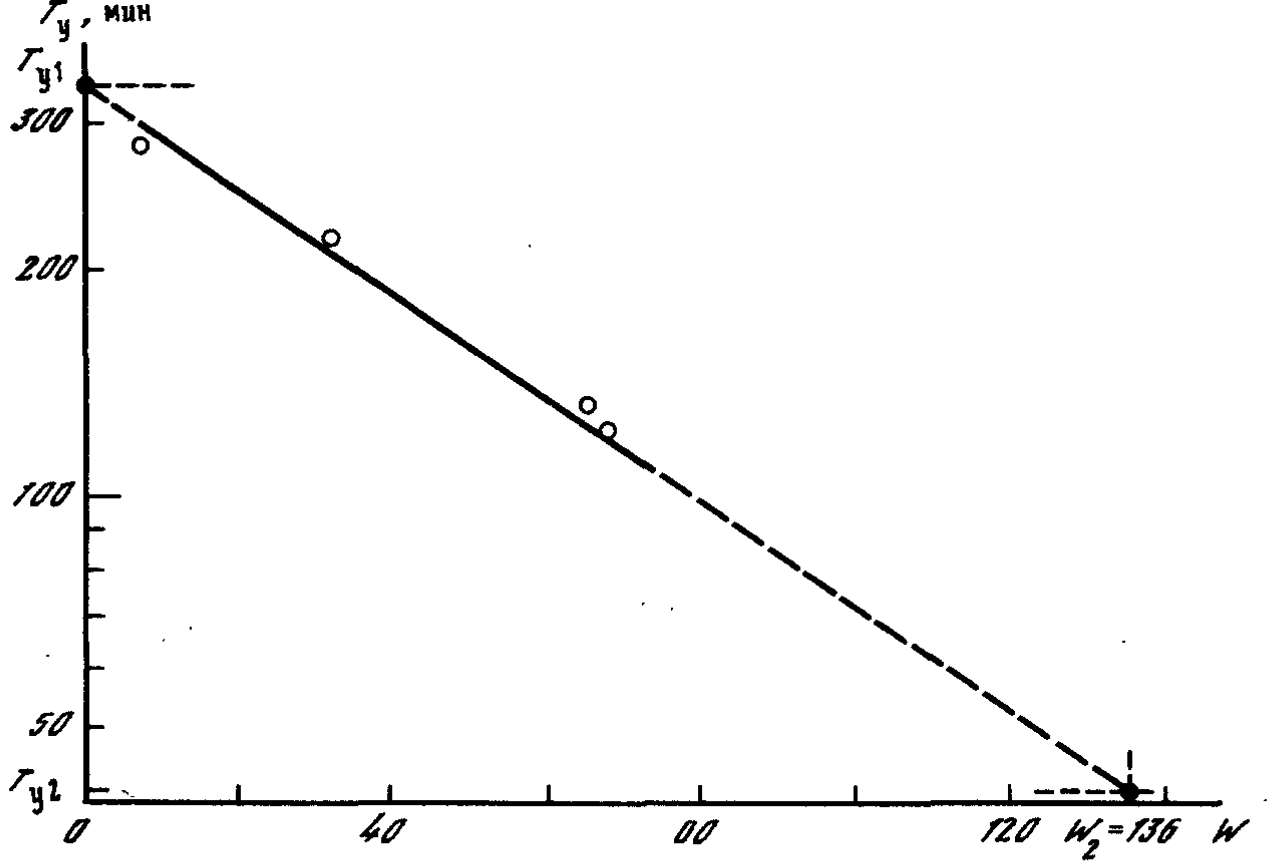
где k и b – константы. Определим граничные значения T_y, соответствующие экстремумам цикла СА. Для этого сопоставим наблюдаемые в эксперименте границы динамичеокого диапазона ежедневных значений T_y с теоретической оценкой преполагаемых границ его изменения для полного цикла СА. Продолжим прямую на рис.55 до точки $W = 0$, получаем $T_{y1} = 340$ мин , что

Таблица I4

Среднемесячные значения T_y (мин), его среднего квадратического отклонения σ и чисел Вольфа W за I970–I976 гг.

Месяц	I970 г.		I97I г.			I972 г.			I974 г.			I975 г.			I976 г.	
	T_y^*	W	T_y	σ	W	T_y	σ	W	T_y	σ	W	T_y	σ	W	T_y	σ
I	–	–	I38	92	9I	II9	9	62	–	–	–	300	I9	I7	II7	23
II	–	–	I54	37	79	II6	II	88	I40	25	26	300	I6	I2	90	28
III	I85	I03	I32	I8	6I	II4	8	80	258	70	2I	300	I3	5	I46	38
IУ	–	–	I25	I05	72	III	I5	63	2I0	30	40	300	I6	9	I74	23
У	I60	I28	–	–	–	I07	I0	8I	252	35	40	288	I9	II	I95	29
УI	–	– –	–	–	–	I06	8	88	245	27	36	300	I9	28	I94	24
УII	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	98	30	40	–	–
УIII	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	I29	26	I4	–	–
IX	–	–	II4	8	50	–	–	–	I38	67	40	I64	72	9	–	–
X	–	–	II7	8	52	–	–	–	I54	52	47	250	38	I9	–	–
XI	–	–	II0	5	63	–	–	–	255	34	25	224	52	8	–	–
XII	I40	84	I20	I0	82	–	–	–	297	I7	2I	2I2	59	9	–	–
Среднее	–	I05	I26	I6	67	II3	5	69	2I6	47	34	239	32	I6	–	–

Примечание. T_y^* – результаты нерегулярных наблюдений.



Р и с. 55. Зависимость среднегодовых значений ВПО унитиола (T_y) от чисел Вольфа

Пунктиром показаны участки экстраполяции прямой в области минимума и максимума солнечной активности

хорошо согласуетоя с верхней границей динамического диапазона изменения T_y (346 мин). Есть основания полагать, что линейная связь (I) будет справедлива и для области, соответотвующей максимуму СА. Действительно, значению нижней границы динамического диапазона T_{y2} = 42 мин , соответствует W_2 = I36. Эта оценка чисел Вольфа характерна для эпох максимума СА в последних циклах: за I947 г. W = I52, за I957 г. - I90, за I968 г. - I06. Таким образом, между среднегодовыми значениями T_y и числами Вольфа есть однозначная связь для всех фаз цикла СА, что свидетельствует о действии Солнца на кинетику реакции окисления унитиола.

При малых интервалах усреднения (за месяц и меньше) наблюдается искажение функциональной связи между T_y и W, так как числа Вольфа уже не могут адекватно и однозначно характеризовать интенсивность солнечного ветра, квазистационарных корпускулярных потоков и солнечного электромагнитного излучения.

Для"устойчивых эпох" (первого и второго периодов табл.I3) проведен спектральный анализ рядов ежедневных значений T_y и W по методу Блекмана и Тьюки [I07. Результаты обработки рядов наблюдений I97I г. показывают заметное сходство структур флюктуаций T_y и W (табл.I5).

Разность фаз между сходными гармониками T_y и W составляла $\Delta\varphi = 40 \pm 20^\circ$, что соответствует на временной шкале запаздыванию изменений теста по отношению к W на величину $\Delta t_1 = 3 \pm 1$ день.

Таблица I5

Результаты спектрального анализа рядов ежедневных значений T_y и W за I97I г.

T_y		W	
T	A^2	T	A^2
28,57	95	26,29	93
I7,2	70	I7,I	27
I3	35	I3,7	I8
I0	40	I0,8	22
8,8	20	8,4 - 4,7	I0 - I2

Обозначения: T - длительность периода гармоники в сутках,
A^2 - относительная спектральная мощность гармоники.

Для второго устойчивого периода (области, близкой к минимуму СА) отчетливой связи между T_y и W обнаружено не было, так как изменения этих параметров происходили в пределах погрешности используемых методов.

Особенно интересны результаты анализа "переходной" эпохи - ежедневного ряда данных I974 г. Для этого периода на фоне снижения СА характерна отчетливая динамика чисел Вольфа и ВПО унитиола. Однако связь между этими рядами однозначно не прослеживается. В спектре мощности ряда T_y отчетливо выделяются группы гармоник с периодами от I4 до I9 и от 6 до 8 дней. Такая ритмика /II/ может быть связана с периодичностью пересечения Землей секторов ММП (см.гл.II,п.I.3).

Методом наложения эпох по результатам анализа вспышек, приводящих к изменению T_y, определено среднее время запаздывания изменений относительно момента вспышки: $\Delta t_2 = 3 \pm 1$ день, что совпадает с оценкой запаздывания Δt_1, характерного для процессов, связанных с нарушением атмосферной циркуляции при вторжении корпускулярной радиации в верхние слои земной атмосферы /I2/.

Имеются указания на то, что период I97I-I973 гг. характеризовался повышенной и устойчивой концентрацией мягких космических лучей в околоземном пространстве /I3/. В этот же период уровень полуокисления унитиола сохранялся относительно стабильным и имел минимальную дисперсию за весь наблюдательный период (см.табл.I4). Аномальным снижениям T_y (см. табл.I3, периоды 3 и 4) предшествовали большие форбуш-понижения интенсивности космических лучей (4,5%), при этом момент снижения уровня T_y запаздывает на одни сутки по отношению к моменту прохождения активной области через центральный меридиан Солнца, что соответствует времени распространения корпускулярной радиации от Солнца до Земли.

2. Радиоизлучение Солнца. Регрессионный анализ рядов ежедневных и

ежемесячных значений T_y и интенсивности радиоизлучения на частотах 100 и 200 МГц не выявил однозначной связи между ними. Совпадение усиления интенсивности (более чем в 100 раз по отношению к фону) радиоизлучения на частоте 100 МГц со снижением T_y 23-24 сентября 1974 г. не может объяснить монотонность снижения уровня T_y в предшествующие дни, когда радиоизлучение было на уровне фона.

3. УФ-излучение. Известно, что действие ультрафиолетовой радиации ускоряет процесс окисления тиолов. Однако экспериментально установлено, что применение экрана из темной бумаги не приводит к изменению T_y, а при облучении реакционной смеси кварцевой лампой T_y снижалось всего на 5-10%. Таким образом, ультрафиолет должен быть исключен из рассмотрения как фактор, ответственный за динамику T_y.

Учитывая времена запаздывания биоэффекта относительно момента солнечной вспышки, а также особенности динамики T_y, заключаем, что неизвестный фактор принадлежит к числу "вторичных", опосредующих влияние СА через взаимодействие корпускулярных потоков с околоземной средой, и овязан, возможно, с нарушениями атмосферной циркуляции. Результат взаимодействия будет существенно зависеть от энергетического спектра корпускулярных потоков, их пространственной структуры и во многом определяться исходным состоянием геофизической среды [13-15].

4. Геомагнитные возмущения. Отождествлению неизвестного пока геофизического агента с геомагнитными возмущениями противоречат известные факты увеличения дисперсии результатов магнитобиологических экспериментов при усилении СА в отсутствие геомагнитных бурь. Регрессионный анализ рядов ежедневных значений индексов магнитной активности A_p, K_p и M и значений T_y привел к заключению об отсутствии связи между рядами. Не наблюдалось изменения T_y и в лабораторных экспериментах по исследованию действия слабых МП на кинетику реакции: было проведено около шестидесяти опытов [7] на частотах 0,5; 5,0 и 15 Гц при величине МП 40 мкТл и 0,34 мТл. Интересно, что в дни, когда значения T_y в контроле снижались до 80-100 мин., в МП наблюдалась тенденция к дополнительному снижению T_y, в ряде случаев в 2-3 раза. Однако эти эффекты отмечались лишь при максимальных исследуемых напряженностях и частотах МП. Полученные данные свидетельствуют о том, что МП могло оказать влияние на унитиол лишь в тех случаях, когда опытам предшествовало воздействие фактора, снижавшего устойчивость системы. Таким образом, если возмущения ГМП и участвуют в изменениях T_y, то только в сочетании с действием искомого фактора.

5. Электрическое поле атмосферы. По данным 1974 г. флюктуации ЭП атмосферы E можно исключить из числа факторов, влияющих на кинетику реакции окисления унитиола. Однако в ряде случаев изменения E с запаздыванием на 1-2 дня достоверно "следовали" за флюктуациями, коэффициент подобия при этом не оставался постоянным, что указывает на нелинейный характер возможной связи между рядами.

6. Естественная радиоактивность. Как известно, окислительные процессы относятся к классу химических реакций, чрезвычайно чувствительных к присутствию ионизирующего излучения. Показано [16], что резкое (более чем на порядок) увеличение скорости окисления тиолов можно наблюдать даже при незначительном увеличении концентрации свободных радикалов, поэтому сам факт зависимости скорости окисления унитиола от уровня радиоактивности не подлежит сомнению.

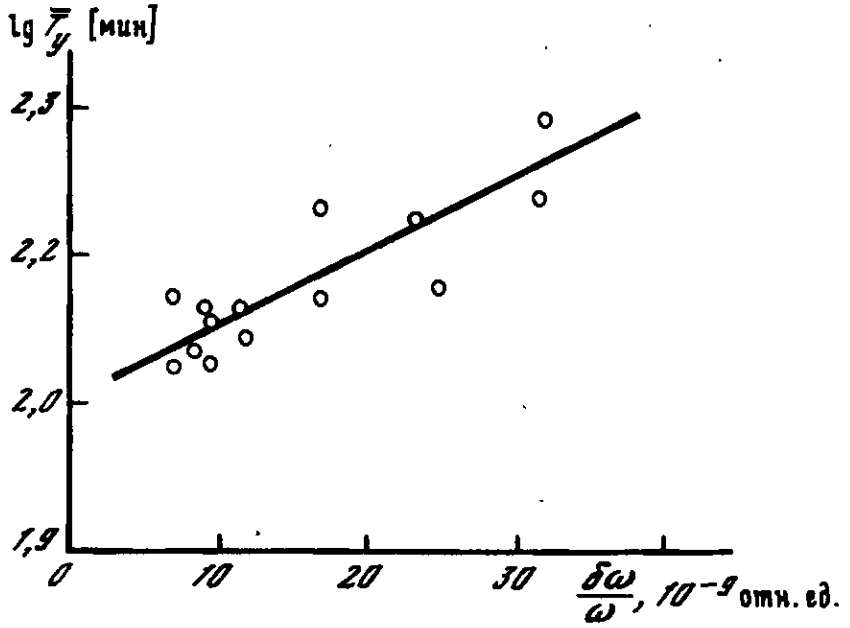
Рассмотрим возможность объяснения совокупности описанных экспериментальных фактов на основании гипотезы о солнечнообусловленных флюктуациях естественного радиоактивного фона, как одного из факторов, опосредующих влияние СА на биосферу. Для этого сопоставим оценки относительных изменений значений T_y и концентрации радиоактивных изотопов в приземном слое от нижней до верхней границ соответствующих динамических диапазонов. Для T_y эта оценка составляет $T_{y,макс}/T_{y,мин}$=346 мин/42 мин $\simeq$ 8.

О вариациях концентрации радиоактивных изотопов в естественных условиях можно судить лишь косвенно по изменению интенсивности гамма-излучения [17,18], поток которого может изменяться более чем в 40 раз.

Колебания уровня естественной радиоактивности определяются главным образом тремя причинами: базовой концентрацией космогенных радиоактивных изотопов в "стратосферном депо", условиями их диффузии из верхних слоев атмосферы к Земле и характером выделения радона из почвы [19-22]. Радиоактивность стратосферного депо меняется в широких пределах, коррелируя с уровнем СА по интенсивности корпускулярной радиации, точнее - по нуклонной компоненте первичных космических лучей [15,19,23]. При условии постоянной диффузии и стабильности конвективных процессов между стратосферой и нижними слоями атмосферы радиоактивный фон в приземном слое будет в среднем определяться уровнем радиоактивности стратосферного депо и коррелировать с уровнем СА. Именно такая ситуация была характерна для первых двух устойчивых периодов изменения T_y (ом.табл.13, периоды 1,2).

Первый период характеризуется повышенной концентрацией мягких космических лучей в околоземном пространстве, второй - типичен для периода спокойного Солнца и, следовательно, ослабленного солнечного ветра. В переходный период (начало 1974 г.) в ритмике изменения T_y прослеживалась характерная периодичность, овязанная с пересечением Землей оекторов межпланетного магнитного поля.

Известно, что условия диффузии стратосферного воздуха в нижние слои атмосферы не остаются постоянными. Коэффициенты турбулентности и вертикальной турбулентной диффузии имеют четко выраженный суточный ход: в утренние часы с восходом Солнца их величина [19] возрастает в 2-6 раз по сравнению с вечерними и ночными часами. Соответственно изменяется и уровень радиоактивнооти, возрастая в дневные часы [19]. Суточная ритмика флюктуаций радиоактивности хорошо согласуется с суточной вариацией T_y, которой свойственно ускорение реакции в дневные часы почти в 2



Р и с. 56. Зависимость среднемесячных значений логарифма ВПО унитиола от относительных вариаций угловой скорости вращения Земли за 1971 - 1972 гг.

раза. Такой механизм мог бы объяснить и суточную динамику тестов Пиккарди [24], Х-агента Х.Мориямы [25] и изменения флоккуляции в тесте М.Таката [26].

Существенно подчеркнуть, что заметное нарушение циркуляции атмосферы может происходить не только вследствие собственных колебаний этой сложной системы, но может зависеть от характера неоднородностей солнечного ветра и галактического излучения [12,13,27,28]. Следовательно, причина изменения обоих факторов - базовой радиоактивности и условий конвекции - в ряде случаев общая и обусловлена повышением СА.

Если это так, то должна наблюдаться корреляция флюктуаций T_y с глобальными нарушениями атмосферной циркуляции, сказывающимися на изменении скорости вращения Земли.

На рис.56 сопоставлены среднемесячные значения логарифма T_y и изменения угловой скорости вращения Земли за 1971-1972 гг. [29]. Связь между ними указывает на то, что фактор, влияющий на тест, зависит от глобальных изменений циркуляции атмосферы и перестройки в широких масштабах структуры барических полей. Эту корреляцию подтверждает сравнение аномальной флюктуации T_y и данных по изменению длительности земных суток осенью 1974 г. [30].

Максимум флюктуаций периода вращения Земли совпадает по времени с достижением максимума отклонения T_y от фонового значения. Тот факт, что моментам изменения скорости вращения Земли и T_y предшествуют появления на центральном меридиане Солнца активных образований , указывает на солнечнообусловленный характер этих изменений.

Интересно, что в аномальные периоды изменений T_y (см.рис.54) наблюдались сравнительно редкие крупномасштабные погодные явления, свя-

занные с появлением мощных устойчивых антициклонов - необычное потепление зимой 1974 г. [31], засуха, охватившая обширные территории летом 1975 г. В то же время отмечено усиление вулканической [32,33] и тайфунной [34] активности.

Такие совпадения, с нашей точки зрения, не случайны, как не случайно и то, что эпицентры крупномасштабных нарушений циркуляции атмосферы наблюдались именно в областях, близких к району азиатской магнитной аномалии. Именно там преимущественно создаются наиболее благоприятные условия для прооачивания "протонного ветра" от Солнца из магнитосферной ловушки, что и приводит к нарушению стабильности энергетического баланса атмосферной циркуляции [13].

Следует отметить, что в сложном механизме солнечнообусловленных изменений атмосферной циркуляции существуют различия между случаями глобальных нарушений и локальной деформации барических полей. Во-первых, эти различия сказываются на временных особенностях диффузных процеосов. Напомним, что характерный временной сдвиг момента изменения T_y относительно появления активных областей на Солнце для устойчивых периодов $\Delta t_{1,2} = 3 \pm 1$ сут. При этом длительность запаздывания Δt, связанного с диффузными процесоами в атмосфере, меньше на время, необходимое для прохождения корпускулярным потоком расстояния от Солнца до Земли, и составляет величину $\Delta t = 2 \pm 1$ сут. Было показано, что для аномальных периодов задержка момента изменения T_y совпадает с Δt, однако скорость изменения процесса отличается существенно.

Во-вторых , существование указанных выше различий отражает и снижение вероятности связи изменений T_y с локальной перестройкой барических полей, поскольку они не обязательно связаны с воздействием СА и не всегда приводят к радиоактивным выпадениям. В силу последнего обстоятельства локальные флюктуации барометрического давления по всему ряду наблюдений не связаны с вариациями T_y. Однако интенсивные и долговременные повышения давления при градиенте более $5 \cdot 10^{-3}$ бар/сут и кратковременные флюктуации давления с градиентом более $1{,}5 \cdot 10^{-2}$ бар/сут коррелируют с ускорением процеоса окисления.

Поскольку интенсивность выделения радона из почвы (и других материалов) зависит от структуры, состава и состояния почвенного слоя и в значительной степени определяется его влажностью [19,22], была рассмотрена корреляция динамики T_y с уровнем осадков. Анализ показал, что эта связь отсутствует, следовательно, радоновая компонента не играет существенной роли.

Таким образом, исходя из общих закономерностей изменения фона естественной радиоактивности и химической природы изменения кинетики исследуемой реакции, можно рассматривать флюктуации фона естеотвенной радиоактивности в качестве одного из активных биотропных факторов, опосредующих действие СА на биосферу.

Из изложенного выше можно сделать заключение, что первичным факто-

ром, приводящим к флюктуациям значений времени полуокисления унитиола T_y, является приходящая к Земле корпускулярная радиация, определяемая главным образом уровнем СА. Существенную роль при этом играют процессы циркуляции атмосферы, условия обмена между верхними и нижними ее слоями. Полученные данные дают основание предполагать, что физическим агентом, непосредственно воздействующим на тест T_y, является ионизирующая радиация, вызванная присутствием естественных радиоактивных изотопов, концентрация которых контролируется как СА, так и условиями их диффузии из верхних слоев атмосферы, что в ряде случаев также зависит от СА.

Литература

I. Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, I97I, 260 с.
2. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, I974, I75 с.
3. Ковальчук А.В. О роли биологических ритмов в обеспечении связи организм-внешняя среда. - В кн.: Будущее науки. Естествознание и экология. Дубна: Изд-во центра перев.и науч.-техн.матер., I974, с.I5-I9.
4. Соколовский В.В., Музалевская Н.И., Павлова Р.Н. Структурные изменения мембраны эритроцитов и белков крови при действии слабого переменного электромагнитного поля. - В кн.: Матер.III Всео.симп. "Влияние магнитных полей на биологические объекты". Калининград, I975, с.74-75.
5. Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, I973, 84 с. (Тр.Крымск.гос.мед.ин-та; Т.53).
6. Ачкасова Ю.Н. Метаболизм и скорооть размножения микроорганизмов, развивающихся при экранировании электрических и магнитных полей. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, I973, с.5I-56. (Тр.Крымск.гос.мед.ин-та; Т.53).
7. Павлова Р.Н., Музалевская Н.И., Соколовский В.В. Влияние инфранизкочастотного электромагнитного поля малой напряженности на процессы окисления низкомолекулярных тиолов и гемоглобина. - В кн.: Системы адаптации и внешняя среда. Л., I975, с.I20-I23. (Тр.Лен.сан.-гиг.мед.ин-та).
8. Ковальчук А.В. Проблема связи организм-среда и длительные биологические ритмы. - В кн.: Кибернетические аспекты адаптации системы "человек-среда". М.; Научн.совет по комплексной проблеме "Кибернетика" АН СССР, I975, с.6I-66.
9. Вельховер С.Т. О некоторых функциональных свойствах коринебактерий. - Микробиология, эпидемиология и иммунология, I935, т.I5, вып.6, с.869-877.
I0. **Blackman R.B., Tukey J.W. The measurement of power spectra**

frcm the point cf view of oommunicatiens engineering. Pt I. – Bell Syst. Techn. J., 1958, vol. 37, N 1, p. 187–282.
II. Оль А.И. Ритмические процессы в земной атмосфере. – В кн.: Чтения памяти Л.С.Берга, XУ–XIX. Ритмичность природных явлений. Л.: Наука, I973, с.I48–I64.
I2. Мустель Э.Р. Солнечные корпускулярные потоки и их воздействие на атмосферу Земли. – Научные информации. Астросовет АН СССР, I968, вып.I0, с.98–I68.
I3. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, I973, 348 с.
I4. Мустель Э.Р. Солнечная активность и тропосфера. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, I97I, с.32–57.
I5. Дорман Л.И. Вариации галактических космических лучей. М.: Изд-во МГУ, I975, 2I4 с.
I6. Соколовский В.В., Соколовская Т.М., Щубина Л.Н. О биохимическом механизме токсического действия двуокиси азота. – Фармакология и токсикология, I974, № 4, с.469–47I.
I7. Гусев Н.Г., Машкович В.П., Вербицкий Б.В. Радиоактивные изотопы как гамма-излучатели. М.: Атомиздат, 279 с.
I8. Стром Э., Исраэль Х. Сечения взаимодействия гамма-излучения. М.: Атомиздат, I973, 253 с.
I9. Стыро Б.И., Луянас В.Ю., Шопаускас К.К. Радиоактивность атмосферы и метеорология. Вильнюс: Минтис, I975, 268 с.
20. Кароль И.Л. Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере. Л.: Гидрометеоиздат, I972, 365 с.
2I. Радиоактивность атмосферы. М.: Гидрометеоиздат, I972, I44 с.
22. Шемьи-Заде А.Э., Мамбетов Р.У. Измерения естественной радиоактивности воздуха в высокогорных условиях. – Атом.энергия, I974, т.36, № I, с.6I–62.
23. Фельдштейн Я.И. Вариации магнитных полей в межпланетном пространстве и на поверхности Земли. – Вестн.АН СССР, I973, № 8, с.I5–27.
24. Пиккарди Д. Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, I967, 96 с.
25. Moriyama H. Studies on X-agent. Effect of X-agent on erythrocyte sedimentation rate. – Jap. J. Microbiol., 1961, vol. 5, N 2, p. 223–235.
26. Mansurov S.M., Mansurova L.G., Rapoport Z.Ts., Vinogradova L.I. On some aspeots cf interplanetary medium relationship with earth's atmosphere and biosphere. – Phys. Solar. terr., Potsdam, 1977, N 4, p. 71–76.
27. Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды. Л.: Гидрометеоиздат, I974, 2II с.
28. Солнечно-земные связи. Л.: Гидрометеоиздат, I975, I28 с. (Тр.ГГО им.А.И.Воейкова; вып.355).

29. Сидоренков Н.С. Солнечные вспышки и вращение Земли. - Природа, 1974, № 2, с.104-105.
30. Annual report for 1974/ Bureau Intern. de l'heure. P., 1975. 186 p.
31. Найшуллер М.Г. Прогноз на февраль и ... февраль. - Природа, 1974, № 11, с.84-87.
32. Мощное извержение Апи-Сиау. - Там же, 1974, № 12, с.91.
33. Вулканическая активность в Японии. - Там же, с.91.
34. Найшуллер М.Г. Зимние сюрпризы в атмосфере. - Там же, 1975, № 4, с.112-113.

2.3. Сопоставление показаний унитиолового и акрилонитрилового тестов со спонтанными изменениями ферментативной активности нервной ткани

При разработке унитиолового теста было выдвинуто предположение о том, что факторы солнечной активности могут влиять на процесоы жизнедеятельности, воздействуя на скорость окисления клеточных тиолов (см.п.2.1 и 2.2 наст.гл.). К этим веществам отнссятся ферменты, каталитическое действие которых связано с присутствием сульфгидрильных групп. Особый интерес представляет, в частности, аденозинтрифосфатаза (АТФаза), катализирующая реакцию гидролитического расщепления АТФ с освобождением энергии, непосредственно используемой клеткой. В этой связи целесообразно сопоставить спонтанные изменения активности АТФазы с показаниями унитиолового теота за тот же период.

Учитывая ведущую роль нервной системы в регуляции функций органов и тканей организма, а также ее специфическую опособность реагировать на воздействие различных факторов внешней среды, в том числе и гелиотропных [1-3], очевидно, что нервная ткань - один из интереснейших объектов исследования, связанных с изучением механизмов реакции живых систем на флюктуации солнечной активности. Объектом исследования служила ткань головного мозга взрослых здоровых крыс обоего пола массой 150-200 г. Из мозга убитого животного готовили 10%-ный гомогенат на 0,18 М растворе хлористого натрия, охлажденном до 5°С. Суспензию центрифугировали, и надосадочную жидкость использовали в качестве источника ферментов. Общую активность АТФазы определяли по [4], содержание неорганического фосфора - по [5]. Среднюю активность фермента рассчитывали по трем параллельным измерениям, проводившимся в одно и то же время - с 16 до 18 ч, и оценивали ее, как и время полуокисления (ВПО) унитиола T_y (см.п.2.1,2.2). Оценку достоверности проводили по [6].

Результаты измерения активности АТФазы *a* головного мозга животных показали, что T_y и активность АТФазы находятся в прямой зависимости друг от друга (табл.16). Эта связь выявляется как при графическом ана-

Таблица I6

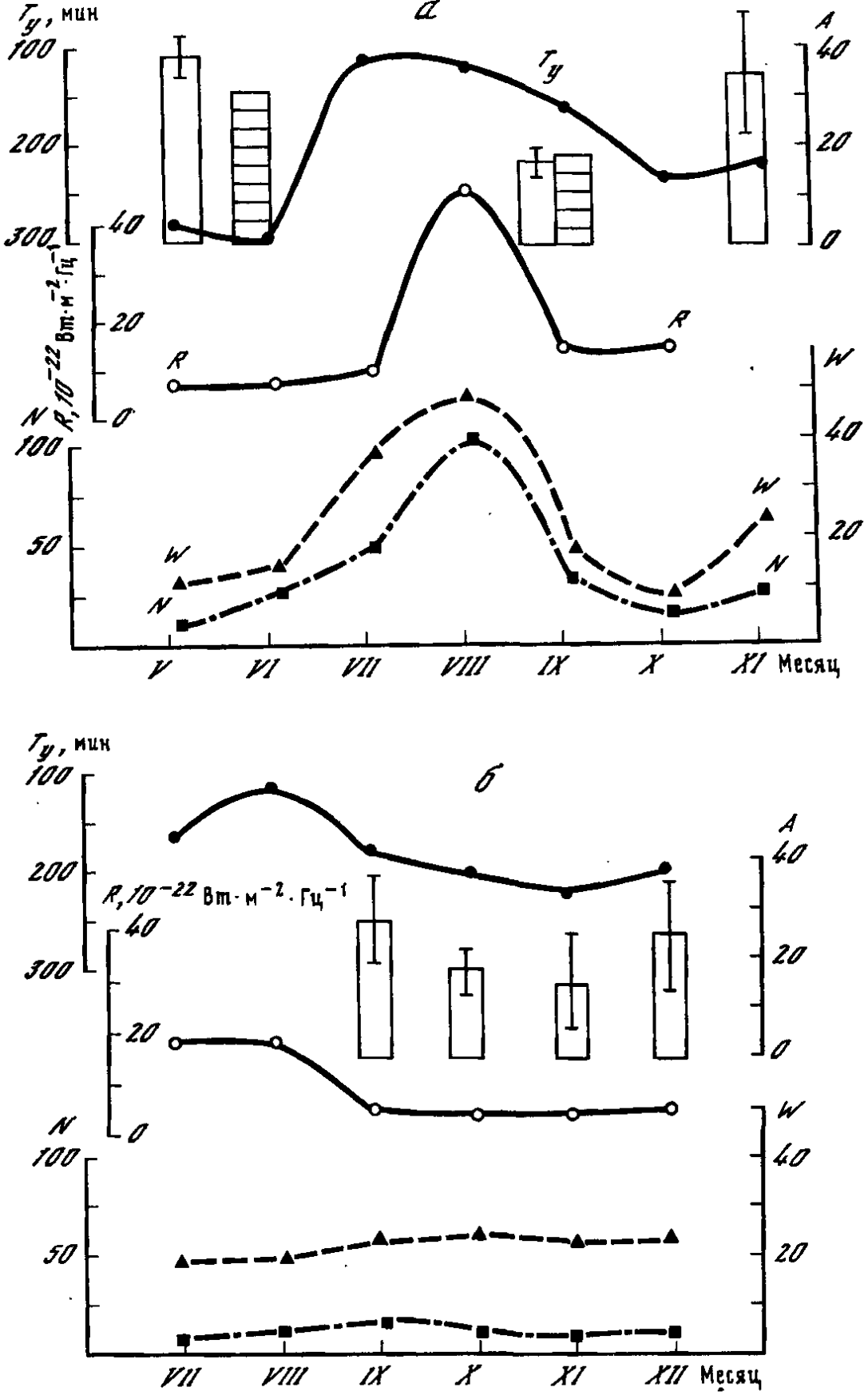
Изменение активности a АТФазы нервной ткани головного мозга белых крыс (в мкг фосфора/мг белка в 1 ч) и ВПО унитиола T_y (в мин) за 1975 г.

Дата	a	T_y	Дата	a	T_y	Дата	a	T_y
I5.У	-	300	I.IX	-	I40	I.XI	-	244
I6	-	264	2	I5,0	II0	3	29,6	309
I7	4I,0	262	3	I3,4	I48	4	-	4I0
I8	-	265	4	9,5	II8	5	-	256
I9	34,0	280	5	I0,2	I30	6	-	2I6
20	46,0	300	6	II,8	I04	II	38,0	350
2I	38,4	308	8	I2,I	I78	I2	7I,0	3I6
22	38,4	288	9	I0,9	II8	I3	-	I46
23	32,7	304	I0	9,0	88	I4	I3,2	I60
24	32,5	300	II	I0,7	84	I5	7,5	I70
26	42,0	270	I2	9,9	90	I7	44,5	I86
27	3I,5	284	I3	9,0	I00	I8	23,8	I80
28	48,0	298	I5	I0,7	I34	I9	37,0	I90
29	38,0	268	I6	7,5	42	20	20,5	I86
30	48,0	320	I7	9,5	70			
3I	-	295	I8	-	226			
			I9	-	2I2			
			20	II,9	206			
			22	I2,4	I80			
Среднее	39,5	288		I0,7	I32		36,0	237

лизе, так и при вычислении рангового коэффициента корреляции Спирмена, который оказался равным 0,85 при критическом уровне 0,45. Спорадические изменения АТФазной активности нервной ткани, наблюдавшиеся в 1975 г., не связаны с сезоном года, так как в мае и ноябре (разных месяцах сезона) величины активности фермента и значения ВПО были близкими, тогда как в сентябре и ноябре (месяцах одного сезона) наблюдалось резкое их различие.

Среднемесячный ход активности АТФазы (a), ВПО унитиола T_y и ряда гелиофизических показателей (числа Вольфа W, общего числа хромосферных вспышек N, радиоизлучения Солнца R на частоте 200 МГц) в мае–ноябре 1975 г. приведен на рис.57,а. Таким образом, данные, полученные в 1975 г. в опытах с АТФазой нервной ткани, свидетельствуют в пользу гипотезы о возможном влиянии солнечной активности на тиолосодержащие ферменты.

Вместе с тем анализ данных 1976 г. не выявил корреляции между



Р и с. 57. Динамика изменений солнечной активности, ВПО унитиола и активности АТФазы нервной ткани в 1975 г. (а) и 1976 г. (б) (среднемесячные значения)

Светлые столбики - активноотъ АТФазы нервной ткани крыс (в мкг фосфора (Р)/ ч на I г ткани), заштрихованные столбики - то же для зритроцитов барана (в мкг Р/ч на 100 мл суспензии эритроцитов)

ежедневными значениями ВПО и активноотью АТФазы; изучение среднемесячных показателей ооответствующих величин привело к обратной зависимости по сравнению с 1975 г. (рис.57,б). Возможно, это обстоятельство объясняется изменением некоторых действующих гелиогеофизических факторов, так как 1975 г. относится к последнему году двадцатого солнечного цикла, а 1976 г. - к восходящей ветви двадцать первого цикла. Заметим, что в 1976 г. резко ослабла связь между числами Вольфа, количеством хромосферных вспышек и интенсивностью радиоизлучений. Вместе с тем следует иметь в виду, что реакции АТФазы нервной ткани - объекта значительно более сложного, чем унитиоловый тест, могут быть не столь простыми и однозначными. К тому же фактор, непосредственно действующий и на унитиоловый тест, до сих пор недостаточно четко выявлен. Для определения действующего на унитиоловый тест гелисгеофизического фактора интересно сопоставить показания унитиолового и известного акрило-нитрилового тестов, а также изучить влияние на них инфранизкочастотного ЭМП малой интенсивности.

В связи с биологической значимостью инфранизких частот (ом.п.I.I наст.гл.) в течение нескольких месяцев изучалось влияние искусственного МП инфранизкой частоты и малой интенсивности на процесс полимеризации акрилонитрила (АН) и результаты исследования сопоставлялись с показаниями контрольного унитиолового теста (вне искусственного поля) за те же дни. Полимеризация акрилонитрила - классическая реакция на свободные радикалы - была применена [7] для исследования фактора космической природы, действующего на воспроизводимость известной реакции Пиккарди. Позднее Пиккарди показал, что полимеризация АН происходит также и под влиянием ЭМП частотой I0 кГц [8]. Один из возможных механизмов образования в водной среде свободных радикалов указан в работе [9].

Полимеризацию АН проводили по методике, приведенной в [7], в стационарных условиях при комнатной температуре в пробирках с 7%-ным водным раствором АН в присутствии инициатора $K_2S_2O_8$. С целью тепловой изоляции пробирки помещали в коробки из пенопласта. Одна группа пробирок была контрольной, другую помещали в неоднородное импульсное МП частотой 0,5 Гц (градиент около 50 мкТл/см). Контрольные образцы были удалены от источника поля на 4 м. Места расположения пробирок в поле и вне его были постоянными во всех опытах. Перепад температур в контрольных и опытных образцах не превышал $0,I^{\circ}C$. Продолжительность опыта составляла 9 ч. Выход полимеров определялся весовым методом после фильтрации продуктов полимеризации, тщательной промывки водой и этиловым спиртом и последующей сушки при температуре $40-50^{\circ}C$. Ошибка метода в данном случае не превышала 2%. Конверсия мономера (переход мономера в полимер) не превышала 50%. В 24 из 25 опытов наблюдалось увеличение скорости образования полимеров под действием МП, лишь в одном случае разницы между опытом и контролем не было. Вместе с тем разли-

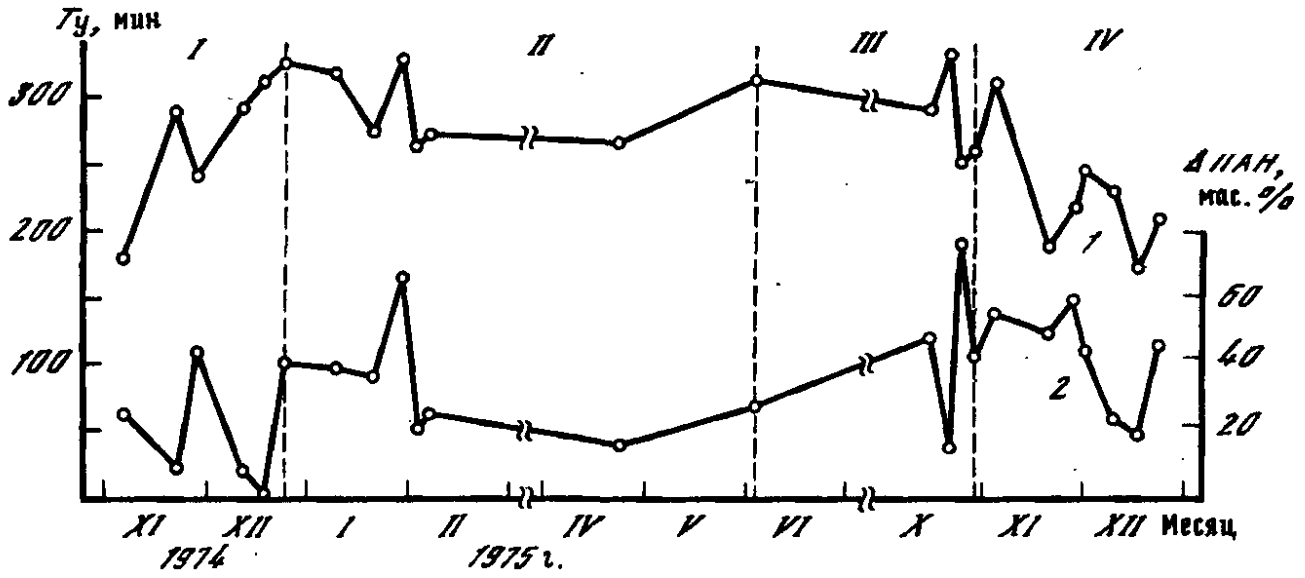


Рис.58. Изменения ВПО унитиола (I) и выхода полиакрилонитрила (Δ ПАН) в переменном МП (2) в течение 1974–1975 гг.

чия между контролем и опытом были несдинаковы в разные дни и колебались от 8 до 76 мас.%, в среднем составляя 35 мас.%.

Данные по изменению конверсии мономера (в %) получали статиотической обработкой материала и анализом достоверности различий между рядами контрольных и опытных данных. По критерию Колмогорова-Смирнова был выявлен нормальный характер распределений. Оценка достоверности различий проводилась по критерию Стьюдента. Средняя конверсия мономера в контрольных опытах составляла I7,I ± 2,9%, в опытах с МП – 22 ± 3,5%. Разброс выхода полимера в условиях эксперимента мог быть обусловлен колебаниями солнечной активности и связанных с нею геофизических факторов.

Об изменениях солнечной активности в дни постановки опытов следили по изменению ВПО унитиола. Распределение величин, характеризующих разницу в выходах опытных и контрольных образцов, предотавлено на рис.58 (кривая 2). Для сравнения на график нанесены величины T_y за тот же период времени (кривая 1). На графике прослеживается как прямая корреляция – участки П, IУ с синхронным ходом кривых, так и обратная – участки I, Ш. Число опытов, в которых повторяется синхронный ход, составляет 56% от общего числа.

Полученные данные свидетельствуют о влиянии на систему, кроме искусственно создаваемого МП, других внешних факторов, возможно, природных ЭМП, так как эксперимент проводился без экрана. Анализ полученных результатов приводит к следующим выводам:

I) существует зависимость скорости реакции полимеризации акрилонитрила от действия МП низкой частоты и малой напряженности. Эффект поля однозначен: полимеризация в МП ускоряется по сравнению с аналогичной реакцией в обычных условиях;

2) эффект в разные дни различается по интенсивности. Можно полагать, что этот факт обусловлен тем, что флюктуации ПМП, вызываемые ростом солнечной активности, накладываются на искусственно созданное поле;

3) ферментативная активность нервной ткани в основном коррелирует с показаниями унитиолового теста.

Таким образом, по результатам показаний унитиолового и акрилнитрилового тестов можно судить о возможных изменениях ферментативной активности нервной, а возможно, и иной изолированной ткани. При этом открывается перспектива испсльзования упомянутых тестов для контроля отабильности условий как при культивировании тканей, так и в процессах биотехнологии.

Литература

I. Иохаков В.П. К проблеме влияния солнечной активности на психические заболевания. - В кн.: Солнце, электричество, жизнь. М.: Изд-во МГУ, I972, с.70-7I.
2. Колодченко В.П. Влияние геомагнитных возбуждений на высшую нервную деятельность людей пожилого возраста. - В кн.: Тез.докл.XXI Укр. республ.научн.-техн.конф. Киев, I972, с.54-55.
3. Осипов А.И., Десятов В.А. К вопросу о механизме влияния колебательной активности Солнца на организм человека. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, I97I, с.204-209.
4. **Wittam R., Ager M. Vectorial aspects of adenosine triphosphatase aotivity in erythrocyte membranes. - Biochem. J., 1964, vol. 93, N 2, p. 337-348.**
5. **Berrenblum J., Chain E. The colorimetric determination of phosphate. - Biochem. J., 1938, vol. 33, p. 285-289.**
6. Беленький М.Л. Элементы количественной оценки фармакологического эффекта. Л.: Медгиз, I963, I52 с.
7. Пиккарди Дж. Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, I967, 96 с.
8. **Piccardi G., Cini R. - J. Polym. Sci., 1960, vol. 48, p. 393-398.**
9. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, I97I, с.I47-I64.

2.4.Корреляции макроскопических флюктуаций в биологических и физико-химических процессах с космогеофизическими факторами

В результате многолетней работы /I/ установлено, что в самых разных биологических, химических и физических процессах происходят синхронные во всех частях исследуемого объекта флюктуации различных измеряемых параметров - макроскопичеокие флюктуации (МФ). Амплитуды МФ, вычисляемые как отношение средне-квадратичных отклонений к средне-арифмети - ческим значениям измеряемых параметров, различны для разных процессов, протекающих в одно и то же время и для одного и того же процесса в ра-

зные периоды времени. Изменения амплитуды МФ коррелируют с различными космогеофизическими факторами: солнечной активностью, секторной структурой межпланетного магнитного поля, интенсивностью нейтронной компоненты космических лучей.

Низкочастотные временные составляющие МФ - тренды - оказываются иногда синфазными на расстоянии в несколько тысяч километров /2/.

Обратная корреляция амплитуды МФ и солнечной активности.

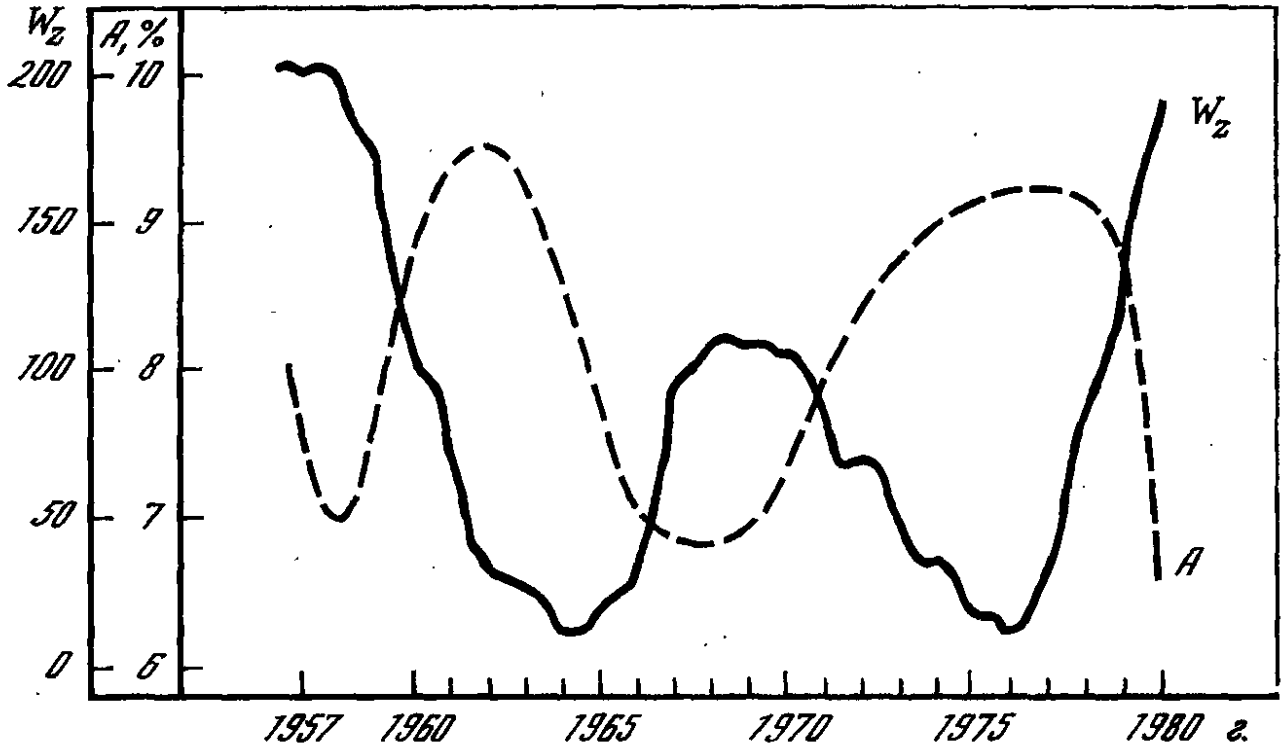
На рис. 59 сопоставлены изменения амплитуд МФ с числами Вольфа в опытах, проведенных в Москве и в Пущине за период 1957-1980 гг. Изменения амплитуд МФ аппроксимированы полиномом по методу наименьших квадратов. При этом сначала вычисляли среднюю амплитуду МФ всех (разообразных) опытов за соответствующий год. В 1957-1972 гг. основным объектом исследования МФ были растворы актомиозинового комплекса. В 1966-1978 гг. было проведено значительное число опытов, в которых измеряли ферментативную активность креатинкиназы. В 1976-1980 гг. в числе объектов исследований были самые различные ферменты (лактатдегидрогеназа, пируваткиназа, трипсин и др.), а также неферментативная реакция восстановления аскорбиновой кислотой (АК) дихлорфенолиндофенола (ДХФИФ)(см. /1/).

Как видно на рис. 59, существует отрицательная корреляция амплитуды МФ и солнечной активности, что позволяет предположить наличие связи амплитуды МФ с интенсивностью галактических космических лучей (ГКЛ), для которой также характерна обратная корреляция о солнечной активностью: солнечный ветер "выметает" ГКЛ из околосолнечного пространства /3/. Таким образом, изменения амплитуды МФ за период 1957-1980 гг. синфазны 11-летнему циклу в изменениях интенсивности ГКЛ.

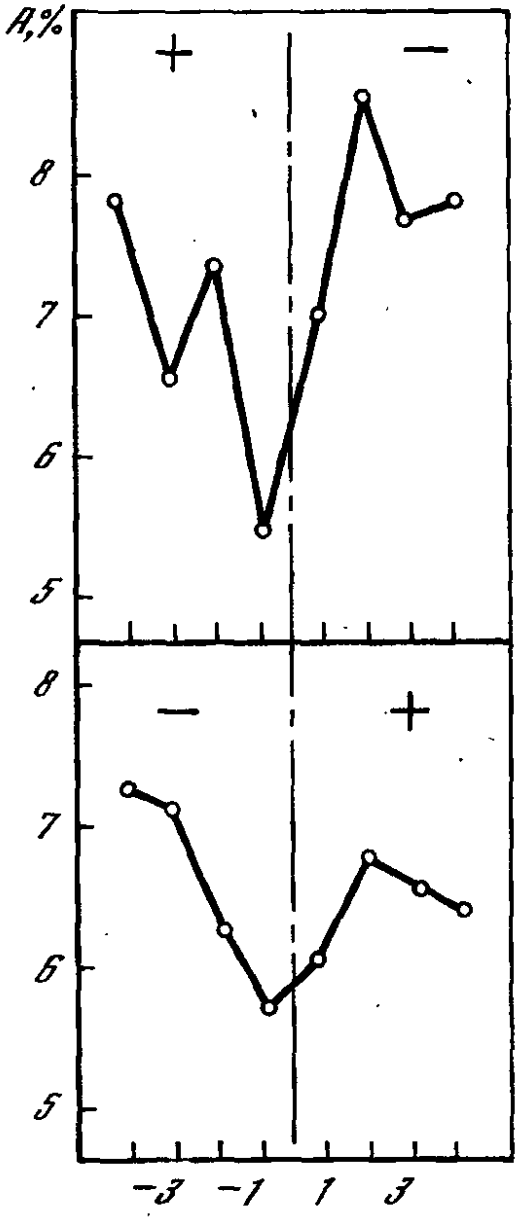
Более детальное исследование изменений амплитуды МФ показало, что в годы низкой солнечной активности выделяется полугодовой период с максимумами амплитуды в период прохождения Землей плоскости эклиптики - в октябре и в апреле. В годы высокой солнечной активности полугодовой период сменяется примерно годовым с максимумом зимой - в феврале, когда Земля ближе всего находится к Солнцу.

Опыты в период солнечного затмения 1981 г.

В связи с солнечным затмением были проведены 30, 31 июля и 1 августа 1981 г. непрерывные трехсуточные измерения МФ скорости реакции АК и ДХФИФ в десяти различных географических пунктах. Измерения были выполнены посредством автоматических установок - система "СПЛАВ" С.И.Бородина. Измерения повторялись каждые 30 с . В данном контексте существенна обнаруженная в этих опытах корреляция низкочастотных компонентов МФ и изменения нейтронной компоненты космичеоких лучей. Коэффициент корреляции для рядов среднечасовых значений МФ (сумма по пяти географическим пунктам средней широты: Пущино, Томск, Братск, Северо-Байкальск, Александров-Сахалинский) и ежечасных значений интенсивности нейтронной компоненты космических лучей без поправки на давление (Апатиты, Ташкент) равен 0,87 (уровень значимости $P < 0,001$).



Р и с. 59. Обратная корреляция изменений амплитуды МФ и солнечной активности по опытам 1957–1980 гг. W_z – числа Вольфа (Цюрихская обсерватория), А – среднегодовые значения амплитуд МФ



Р и с. 60. Амплитуда МФ в разные дни до и после прохождения границы секторов ММП. Средние данные по опытам в годы высокой солнечной активности в период 1957–1981 гг.

Отсчет по оси абсцисс ведется от момента смены знака сектора ММП

При сравнении хода МФ в этих опытах в различных географических пунктах с геомагнитными и ионосферными данными каких-либо корреляций обнаружить не удалось.(Рассматривались данные по напряженности геомагнитного поля, геомагнитной активности, ионосферные индексы.)

При исследовании корреляций между ходом МФ в различных географических пунктах был обнаружен широтный эффект: флюктуации в пунктах, лежащих примерно на одной широте, положительно коррелируют между собой.МФ в пунктах средней широты, перечисленных выше, отрицательно коррелируют с МФ в пунктах более южных широт(Кавказ и Самарканд).Непосредственно в ходе солнечного затмения наблюдались изменения формы спектра МФ.

Зависимость амплитуды МФ от секторной структуры ММП.

На рис. 60 представлена зависимость амплитуды МФ от времени относительно момента прохождения границы секторов межпланетного магнитного поля (ММП). За реперную точку брали день смены знака сектора ММП. Суммирование проводили по опытам в годы высокой солнечной активности.Эта работа была выполнена при консультациях и помощи Б.М.Владимирского.Из рисунка оледует, что прохождение границы сектора ММП предваряется уменьшением амплитуды МФ. Минимум достигается накануне прохождения границы сектора; на второй день после ее прохождения наблюдается максимум амплитуды МФ. В этот день, как правило, регистрируют наибольшую скорость и плотность частиц солнечного ветра вблизи Земли.

Возможная связь амплитуды МФ с плотностью среды в солнечном ветре была выявлена и при изучении корреляций внезапных резких подъемов амплитуды МФ с нейтронной компонентой космических лучей. Эта корреляция была получена в опытах 1979-1982 г. Понижение интенсивности космических лучей, обусловленное модуляцией ГКЛ на фронте ударной волны в солнечном ветре /3/,часто сопровождалось резким увеличением амплитуды МФ, затем, как правило, следует ее уменьшение ниже исходного уровня.

Таким образом, обнаруживается корреляция амплитуды МФ с космогеофизическими факторами. Существенные сведения о природе этой корреляции может дать исследование изменений формы статспектров МФ /1/ в зависимости от изменения этих факторов. Поскольку феномен МФ найден в различных биологических, физико-химических и физических процессах /4/, обнаруженные космогеофизические корреляции могут иметь существенное значение.

Литература

1. Шноль С.Э., Коломбет В.А., Иванова Н.П. и др. Макроскопические флуктуации - общее свойство водных растворов различных белков и других веществ.-Биофизика, 1980, т. 25, № 3, с. 409-416.
2. Перевертун Т.В., Удальцова Н.В., Коломбет В.А. и др. Макроскопические флуктуации в водных растворах белков и других веществ как возможное следствие космогесфизических факторов. - Биофизика, 1981, т. 26, № 4, с. 604-614.

3. Дорман Л.И. Вариации галактических космических лучей. М.: Изд-во МГУ, 1975. 214 с.
4. Шноль С.Э., Намиот В.А., Жвирблис В.Е. и др. Возможная общность макроскопичеоких флуктуаций скоростей биохимических и химических реакций, электрофоретической подвижности клеток и флуктуаций при измерениях радиоактивности, оптической активности и фликкерных шумов. – Биофизика, 1983, т. 28, № 1.

2.5. Цветная реакция триптофана[1)]

В основу методики исследования цветной индикаторной реакции, предложенной в 1973 г. Е.Н.Москаляновой, положена известная в гистохимии реакция гетероциклической аминокислоты триптофана с красителем ксантгид-ролом [1–3]. Ею обнаружено [4], что цвет продукта этой реакции, проводимой в строго стандартных контролируемых условиях, изменяется в широких пределах как в течение суток, так и из месяца в месяц и от года к году. Эти изменения коррелируют с СА и ГМП, причем в некоторые периоды времени различно для природного Л-изомера и синтетичеокой ДЛ-смеси [4].

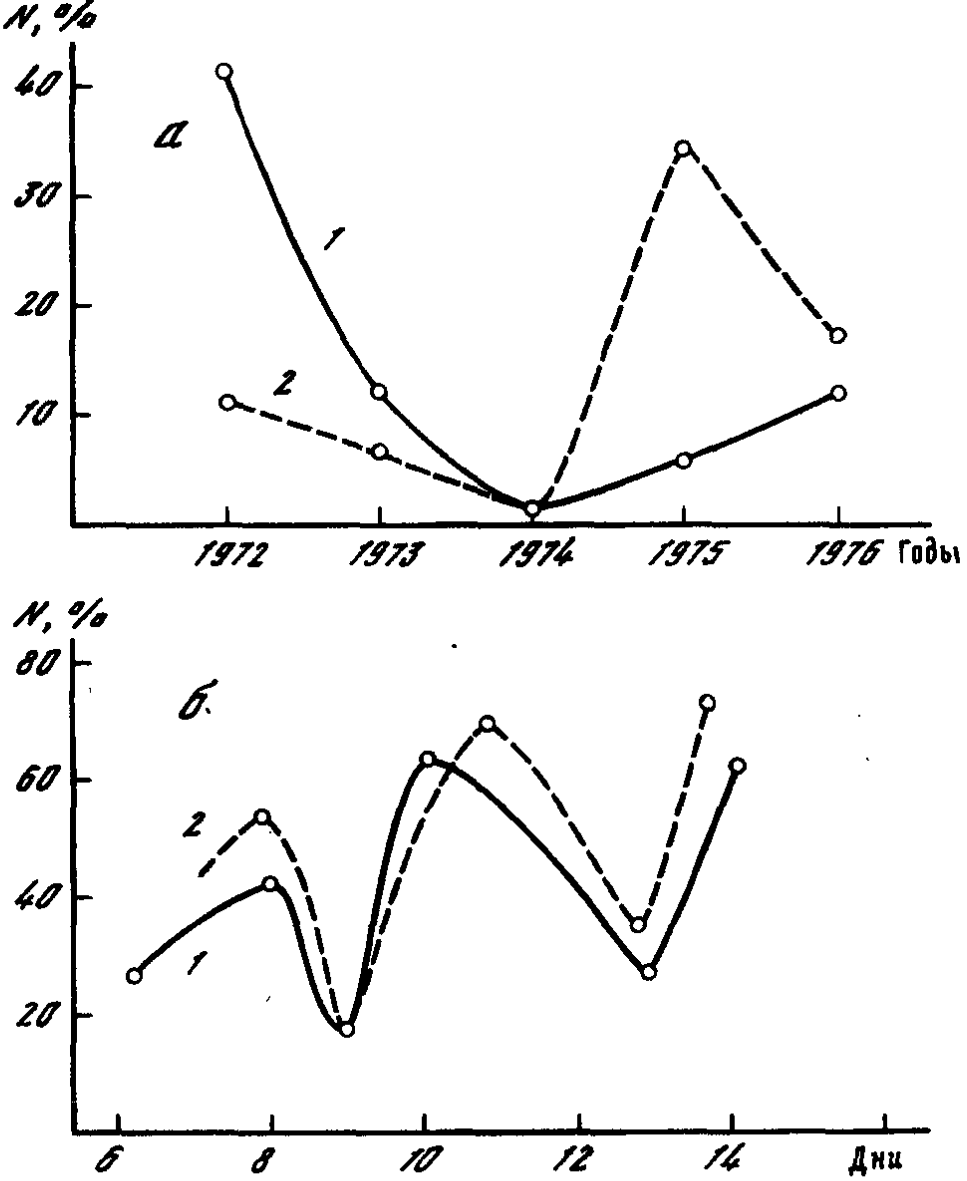
Выбор триптофана для постановки модельных химических тестов интересен тем, что данная аминокислота и ее производные – серотонин, триптамин и др. – играют исключительно важную роль в управлении основными физиологическими процессами [5,6]. Чувствительность реакции триптофана с красителем к вариациям ГМП наводит на мысль о возможном пути влияния этих вариаций на организм через изменение специфической реакционной способности триптофана и его производных в биохимических реакциях, определяющих физиологические сдвиги под влиянием ЭМП.

Индикаторная реакция проводится следующим образом. В чистые сухие пробирки к навескам по 0,01 мг Л- и ДЛ-триптофана подливают по 3,5 мл заранее приготовленного 2%-ного раствора ксантгидрола в смеси 9:1 (по объему) ледяной уксусной и дымящей соляной кислот. Затем пробирки плотно закрывают и помещают в затемненный термостат при температуре 36° С. Через строго определенное время визуально или по спектру поглощения, снятому на спектрофотометре СФ-4А, определяют цвет продукта реакции. Для большей строгости визуальных наблюдений между цветом, определяемым по эталонам, и характерными изменениями в спектре поглощения продуктов данной реакции устанавливалоь взаимно-однозначное соответствие. Опыты проводились в определенные периоды с 1972 по 1976 г. в один и тот же час суток на протяжении месяца или круглосуточно с часовыми интервалами на протяжении 8–10 дней. Всего испытано около 8 тысяч пар тестов. Результаты обрабатывались методами корреляционного анализа по Фишеру [7] с использованием ЭВМ "Наири".

Анализ сезонно-суточных вариаций цвета продукта реакции конденсации

---

1) Материалы авторов переработаны Л.Д.Кисловским.



Р и с. 6I. Вариация цветной реакции триптофана в марте I972 - I976 гг. (а) и в апреле I976 г. (б).I - Л-триптофан, 2 - ДЛ-триптофан

ксантгидрола с триптофаном показал зависимость его от изменений магнитной и электрической компонент ЭМП [8,9]. Коэффициент корреляционной связи между величиной К-индекса и изменениями в спектре продукта реакции с Л-триптофаном в июне I972 г. равен 0,7I, а с ДЛ-формой - 0,58. Интересно отметить, что те же значения коэффициента корреляции (0,7I и 0,58 для Л- и ДЛ-форм соответственно) были найдены путем расчета по уравнению $y = a + bx + cx^2 + dx^3$ корреляционной взаимосвязи результатов ежедневного теста за май I972-I975 гг. с динамикой чисел Вольфа. И в других случаях отмечалась лучше выраженная связь результатов теста с Л-триптофаном с СА и вариациями ГМП.

На рис.6I,а представлены результаты опытов, проводившихся в г.Воронеже ежедневно на протяжении пяти лет (I972-I976 гг.) в марте в 6 ч утра по московскому времени. Результаты опытов за каждый месяц охарактеризованы выраженной в процентах долей тестов, в которых коэффициент поглощения имел максимум на длине волны больше 600 нм. На рисунке четко выражены особенность в I974 г., которую естественно связать с минимумом

СА в том же году. Другой особенностью является резкое различие цвета продуктов реакции Л- и ДЛ-триптофана в марте 1972 и 1975 гг. ($P < 0,01$).

На рис.61,б для примера показаны результаты ежечасных тестов, проведенных с 4 по 14 апреля 1976 г. Они, как и на рис.61,а, охарактеризованы долей опытов, в которых коэффициент поглощения имел максимум на длине волны больше 600 нм, но на этот раз не за месяц, а за одни сутки. Из рис.61,б видно, как варьируют результаты ото дня ко дню и как хорошо коррелируют в 1976 г. тесты с Л- и ДЛ-триптофаном. Подобные же серии круглосуточных наблюдений были проведены во второй декаде сентября 1973 и в первой и третьей декадах марта 1976 г. В первой декаде марта наблюдалась такая же, как на рис.61,б ярко выраженная вариация (с максимумом 4–5 марта), тогда как в третьей декаде марта и в сентябре 1973 г. кривая шла на уровне 20–10% (со слабыми максимумами 13–14 сентября и 23–25 марта).

Наряду с триптофановым тестом индикаторная реакция проводилась и с его метаболитами – триптамином и серотонином, а также с триптофаном, подвергнутым рентгеновскому облучению в дозе $2,06 \cdot 10^{-1}$ Кл/кг (800 рентген, РУМ – II, алюминиевый фильтр). Исследование показало, что тест с триптамином обладает такой же сезонно-суточной вариабельностью, а облученный триптофан "работает" по-прежнему, только все спектры его сместились в длинноволновую область по сравнению с контролем.

Четко прослеживающиеся в отдельные периоды (например, в марте 1972 и 1975 гг.) различия результатов теста для Л- и ДЛ-триптофана наводят на мысль, что один из путей воздействия ЭМП на результат реакции может осуществляться через изменение вращения плоскости поляризации и кругового дихроизма. Дело в том, что Л-изомер вращает плоскоть поляризации вправо на 34°, тогда как ДЛ – влево на 31°. Величина же такого вращения, как известно, зависит от длины волны и изменяется в МП [10].

Таким образом, гелиогеофизические факторы могут, по-видимому, оказывать влияние на биологические процессы и путем непосредственного воздействия на реакционную способность биологически важных соединений через изменение их оптической активности.

Физиологические реакции, вызываемые воздействием на организм ЭМП малой интенсивности, следует отнести к группе корригирующих рефлексов [11,12]. При этих же реакциях специфическое значение должны иметь тщательно отобранные в ходе эволюции сигнальные величины напряженности, частоты и формы сигнала [13–17].

Ритмически повторяющиеся воздействия внешней среды на живую протоплазму, а в дальнейшем на целый организм способствовали формированию активно опережающего отражения окружающего мира в биохимическом поле нервных клеток [18]. Можно надеяться, что изменения свойств триптофана под действием вызванных Солнцем вариаций ЭМП, выявляемые триптофановым тестом, могут служить наряду с другими сдвигами на молекулярном уровне опережающим и пусковым компонентом более сложных адаптационных реакций организма на грядущие жизненно важные изменения внешних условий.

Литература

I. Пирс Э. Гистохимия (теоретическая и прикладная). М.: Изд-во иностр. лит., I962, с.9I-92.
2. Solcia E.,Sampietro R. Indole Nature of Enterochromaffin Substsnce.- Nature, 1967, vol. 214, N 5084, p. 196-197.
3. Лилли Р. Патологическая техника и практическая гистохимия. М.: Мир, I969, 2I6 с.
4. Москалянова Е.Н. Сезонно-суточные изменения реакции на Л и ДЛ-триптофан. - В кн.: Влияние естественных и слабых искуственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, I973, с.26-28.
5. Рудзит В.К. Триптофан. Л.: Медицина, I973, I67 с.
6. Науменко Е.В., Попова Н.К. Серотонин и мелатонин в регуляции эдокринной системы. Новосибирск: Наука, I975, 2I8 с.
7. Генес В.Е. Таблицы достоверных различий между группами наблюдений по качественным показателям. М.: Медицина, I964, 80 с.
8. Москалянова Е.Н., Салей А.П. К вопросу о влиянии солнечной активности и магнитного поля Земли на инвариантность индикаторной реакции с Л и ДЛ-триптофаном и его матаболитами. - В кн.: Влияние МП на биологические объекты. Калининград, I975, 206 с.
9. Москалянова Е.Н.,Салей А.П. Сезонно-суточные колебания реакции конденоации ксантгидрола с триптофаном. - В кн.: Физико-математические и биологические аспекты действия ЭМП и ионизации всздуха. Ялта; Наука, I975, с.II4-II8.
I0. Бадоз Ж. Оптическая активность, индуцированная магнитным полем. - В кн.: Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии. М.: Мир, I970, с.388-398.
II. Жуков А.П.Об одной общей закономерности в действии на организм энергии электромагнитных колебаний различной частоты. - В кн.: Рефераты докладов XIII конференц.физиологов Юга РСФСР. Ростов;Изд-во РГУ,I960, с.53-54.
I2. Лютов А.И. Энергия электромагнитных колебаний как коррегирующий фактор: Автореф.дис. ...д-ра мед.наук. Воронеж, I975.
I3. Жуков А.П. О возможном расширении границ приложения учения Н.Е. Введенского об оптимуме и пессимуме частоты раздражения. - В кн.: Тез.докл.XII конф.физиологов Юга РСФСР, Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, I958, с.84-86.
I4. Боенко И.Д., Жуков Ю.А., Салей А.П., Шмелев В.П. О некоторых закономерностях дейотвия на организм энергии электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного спектра. - В кн.: Некоторые вопросы физиологии и биофизики. Воронеж; Изд-во Воронеж.ун-та, I964, с.I02-II4.
I5. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие ЭМП с напряженностью близкой к естественной на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Матер.Всесоюз.симпоз."Физико-математические и био-

логические проблемы действия ЭМП и ионизации воздуха". М.: Наука, 1975, т.I, с.126-152.
16. Преоман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968, 288 с.
17. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1976, 207 с.
18. Анохин П.К. Опережающее отражение действительности. - Вопр.философии, 1962, № 7, с.97-111.

2.6. Влияние гелиогеомагнитной активности и слабых искусственных магнитных полей на агглютинацию бактерий

В настоящее время достоверно уотановлена зависимость различных процессов в биосфере от солнечной и геомагнитной активности. Для того чтобы получить ясное представление о биологической роли природных ЭМП и солнечной активности, недостаточно установить только факт влияния. Необходимы сведения и о закономерностях действия, и о первичных физико-химических изменениях под действием факторов внешней среды. Некоторые из этих задач удобнее решать на моделях, реакции которых зависят от меньшего числа переменных, чем в биологических объектах. Одним из возможных вариантов таких моделей является реакция антиген-антитело, которая протекает не только *in vivo*, но может наблюдаться *in vitro*. Благодаря этому свойству иммунохимия стала областью точных физико-химических исследований.

В основе взаимодействия антиген-антитело лежит важное и общее для всех биосистем свойство - узнавание. Клеточное узнавание имеет принципиальное значение для процессов развития, в частности для возникновения и формирования иммунитета. Молекулярное узнавание определяет все важнейшие молекулярно-биолгические процессы: ферментативную активность, редупликацию ДНК, все этапы биосинтеза белка, взаимодействие антиген-антитело [17]. Все эти особенности способствовали выбору реакции антиген-антитело в качестве модели для исследования влияния на биологические процессы солнечной и геомагнитной активности, олабых МП, адекватных естественным.

В качестве конкретной реакции антиген-антитело исследовали агглютинацию брюшнотифозных бактерий, использовали препараты Тбилисского НИИ вакцин и сывороток: стандартную сухую неадсорбированную брюшнотифозную кроличью сыворотку (титр I : 12800) и брюшнотифозный диагностикум ОН, содержащий 2 - 3 млрд.микробных тел в 1 мл. Порядок проведения экспериментов следующий. Агглютинирующую сыворотку разводили изотоническим 0,15М водным раствором $NaCl$ ($pH = 7,2$) до титра I : 10000 и разливали по 3 мл в 30 пробирок. Затем добавляли по 0,24 мл диагностикума, встряхивали и помещали в термостат ($t = 37^{0}C$) на 2 ч и замеряли оптическую

плотность ($\mathcal{D}$) реакционной смеси на фотоэлектроколориметре ФЭК-М (λ = 415 нм).

Предварительные эксперименты показали, что при разведении сыворотки 1:10000 за 2 ч при t = 37°С осадка не образуется. Происходит лишь агрегация комплексов антиген-антитело, причем оптическая плотность реакционной смеси с увеличением степени агрегации уменьшается.

Искусственные МП создавали кольцами Гельмгольца. Радиус колец R = 56 мм, расстояние между кольцами 50 мм, в каждом кольце 12 витков. Ток, подаваемый в обмотку колец от генераторов синусоидальных сигналов Г3-16 или Г3-18, зависел от рабочей частоты. В опытах с постоянным МП источником тока служила батарейка 3З-36Л. Напряженность МП рассчитывали по величине тока в обмотке колец и контролировали измерительной катушкой. Измеренные значения МП отличались от расчетных не более, чем на 5%. В экспериментах использовали МП H = 0,4 А/м, f = 0,01; 0,1; 1; 10; 20; 100; 250; 500; 1000 Гц.

Опытные и контрольные измерения чередовались: первые 2 ч - контроль, следующие 2 ч - опыт с МП; при повторении опытов последовательность менялась. Эксперименты начинали в одно время суток. Все опыты проводили с двухслойным пермаллоевым экраном, помещенным в термостат ТСН-51 Чехословацкого производства. Коэффициент ослабления ГМП экраном (по данным изготовившего его Института физики Земли АН СССР) $K = 10^4$.

Данные контрольных опытов использовали для изучения влияния на агглютинацию солнечной и геомагнитной активности. В качестве показателя СА было выбрано относительное число солнечных пятен (числа Вольфа). В качестве показателя геомагнитной активности - суточные К -индексы, зарегистрированные геомагнитной станцией Новосибирска.

В зависимости от целей исследования проводилось несколько серий опытов.

В первой серии опытов МП действовало на реакционную смесь в ходе реакции. Сравнивали степень агглютинации в опытах с МП и без поля.

Во второй серии в течение 2 ч омагничивали дистиллированную воду. На ее основе готовили изотонический (0,15 М) раствор $NaCl$ для разведения сыворотки и проводили реакцию по принятой схеме.

В третьей серии в течение 2 ч омагничивали 0,15 М изотонический раствор $NaCl$, в котором затем разводили сыворотку, и проводили реакцию по схеме. Сравнивали степень агглютинации в опытах с омагниченным и обычным растворами $NaCl$.

В четвертой серии опытов омагничивали диагностикум - взвесь убитых формалином микробов в изотоническом растворе $NaCl$. Ампулу с диагностикумом помещали на 2 ч в МП, затем проводили реакцию.Сравнивали результаты опытов с омагниченным и обычным диагностикумами.

Что представляет собой реакция агглютинации с физико-химичеокой точки зрения? В настоящее время единого мнения по этому вопросу нет. Для объяснения механизма реакции предложен ряд теорий.Наибольшее распростра-

нение получила адсорбционная теория Борде, дополненная современными представлениями о специфичности первой фазы реакции.

Принято считать, что реакция антиген-антитело имеет две фазы. Первая (образование комплексов антиген-антитело) - специфическая, вторая (соединение комплексов в агрегаты) - неспецифическая. В зависимости от размеров молекул или частиц антигенов вторая фаза реакции проявляется в виде агглютинации, преципитации, флоккуляции или агломерации. Реакция агглютинации происходит при взаимодействии антител с микробными клетками [1]. В основе специфичности первой фазы иммунологической реакции лежат конформационные перестройки. В этом отношении при взаимодействии антиген-антитело имеется сходство с образованием фермент-субстратных комплексов. Принципиальное отличие состоит в том, что при взаимодействии антиген-антитело практически отсутствуют электронные перестройки, которыми сопровождается образование комплексов фермент-субстрат [2].

Согласно теории Борде, вторая фаза реакции подчиняется тем же законам, что и другие коллоидные системы. Она имеет сходство с взаимной коагуляцией и сенсибилизацией коллоидов [3,4]. Мицеллы отрицательно заряженного гидрофильного антигена, адсорбируя на своей поверхности мицеллы положительно заряженного гидрофильного антитела, покрываются белковой пленкой, которая придает частицам и микробным клеткам некоторые свойства белковых молекул.

В ЭП частицы, покрытые белком, движутся с той же скоростью, что и молекулы чистого раствора белка. Неспецифическая коагуляция частиц, покрытых белком, вызывается теми же веществами, что и коагуляция чистых растворов белка. Коагуляция частиц, покрытых белком, и чистых растворов белка происходит при одинаковых значениях pH. Адсорбированный гидрофильный коллоид в процессе адсорбции денатурируется, становится плохо растворимым. Обволакивая мицеллы адсорбента, он уплотняет их и изолирует от дисперсионной среды. Заряд образовавшегося комплекса складывается из зарядов антигенов и антител [1,4].

Из коллоидной химии известно, что взаимная коагуляция коллоидов наблюдается при равенстве абсолютных значений разноименных зарядов на частицах обоих коллоидов. При иных соотношениях коагуляция может не произойти или будет неполной [3]. Присоединение антитела к антигену изменяет величину заряда, но не настолько, чтобы вызвать агглютинацию, которая происходит при добавлении электролита. Если первая фаза реакции протекает и в дистиллированной воде, и в растворе электролитов, то вторая фаза - только в среде, содержащей электролиты.

Известны две силы, обуславливающие устоичивость комплексов антиген-антитело: электрический заряд и поверхностное натяжение. Между силами поверхностного натяжения и зарядом существуют определенные соотношения. Бактерии агглютинируются только тогда, когда разница потенциалов между поверхностью бактерий и раствором при постоянной величине поверхностного натяжения меньше 15 мВ. Если же поверхностное натяжение уменьшается

Таблица I7

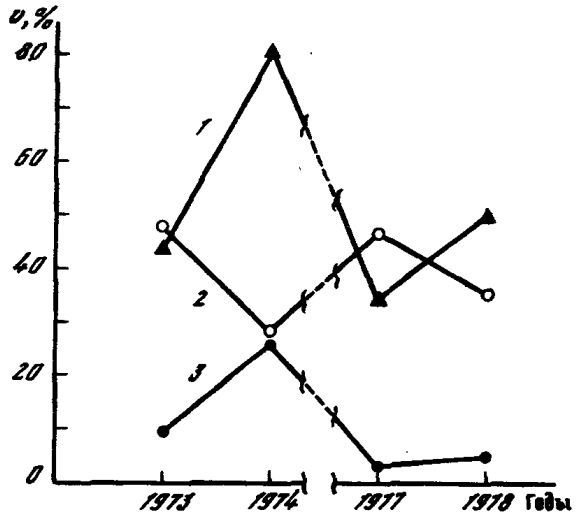
Коэффициенты корреляции r оптической плотности D с солнечной (W) и геомагнитной (K_c) активностями

Год	n	$W - D$		$K_c - D$	
		r	p	r	p
I973	I43	0,044	>0, 05	0,22	<0,05
I974	64	0,23	<0,05	0,02	>0,05
I977	26	0,32	<0,05	0,85	<0,0I
I978	65	0,02	>0,05	-0,23	<0,05

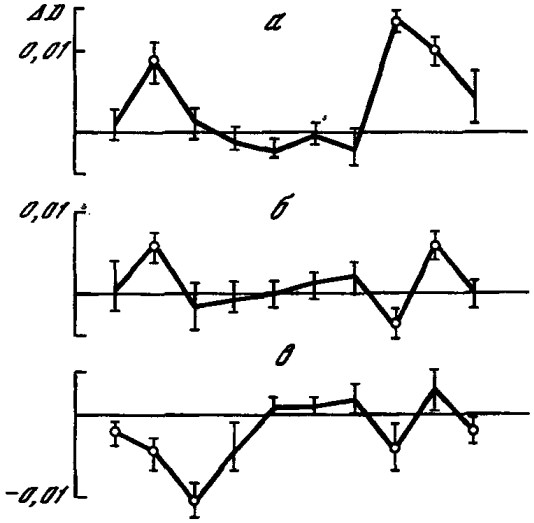
значительно, то агглютинация не наступает даже при нулевом потенциале. Показано, что различные электролиты в низких концентрациях (от 0,0I до 0,I N) влияют главным образом на потенциал, а в более высокой - преимущеотвенно на поверхностное натяжение. Некоторые исследователи считают, что основным фактором стабильности бактериальных суспензий является поверхностная энергия [4]. Соли могут вызывать агглютинацию и без антител агглютининов,но лишь в значительно большей концентрации.Агглютинирующие щие антитела повышают чувствительность бактерий, сенсибилизируют к действию соли. При повышении количества агглютининов, необходимое для агглютинации количество соли может быть уменьшено. Например,при разведении сыворотки I : I0 в опытах Поргеса было достаточно $2 \cdot I0^{-4}$ N раствора $NaCl$ а при разведении I : I0000 потребовался 0,2N раствор $NaCl$ [4]. Таким образом, реакционная смесь, в которой происходит агглютинация, представляет сложную гетерогенную водную систему, в которой протекает два типа реакций: комплементарное взаимодействие активных центров антигенов и антител и агглютинация образовавшихся комплексов.

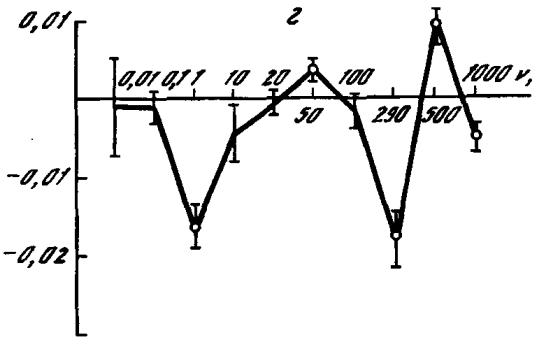
Далее излагаются результаты исследований влияния гелио-геомагнитной активности на агглютинацию комплексов антиген-антитело по данным контрольных опытов за I973, I974, I977, I978 гг. Результаты сопоставления значении оптической плотности D, характеризующей степень агглютинации комплексов, с W и K_c представлены в табл. I7 (n -число измерений)[2]. Из таблицы следует, что величина и знак коэффициента корреляции r меняютоя от года к году. Причина этого заключается, по-видимому, в том, что ни солнечная, ни геомагнитная активности вследствие сложности процессов, протекающих на Солнце и в магнитосфере Земли,не могут быть определены действием какого-либо одного или даже группы параметров.

Большая изменчивость гелио-геомагнитных явлений должна сказаться на стабильности процессов,протекающих в биосфере.Мерой стабильности может служить коэффициент вариабельности значений измеряемой величины[5]. Мы вычислили коэффициент вариабельности v значений D, полученных в тече-



Р и с. 62. Изменение коэффициентов вариабельности v чисел Вольфа (I), суточных К-индексов (2) и оптической плотности реакционной смеси в реакции агглютинации (3) за 1973 - 1978 гг.





Р и с. 63. Зависимость степени агглютинации комплексов антиген-антитело от частоты магнитного поля H=0,4 А/м

а - действие МП в ходе реакции; б,в,г - предварительное омагничивание дистиллированной воды, раствора Na Cl и диагностикума соответственно. По оси ординат - разница оптических плотностей реакционной смеси в контрольных опытах и опытах с полем. Выделенные точки - изменения в опытах с полем относительно контроля достоверны с уровнем значимости $P < 0,05$

ние года, и сопоставили с аналогичными коэффициентами, вычисленными для W и K_c. Результаты показали (рис.62), что при увеличении флюктуаций СА, выраженной числами Вольфа, увеличивается и разброс значений D. Зависимость от варьирования геомагнитной активности обратная: чем больше флюктуирует K_c, тем стабильнее идет реакция.

Какие конкретные компоненты гелиогеофизических факторов могут быть причиной наблюдаемых эффектов? Согласно современным представлениям, в комплекое факторов, реализующих овязь солнечная активность–биосфера, важная роль принадлежит вариациям напряженности ЭМП Земли в диапазоне низких и особенно инфранизких частот [6].

Для экспериментального подтверждения этого предположения была проведена серия опытов, в которой изучалось влияние на агглютинацию брюшнстифозных бактерий искусотвенных МП инфранизких частот и низких, напряженность которых сравнима с ГМП во время сильных магнитных бурь в средних широтах.

Результаты этих опытов представлены на рис.63. Видно, что при изменении чаототы МП меняется степень агрегации комплексов антиген–антитело. Зависимость от частоты немонотонна, имеются две эффективных зоны. В области инфранизких частот наиболее эффективна частота 0,1 Гц, в облаоти низких – 250, 500 Гц. В промежуточной области 1 – 100 Гц статистически значимых изменений степени агрегации относительно контроля не установлено. Постоянное поле не действует.

Немонотонная, полизкстремальная зависимость самых разнообразных свойств исаледуемых систем от величины действующего стимула отмечалась неоднократно. Она наблюдается и при изменении концентрации химических веществ [7], температуры [8–13], ионизирующего излучения [14], магнитных полей [15]. Общим для всех этих систем является то, что они водные. Какие свойства водных систем могут быть важными для возникновения полиэкстремальности, пока не яоно.

Для объяснения полиэкотремальной зависимости амплитуды "конформационных колебаний" миозина и скорости поглощения кислорода митохондриями при монотонном увеличении концентрации алифатических опиртов было принято предположение о решающей роли воды в этом явлении, о множестве фазовых переходов в воде, возможности существования воды в разных оостояниях. Предполагется, что переходы кооперативны и осуществляются при очень малых изменениях стимула [7].

Полиэкстремальную зависимость свойств водных систем от частоты МП связывают с явлениями резонансного типа. Молекулы воды, их ассоциаты, как и гидратированные ионы, совершают беспрерывные колебательные движения, которым соответствует определенный энергетичеокий уровень. При воздействии на эту систему поля оптимальной частоты возможен резонанс с определенной группой молекул и асоциатов с возникновением квантов энергии, способных деформировать овязи, изменить структурную характеристику системы в сбъеме, в сольватных оболочках. Полиэкстремальную за-

висимость свойств водных систем от средней напряженности МП объясняют закономерностью Лармора [15]. В работе [10] предложена модель резонансного взаимодействия магнитного, электромагнитного и ультразвукового полей с водными системами за счет смещения равновесия между отруктурными компонентами воды. Отмечается роль ионов разного знака в этом процессе. Показано [16], что водные растворы многих солей, в том числе и $NaCl$, обладают сегнетоэлектрическими свойствами. Поскольку сегнетоэлектрики реагируют практически на любые факторы внешней среды, предполагается, что скачкообразные изменения структуры природных вод под влиянием различных причин являются следствием их сегнетоэлектрических свойств.

В коллоидной химии известно явление периодического чередования зон устойчивости золя с зонами коагуляции, возникающее при увеличении концентрации электролита-коагулятора; при этом изменяется знак электрокинетического потенциала. Необходимым условием для возникновения этого явления считается наличие в растворе в качестве электролита-коагулятора солей трех- и четырехзарядных ионов металла или ионов H_3O^+ и OH^-. Это объясняется тем, что многозарядные ионы обладают большой адсорбционной способностью и поэтому их число на поверхности может оказаться больше, чем требуется для нейтрализации ионов, адсорбированных поверхностью. Избыточные ионы притягивают ионы противоположного знака, эти избыточные ионы и меняют знак дзэта-потенциала [3]. В работе [17] показано, что парамагнетизм природной волны периодически меняется с ростом напряженности МП. При обработке дистиллята и бидистиллята с уменьшением концентрации примесей происходит только увеличение магнитной восприимчивости, а полиэкстремальность выражена тем слабее, чем меньше примесей.

Суммируя рассмотренные гипотезы, можно отметить, что решающая роль в возникновении полизкстремальности отводится: а) наличию в воде примесей, б) возможности существования в воде нескольких структур. С целью экспериментальной проверки этих предположений в трех сериях опытов по агглютинации брюшнотифозных бактерий проводилоь омагничивание дистиллированной воды, 0,15 М раствора $NaCl$ и суспензии микробных клеток в изотоническом растворе $NaCl$.

Результаты опытов с омагниченной дистилированной водой показали, что полиэкстремальный характер зависимости степени агрегации от частоты МП сохранился. Эффективны те же частоты (0,1; 250; 500 Гц), что и при действии МП в ходе реакции (см.рис.63). На частоте 250 Гц знак эффекта изменился.

При омагничивании дистиллятора эффект меньше, чем при действии МП на реакционную смесь в целом. Постоянное поле не действует.

Омагничивание 0,15 М раствора $NaCl$ расширило зону эффективных частот в ИНЧ-области. Статистически значимые изменения получены на частотах 0,01; 0,1; 1; 250; 1000 Гц. При действии МП указанных частот агглю-

тинация идет менее интенсивно, чем в контроле (см.рис.63). При омагничивании суспензии микробных клеток в растворе *NaCl* эффективны частоты I; 50; 250; 500; I000 Гц. Особенно хорошо выражены изменения на частотах I; 250 и 500 Гц (см.рис.63).

Постоянное поле тормозит реакцию при предварительном омагничивании как раствора *NaCl*, так и суспензии микробных клеток.

Таким образом, результаты опытов показали, что при предварительном омагничивании исходных компонентов реакционной смеси полиэкстремальный характер зависимости степени агглютинации микробных клеток от частоты МП сохраняется, причем эффект увеличивается по мере увеличения концентрации примесей в воде, что согласуется с результатами работы /I7/.

В табл.I8 приведены данные по направленности реакции во всех четырех сериях опытов. Как видно из таблицы, предварительное омагничивание раствора *NaCl* и суспензии микробных клеток в растворе *NaCl* вызывает сходные изменения в направленности реакции. Действие поля в ходе реакции вызывает противоположные этим изменения, кроме частот I0, 20, 500 Гц. Дистиллированная вода занимает промежуточное положение. Смена знака происходит либо при переходе от реакционной смеси к воде (I, 50, I00, 250 Гц), либо при переходе от воды к раствору *NaCl* (0,0I; 0,I; I000 Гц). При действии постоянного поля и на частотах I0 и 500 Гц смены знака не происходит.

Чем может быть обусловлена разная направленность реакции при действии МП на реакционную смесь и при предварительном омагничивании исходных компонентов? В табл.I9 отражены методические особенности каждой серии экспериментов.

Ясно, что ни форма сосуда, ни объем или количество омагниченной жидкости в реакционной смеси не влияют на направленность реакции. Существенно, видимо, следующее: действие МП на реакционную смесь в целом не затрагивает (или почти не затрагивает) первую фазу реакции, в которой происходит комплементарное взаимодействие активных центров антигенов и антител. Это связано с тем, что окорость первой фазы реакции велика - она заканчивается до того, как пробирки оказываются в поле. В случае предварительного омагничивания исходных компонентов обе фазы реакции протекают в водно-солевом растворе с уже измененными магнитным полем физико-химическими свойствами.

В настоящее время не остается сомнения в том, что биологические макромолекулы и окружающую их водную среду нужно рассматривать как единое целое. Известно, что антитела представляют собой белки, относящиеся к группе иммуноглобулинов /2/. Вода имеет универсальное значение для осуществления глобулярными белками их функций. Сама пространственная структура глобулярных белков является результатом взаимодействия структурных элементов первичной структуры белка с водой. Антигены - биополимеры, прежде всего белки и полисахариды, нуклеиновые кислоты, а также комплексные соединения этих веществ /I,2/, для их функционирования также важны свойства водного окружения.

Таблица I8. Влияние магнитного поля на направленность реакции агглютинации бактерий

Номер серии опытов	Омагничиваемый компонент	Частота, Гц										
		0	0,0I	0,I	I	I0	20	50	I00	250	500	I000
I	Реакционная смесь	+	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+
2	Дистиллированная вода $NaCl$	+	+	+	–	–	–	+	+	–	+	+
3	0,I5 М раствор	–	–	–	–	–	+	+	+	–	+	–
4	Диагностикум	+	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–

Примечание: Плюс – увеличение степени агглютинации, минус – торможение агглютинации. Заштриховано – изменения в опытах с полем относительно контроля достоверны с уровнем значимости $P < 0,05$.

Таблица I9. Методические особенности экоперимментов

Номер серии опытов	Состав омагниченной водной сиотемы	Сосуд, в котором проводилось омагничивание	V, мл	V_p, мл	Фаза реакции, на которую действует МП
I	H_2O + $NaCl$ + антитело + + антиген	Пробирки цилиндрические	3,24 в каждой пробирке	3,24	Вторая
2	Дистиллят	Конический стакан	I00	3,0	Обе
3	0,I5 М раствор $NaCl$ в дистилляте	То же	I00	3,0	То же
4	H_2O + $NaCl$ + антиген	Запаянная цилиндрическая ампула	I0	0,24	То же

Примечание. V – объем омагничиваемой жидкости, V_p – объем омагниченной жидкости в реакционной смеси.

Таблица 20

Влияние гидратации на различные характеристики воды

Характеристика	Положительная гидратация	Отрицательная гидратация
Трансляционное движение ближайших к иону молекул воды	Ослабляется	Усиливается
Структурная температура	Понижается	Повышается
Структурное давление раствора	Повышается	Понижается
Активность воды	Уменьшается (коэффициент активности воды $a < 1$)	Увеличивается ($a > 1$)
Коэффициент самодиффузии молекул воды	Меньше, чем в чистой воде	Больше, чем в чистой воде
Прочность водородных связей воды	Увеличивается	Уменьшается
Структура H_2O вблизи иона	Упорядочивается	Разрыхляется

Флюктуации гидратации белков могут быть источником энергии конформационных флюктуаций молекул белка, в том числе и в степенях свободы, выделенных для реализации биологической функции каталитического акта [18].

Введение в воду различных примесей по-разному оказывается на ее свойствах. Растворение в воде солей сопровождается их диссоциацией и гидратацией образовавшихся ионов [19]. В зависимости от соотношения времени жизни молекул воды в ближайшем окружении иона (τ_i) и в чистой жидкости (τ) было введено понятие положительной ($\tau_i > \tau$) и отрицательной ($\tau_i < \tau$) гидратаций. Одни ионы, такие как Fe^{3+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Li^+, Co^{2-}, HCO_3^-, Ca^{2+}, Na^+, SO_4^{2-}, принято считать положительно гидратированными, другие – K^+, Rb^+, Cs^-, Cl^-, Br^+, J^- – отрицательно гидратированными. Эти два вида ионов обладают прямо противоположным действием на молекулы воды (табл.20). Возможность влияния МП на гидратацию ионов показана в ряде работ [15].

В работе [20] исследовалось влияние магнитной обработки водных растворов некоторых хлоридов на степень ионной гидратации. В условиях заданного режима магнитной обработки наблюдали статистически значимые изменения в числах гидратации только в растворах, содержащих положительно гидратированные ионы Li^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{3+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, причем гидратация диамагнитных ионов (Li^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}) уменьшалась, а парамагнитных ионов (Fe^{3+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}) – возрастала.

Увеличение чисел гидратации ионов отмечалось при омагничивании растворов $CaCl_2$, $NaCl$, а уменьшение – при омагничивании раствора KCl [21].

Характер и величина гидратации ионов влияет на основные свойства водных растворов: сжимаемость, плотность, коэффициент диффузии растворенных веществ, давление пара, электропроводность, температуры кипения и замерзания, растворяющую способность, ИК-спектры и химические сдвиги [15].

Основываясь на приведенных фактах, можно ожидать, что изменение свойств водно-солевого раствора магнитным полем скажется на гидратации и, следовательно, функциональной активности антигенов и антител.

В третьей серии опытов в омагниченный раствор *NaCl* первыми попадают антитела, затем добавляется антигены. В четвертой серии – МП действует на водно-солевой раствор, в котором находятся антигены. В обеих сериях мы наблюдаем сходные изменения, главным образом, торможение реакции.

Причиной разной направленности реакции в первой и третьей, четвертой сериях мы считаем изменение гидратации антигенов и антител в водно-солевых растворах, подвергнутых действию слабых МП.

Как уже отмечалось, соли могут вызывать агглютинацию и без антител, но только в значительно большей концентрации. Антитела сенсибилизируют бактерии к действию электролита. Если антитела при данной концентрации соли не соединились с антигенами или соединились неполностью, агглютинация либо не произойдет, либо будет проходить очень медленно, что и наблюдается в опытах третьей и четвертой серий.

Таким образом, установлено влияние гелио- и геомагнитной активности на агглютинацию брюшнотифозных бактерий. Стабильность реакции находится в прямой зависимости от флюктуаций солнечной активности (выраженной числами Вольфа) и в обратной зависимости от флюктуаций геомагнитной активности (выраженной суточными К-индексами). Слабые искусственные инфранизкочастотные и низкочастотные МП изменяют степень агглютинации бактерий. Зависимость от частоты МП имеет полиэкстремальный характер. Аналогичная зависимость получена при предварительном омагничивании исходных компонентов реакционной смеси. Важным условием возникновения полиэкстремальности является наличие в воде примесей. Предполагается, что изменение степени агглютинации бактерий при действии МП связанс с изменением гидрофильно-гидрофобных взаимодействий в реакционной смеси.

Литература

1. Адамов А.К., Николаев Н.И. Молекулярно-клеточные основы иммунологии. Саратов: Изд-во Сарат.ун-та, 1966, с.107, 114-115.
2. Волькенштейн М.В. Общая биофизика. М.: Наука, 1978, с.12-16, 28.
3. Балезин С.А., Ерофеев Б.В., Подобаев Н.И. Основы физической и коллоидной химии. М.: Просвещение, 1975, с.343, 345-346.
4. Зильбер Л.А. Основы иммунитета. М.: Медгиз, 1948, с.358, 399.

5. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1973, 78 с.
6. Владимирский Б.М. О возможных факторах солнечной активности, влияющих на процессы в биосфере. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с.128.
7. Шноль С.Э., Хриотова М.Л., Калинченко Л.П. Влияние алифатических спиртов на амплитуду "конформационных колебаний" актомиозина и на скорость поглощения кислорода митохондриями. - В кн.: Свойства и функции макромолекул и макромолекулярных систем. М.: Наука, 1969, с.104-105.
8. Конюшкина Н.И., Крылова И.В. Роль воды в поверхностных явлениях по данным экзоэмиссий со щелочных галогенидов. - В кн.: Активная поверхность твердых тел. М., 1976, с.35-40.
9. Мецик М.С., Голубь Л.М., Шерманов Л.А. Изменение электрического рельефа поверхностей твердых тел в процессе нейтрализации центров активности, термической обработки и деформации. - Там же, с.170-178.
10. Кисловский Л.Д. Роль воды в лабильности поверхностных структур. - Там же, с.267-280.
11. Чернов А.А., Сипягин В.В. Упорядоченность пленок раствора на кристаллических поверхностях и рост криоталлов. - Там же, с.290-302.
12. Цаль Н.А., Караван Ю.В., Дидык Р.И., драган О.П. Пульсирующий характер выделения галогена и металла из щелочно-галоидных криоталлов в процессе их радиационного облучения. - Там же, с.318-324.
13. Лущик Ч.Б. Фотосоздание точечных дефектов в объеме и на поверхности ионных кристаллов. - Там же, с.302-318.
14. Аллен А.О. Радиационная химия воды и водных растворов. М.: Госатомиздат, 1963, 117 с.
15. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.:Химия, 1978, 238 с.
16. Горшинченко И.М. К сегнетоэлектрическому механизму воздействия поля на воду с сильными электролитами. - В кн.: Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Новочеркасск, 1975, с. 31-36.
17. Зеленков В.Е., Чернов Ю.К. Очистка сточных и обсротных вод. М.; Металлургия, 1971, с. 155-158.
18. Хургин Ю.И. Гидратация глобулярных белков.- ЖВХО, 1976, т. 21, № 6, с. 684-696.
19. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 182 с.
20. Духанин В.С., Ключников Н.Г. Исследование влияния магнитной обработки водных растворов некоторых хлоридов на степень ионной гидратации. - В кн.:Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. Новочеркасск, 1957, с. 70-73.
21. Авилова Л.И., Высотина С.С.,Ефанов Л.Н. и др. Влияние омагничивания воды на растворимость неэлектролитов. - Там же, с. 146-150.

2.7. О роли воды в первичных механизмах воздействия гелиогеофизических факторов на простейшие модели живых систем

Все первичные биологические процессы на молекулярном уровне разыгрываются в водной среде, поэтому в качестве простейшей модели *отклика* организма на внешние воздействия можно рассматривать реакцию на водных растворах некоторых неорганических или простейших органических веществ. (см. п. 2.I - 2.6 наст. гл.).

Говоря о влиянии факторов солнечной активности на биологические системы или, более обще, выявляя действие слабых сигналов на поведение сложных систем, нельзя игнорировать тот факт, что знак реакции и даже наличие ее зависит не столько от природы, силы воздействия и первичного механизма, сколько от состояния сложной системы в момент воздействия. Много ценных технологических находок и практических медицинских рекоменда - ций было получено с древнейших времен по существу чисто кибернетическим методом - сопоставлением явления на входе и выходе "черного ящика". Знание первичных механизмов открывает пути эффективного управления состоянием живого организма и технологически важными процессами, идущими в вод - ных системах. При этом имеется в виду не только механизм реагирования на внешний фактор, но и процессы внутреннего функционирования, поскольку организмы наиболее чувствительны к сигналам, параметры которых близки к параметрам внутренних сигналов организма.

Естественно пытаться выделить первичные механизмы, используя доста - точно длинные ряды наблюдений над поведением по возможности простых водных систем и сопоставить эти ряды с гелиогеофизическими данными за те же периоды; при этом, разумеется, следует не упускать из вида и возможность влияния техногенных помех (см. гл. I, раздел 2).

В табл. 2I дана не претендующая на полноту сводка тестов, основанных на некоторых идущих в водной среде процессах и применявшихся для контроля геофизической обстановки в разное время, или таких, которые могут быть использованы для этих целей. Эти тесты могут рассматриваться как простейшие модели первичных механизмов воздействия гелиогеофизических факторов на живые системы. В основе их лежит появление в водной среде центров кристаллизации или свободных радикалов.

"Шторм-глясс" /I-3/ - наиболее древний тест применялся на практике во флоте для предсказания погоды в XVIII и XIX вв. (а возможно, и ранее). Показаниями в данном случае служит качественная картина кристаллизации, наблюдаемая в отпаянной стеклянной трубке, в которую помещен сложный водно-спиртовый раствор. Преимуществом метода является полная автоном - ность работы прибора в течение многих десятилетий. Кристаллы то выпадают, то растворяются вновь, принимая весьма разнообразный облик. К хорошей погоде кристаллы растворяются, к плохой - заполняют всю трубку при той же температуре.

В работе Бортельса /4/ использовалась необратимая реакция в открытом сосуде. Показанием служило выпадение фосфата кальция в виде волокон или

Таблица 2I. Сводка водных тестов

№№ п/п	Название теста	Вводимые реактивы (реакция)	Предмет наблюдения	Разрешение по времени, ч	Временной массив данных	Литературные ссылки (примечание)	Вероятные причины эффекта
I	Штормгласс	NH_4Cl, KNO_3, камфора, этанол	Рост и морфология растущих (тающих) кристаллов	0,3 - 0,5	XVIII - XIX вв.	/I - 3/ (A,B)	Появление новых центров кристаллизации
2	Тест Бортельса	$Ca(NO_3)_2$, KH_2PO_4, KCl (выпадение фосфатов Ca)			I949-I954 гг.	/4/ (A,B,C)	
3	Тест Пиккарди	$Bi_2(CO_3)_3$, HCl (гидролиз $BiCl_3$)	Скорость выпадения осадка		I95I-I976 гг.	/I,5 - 8/ (A,B,C,Д,E)	
4	Акрилонитриловый	Мономер акрилонитрила, $NaHSO_4$, $(NH_4)_2S_2O_8$		8	I960-I975 гг.	/5,9/ (B,C,E)	Появление свободных радикалов
5	Унитиоловый	Унитиол, $NaNO_2$ (окисление)	Скорость реакции	I	I970-I975 гг.	/I0/ (B,C,Д,E)	
6	Макрофлюктуации	Тиолосодержащие ферменты или аскорбиновая кислота и краситель	по анализу множества взятых проб	0,0I	I967-I979 гг.	/II,I2/ (B,Д)	

Примечание. A - сопоставление с метеоданными, B - исследовано влияние экранов, C - сопоставлено с гелиогеофизическими данными, Д - ежедневные регулярные измерения, E - исследовано влияние искусственных полей.

хлопьев. Данные, полученные этим методом, так же, как и предыдущим, имеют суточный и сезонный ход, изменяются при экранировании металлом, реагируют на прохождение метеорологических фронтов и на появление пятен на Солнце.

Тест Пиккарди достаточно хорошо известен /I/. Основное достоинство его - почти тридцатилетние ряды ежедневных наблюдений. Длительные ряды реакции Пиккарди сопоставлялись с различными гелиогеофизическими факторами, причем была выявлена четкая связь как с общим ходом солнечной активности, так и с отдельными вспышками на Солнце и магнитными бурями. Существенно модернизировав методику, авторы /8/ тщательно исследовали влияние, в частности, пермаллоевого и стального экранов на ход реакции Пиккарди, а также влияние искусотвенного синусоидального МП 0,05 Тл частотой 0,I Гц. Ими показано, что в условиях пермаллоевого экрана осаждение оксихлорида висмута происходило существенно быстрее и характеризовалось гауссовым распределением скоростей осаждения. В отсутствие экрана слабое регулярное ИНЧ-поле несколько стабилизировало фоновую реакцию, в которой распределение скоростей оседания существенно негауссово /5/.

Первая группа тестов (№№I-3 в табл.2I) основана на наблюдениях выпадения кристаллического осадка из водного раствора, что может быть связано с созданием локальных пересыщений, с изменением гидратации тех или иных ионов и с появлением дополнительных кристаллических зародышей в объеме раствора под влиянием ЭМП гелиогеофизического происхождения. При этом, как показали опыты с пермаллоевым экраном /8/, существенное значение имеет магнитная составляющая ЭМП. Уместно вспомнить в этой связи широко применяемую в технологии магнитную обработку водных систем, при которой гелиогеофизические эффекты проявляются как помехи /I3/. Исследования Пиккарди по "флюктуационным явлениям" начались с выяснения причин плохой воспроизводимости результатов одного из физических вариантов "противонакипной" обработки воды для кипятильников /I/.

Вторую группу тестов (№№ 4 - 6) можно скорее отнести к способам выявления свободных радикалов, которые могут возникнуть вследствие кооперативных эффектов в водных системах под влиянием слабых низкочастотных возмущений, в частности электромагнитных и звуковых полей.

Предполагая, что одним из действующих на скорость гидролиза хлорида висмута агентов является жесткая проникающая радиация, приводящая к появлению свободных радикалов, Пиккарди использовал акрилонитриловой тест. Под влиянием свободных радикалов,как известно, резко ускоряется скорость полимеризации акрилонитрила. Позднее Пиккарди с удивлением обнаружил, что полимеризация происходит и под влиянием низкочастотного слабого ЭМП. На полимеризацию оказывает заметное влияние и неоднократое импульсное МП 0,2 мТл на частоте 0,5 Гц /9/. К недостаткам теста наряду с необратимостью использованной реакции и с необходимостью выпаривания и взвешивания накопившегося за 9 ч осадка относится и малое временное разрешение (это, разумеется, не означает, что метод не может быть модернизирован; например, если измерять не массу осадка, а изучать изменение показателя преломления или коэффициента рассеяния).

Тесты № 5 и № 6 можно рассматривать как методы, в которых появление свободных радикалов фиксируется по изменению скорости окисления тиоловых (SH) групп или других реакций окисления, зависящих от концентрации свободных радикалов. Интересно отметить, что использованная в качестве теста [12] аскорбиновая кислота имеет некоторые общие свойства с тиоловыми соединениями (см. п. 2.1 - 2.3 наст. гл.): восстановленная форма аскорбиновой кислоты, как и глютаниона, осуществляет в клетках антиоксидантную функцию, предохраняя от окисления реакционно способные сульфгидрильные группы белков, в том числе и ферментов [14].

Известно, что скорость окисления SH-групп снижается при увеличении расстояния между ними и под влиянием соседних электроотрицательных группировок. Вместе с тем у того же вещества (унитиола) время окисления в зависимости от гелиогеофизической обстановки изменяется в очень широких пределах (см. п.2.2 наст. гл.). Показаниями в этом случае служит изменение титра сульфгидрильных групп в пробах, взятых на разных этапах реакции. Наблюдаемые явления трактовались сначала как "синхронные конформационные колебания титра сульфгидрильных групп в растворах белков" [11], а затем как "макроскопические флюктуации" - общее свойство водных растворов белков и других веществ, так как подобные же "флюктуации" наблюдались и в изменении скорости реакции аскорбиновой кислоты с красителем дихлорфенолиндофенолом [12]. Тот факт, что определяющими в этих явлениях являются не конформации, подтверждается работой [15], где исследованы условия возникновения колебательных изменений состояния сульфгидрильных групп отдельных аминокислот (цистеина и глутатиона). Интересны в этой связи данные о смещении и расщеплении ультрафиолетовых полос поглощения раствора цистеина при разных pH, свидетельствующие о ступенчатом характере диссоциации сульфгидрильного радикала [16]. Эти данные поучительно сопоставить с изменением УФ-спектра после магнитной обработки растворов ксантогеновой кислоты $CH-O-C\begin{smallmatrix}\nearrow S\\ \searrow SH\end{smallmatrix}$ - обработка способствует лучшей флотируемости этим реагентом сульфидных руд [13]. Достоинством теста № 6 (табл.21) является высокое временное разрешение (пробы могут отбираться каждые 20-30 с) и возможность перевести метод на автоматизированный режим, используя реакцию аскорбиновой кислоты с красителем.

Отсутствие автоматической непрерывной регистрации является основным недостатком представленных в таблице 21 тестов. Однако автоматизация большинства тестов вполне возможна, и для этого уже сделаны первые шаги. Вместе с тем для многих исследователей и практиков, деятельность которых связана с медициной или с выращиванием сложных кристаллов может быть очень полезен и простой тест - штормгласс, визуальные показания которого помогут повысить эффективность их работы.

Решающая роль воды во всех тестах, перечисленных в табл.21, отмечалась большинством авторов. Многие из указанных выше реакций идут по-иному при изготовлении растворов на воде, обработанной электромагнитными полями с разными характеристиками [17]. Развиты представления о возможных

механизмах воздействия малых возмущений на водные системы /18/, но вопрос о конкретном первичном механизме воздействия тех или иных полей до сих пор во многом еще не ясен. Тем не менее показания большинства тес - тов хорошо согласуются между собой, что отмечается в работах Д.Пиккарди /1,5/ (теоты №№ 1,3,4, табл. 21), Р.Нейвирта /19/ (тесты №№2,3) и тест старения сульфида мышьяка Н.К.Зайцевой /9/ (тесты №№ 4,5). Однако тест Пиккарди четко зависит от магнитной составляющей на ультранизких частотах, тогда как на тест №5, по-видимому, существенно влияет электрическая составляющая, о чем свидетельствует зависимость "интенсивности флюктуации" от размера сосуда с раствором. Последнее обстоятельство согласуется с изменением химических тестов вблизи больших сосудов с водой /20, 21/.

Синхронность "макроскопических флюктуаций" /11/ и возможная роль механических гиперзвуковых колебаний в этой синхронизации вполне вписыва - ются в представления, развиваемые нами ранее. При образовании зародышей клатратных структур с заполненными полостями внезапно локально увеличи - вается плотность раствора, что порождает гиперзвуковую волну, способст - вующую образованию как гексааквакомплексов кальция, так и других корот - коживущих образований, дающих при распаде свободные радикалы /22, 23/.

Переход от представлений об "аномальных флюктуациях" /12/, "флюктуационных феноменах" /20/, о "невоспроизводимых явлениях" /1/ к представлениям о роли не контролируемых ранее внешних воздействий характерен для переживаемого этапа смены примитивных наивнодетерминистических представлений, сдобренных статистикой, представлениями о сложной, единой, целостной системе природы /24/.

Литература

1. Piccardi G. Sur la désincrustation physique des chandieres et sur l'influence de facteurs ambiants sur certains phénomènes physico-chimiques. - Rev.Soc. roj.belge ing.et Industriels, 1953, mém.3, p.93-117.
2. Жвирблис В.Е. Что такое штормгласс? - Химия и жизнь, 1979, №6, с.73-76.
3. Балабуев А.Г. Из моего дневника. - Там же, 1980, №2, с. 68-70.
4. Bortels H. Zwei einfache Modelle meteorolcgisoher Reakticnen in ihren Beziechung zu Luftdrükenderungen und sur Sclaraktivität. - Aroh. Meteorol. Geophys. und Bicklimatol. B, 1954, Bd. 5, S. 234-257.
5. Piccardi G. The ohemical basis cf medioal climatology. Springfield (Ill.), 1962. 129 p.
6. Опалинская А.М. Влияние солнечной активности на реакцию миокарда.- В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск, Изд-во ТГУ, с.10-18.
7. Опалинская А.М., Акулова Л.П. Исследование влияния магнитных полей сверхнизких и низких частот на ход неравновесных процессов.- Там же.
8. Плеханов Г.Ф., Опалинская А.М. Влияние экранирования от геомагнитного поля и искусственного магнитного поля на флуктуацию реакции Пиккарди. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с. 21-23.
9. Зайцева Н.К. Влияние магнитной обработки воды на полимеризацию акрил-

нитрила. – В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск:Изд-во ТГУ, 1979, вып. 2, с. 104-106.
10. Тиоловые соединения в биохимических механизмах патологических процессов /Под редакцией Соколовского В.В. Л.: Лен. сан.-гигиен. мед. ин-т, 1979. 89 с.
11. Рыбина В.В., Шноль С.Э. Синхронные конформационные колебания титра сульфгидрильных групп в растворах белков. Обратимое окисление как возможная причина этого явления. – Биофизика, 1979, т. 24, № 6.
12. Шноль С.Э.,Коломбет В.А.,Иванова Н.П.,Брицина Т.Я. Макроскопические флуктуации – общее свойство водных растворов различных белков и других веществ. Статистический спектральный анализ. – Биофизика, 1980, т.25, № 3, с.409-416.
13. Класоен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978, 238 с.
14. Соколовская Т.М. О биохимическом механизме острого отека легких при ингаляции двуокиси азота. – В кн.: Методология исследования развития сложных систем. М.: Наука, 1979, с. 46-50.
15. Неэме Т.Г. Об условиях возникновения колебательных изменений состояния сульфгидрильных групп цистеина, глутатиона и актомиозина: Автореф. дис. ...канд.биол.наук. Таллин: Ин-т кибернетики, 1976. 34 с.
16. Deken R.H. de, Broekhrysex J., Bechet J., Mortier N. Etude spectrophotométrique de la dissociation de la fonction sulfhydrile et structure moléculaire de la cysteine.– Biochim. et Biophys. acta,
17. Fischer W.H., Sturdy G.E., Ryan M.E., Lugh R.A. Laboratories study of fluctuation fenomena. – Intern. J. Biometeorol., 1968, vol. 12.
18. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 147.
19. Neuwirth R. Atmosphärische Einflusse auf die Alterung eines anorganischen Sols. – Meteorol. Rundschau, 1955, Bd. 8, S. 108-113.
20. Moriysma H. Studies on X-Agent. Real cause of environmental pollution including Photoohemical oxidants. Tokyo: Igaku shoin Ltd.,1970.
21. Неэме Т.Г., Вихер Ю.И. Об изменении химических тестов вблизи воды. – В кн.: Динамика микробиологичеоких процессов в почве и обуславливающие ее факторы: Материалы симпозиума. Таллин, 1974, ч. 2, с.181-183.
22. Кисловский Л.Д. О стабилизации активных комплексов в додеказдричес – ких структурах воды. Физико-химический биологический аспект проблемы. – В кн.: Структура и роль воды в живом организме: Сб. № 1, Л.: Изд-во ЛГУ, 1966, с.171-178.
23. Кисловский Л.Д. К вопросу о возможной стабилизации радикалов при таянии льда и о чувствительности биологического метода их обнаружения. – В кн.: Свободно-радикальные процессы в биологических системах. М.; МОИП, 1964, с. 24.
24. Методология исследования развития сложных систем. Естественно-научный подход/Под ред. Кратца К.О., Елисеева Э.Н. Л.: Наука,1979, 316с.

ГЛАВА Ш. ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

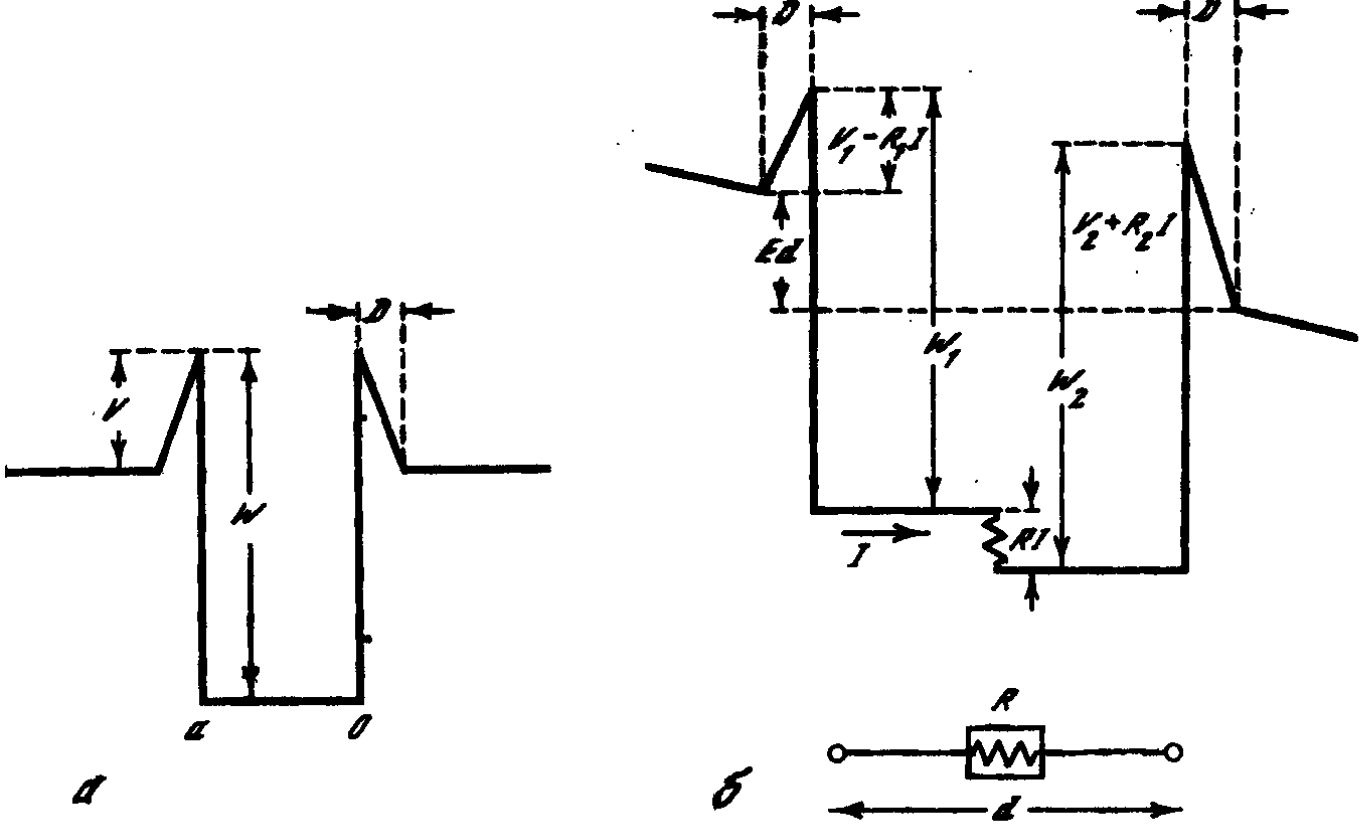
I. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

I.I. Методы измерения электрических полей в атмосфере

Методы измерения электрических полей в атмосфере целесообразно разделить на три класса: в первом из них напряженность ЭП оценивается по разности потенциалов между электродами, находящимися в исследуемом поле, во втором - по величине заряда, индуцируемого измеряемым полем на поверхности проводника, в третьем - по влиянию поля на массовое движение электронов или ионов естественной или искусственной природы [1]. Третий класс весьма широк - он включает в себя, по утверждению автора работы [2], более I5 методов, используемых для измерения ЭП на разных высотах в атмосфере. Принятая классификация удобна для дальнейшего обсуждения, однако довольно условна: в частности, в окрестности проводящих электродов, находящихся в ионосферной или магнитосферной плазме, возникает сложная картина распределения ЭП и потоков заряженных частиц, определяющих измеряемые потенциалы электродов. Таким образом, при измерении разности потенциалов оценивается и эффект потоков заряженных частиц в исследуемом поле.

Физическую сущность измерений первого класса помогает уяснить потенциальная диаграмма на рис.64.

Предполагается, что в окружающей среде (околоземном космическом пространстве) имеется достаточно много заряженных частиц, электрическое поле которых существенно сказывается на распределении потенциала в окрестности электрода. Вблизи проводника, который приобретает отрицательный заряд (в силу большей подвижности электронов, нежели ионов), создаётся ЭП (см.рис.64а), экранированное внутри сравнительно узкой дебаевской области (радиуса $\mathcal{D}$) перераспределившимися и сосредоточившимися около проводника положительными ионами. Двойной зонд - устройство, наиболее часто применяемое для измерений первого класса,- представляет собой два проводника, находящихся в измеряемом поле и разнесенных на расстояние d, существенно большее дебаевского радиуса $\mathcal{D}$. Собственные потенциалы электродов в атмосфере невелики или равны нулю. На ионосферных высотах, например, они порядка I В, а при измерениях в стратосфере на шарах-зондах и аэростатах ими обычно пренебрегают. Однако при измерениях в магнитосфере или, например, на Луне собственный потенциал такого измерительного устройства может достигать значительных величин.



Р и с. 64. Диаграмма энергии электрона вблизи металлического электрода (а) и двойного зонда (б)

W_i - работа выхода электронов из металла, V_i - собственные потенциалы электродов двойного заряда, R_i - сопротивления покрытий электродов, i =I,2 относятся к первому и второму электродам зонда соответственно, I - ток электронов, D - дебаевский радиус, d - расстояние между зондами, E - измеряемая напряженность электрического поля

Суммируя падения напряжения по диаграмме, представленной на рис.64б, в предположении, что через сопротивление R измерительного прибора протекает ток J, получим соотношение

$$RJ = \frac{E \cdot d + (V_1 - V_2) + (W_2 - W_1)}{1 + (R_1/R) + (R_2/R)}, \qquad (I)$$

где R_i - сопротивление покрытия, V_i - собственный потенциал электрода, W_i - работа выхода из него электрона. Индексы i =I,2 относятся соответственно к первому и второму электродам зонда, E - напряженность ЭП, измеряемая прибором.

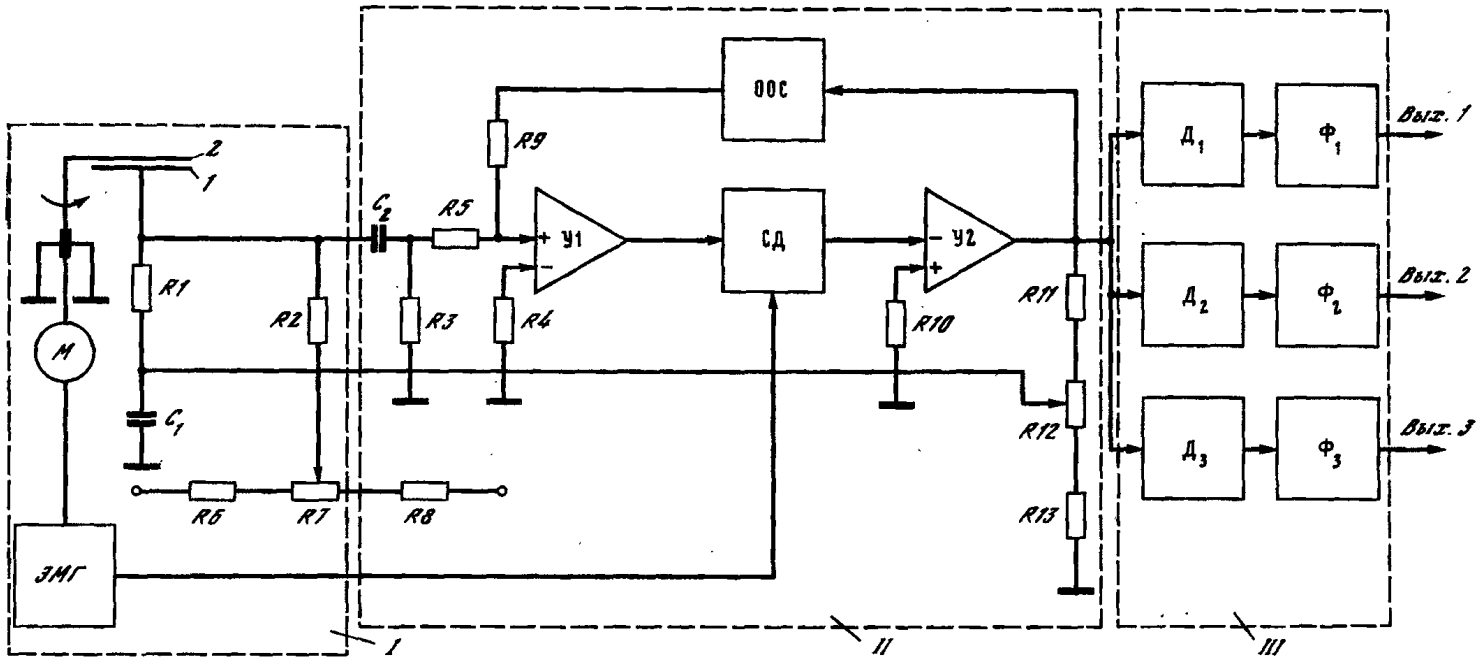
Сопротивление измерительного прибора R, подключенного к зонду, стараются сделать возможно большим - на много порядков больше R_1 и R_2 так что знаменатель правой части уравнения (I) близок к единице. В простых случаях близки к нулю и выражения в скобках числителя, так что показания прибора, измеряющего ток J между электродами, оказываются пропорциональными напряженности ЭП в атмосфере. Это простое рассмотрение помогает понять требования, предъявляемые к конструкции двойного зонда:

пространственное разнесение электродов на расстояние, существенно превышающее дебаевский радиус; симметрия и одинаковый материал электродов (уменьшаются выражения в скобках числителя); малая величина сопротивления покрытия; работа электродов в одинаковых условиях в атмосфере и т.д. В этом случае измеряемый ток J пропорционален напряженности электрического поля E. Отсюда можно оценить и источники ошибок измерений, овязанные с нарушением указанных выше требований. В целом типичная точность измерений ЭП атмосферы двойными зондами составляет 10-20%, однако при неблагоприятных условиях проведения измерений (малая величина измеряемого поля, значительная фотоэмиосия с электродов, нахождение одного из электродов в тени спутника или ракеты и т.п.) ошибка может значительно возрасти.

Достоинством метода двойного зонда является возможность измерения компонент ЭП в любом направлении. Важно это потому, что многие методы третьего класса не позволяют измерять продольную (вдоль магнитного поля) компоненту $E_{\parallel}$, играющую особую роль во многих важных геофизических явлениях. В ряде случаев измерение $E_{\parallel}$ можно осуществить только методом двойного зонда. Совершенную конструкцию двойного зонда представляет собой, например, прибор - измеритель флюктуаций электрического поля (ИФЭП), который был установлен на спутнике Интеркосмос-10 /3/. Он состоял из разнесенных на раостояние 1,5м трех пар зондов, позволявших измерять вое три компоненты напряженности квазистационарного низкочастотного ЭП от 0,01 до 500 Гц. Зондирующие элементы были подключены к электронным блокам, осуществляющим фильтрацию, усиление и кодирование оигнала для передачи по каналам телеметрии на Землю. Входное сопротивление прибора - 10^8 Ом, погрешность измерений по амплитуде - 3%. При помощи ИФЭП были успешно проведены измерения ЭП в магнитосфере.

Измерения ЭП методами второго класса, т.е. по наведенному электрическому заряду (индукционный метод), проводились также на различных высотах в атмосфере, в том числе на ракетах и спутниках. Однако индукционный метод пригоден только для измерений в нижней атмосфере: использсвание его в ионосферной и магнитосферной плазме требует дополнительных теоретических разработок, без которых ошибки измерений могут составлять порядки величин. Этот метсд применялся, в частности, для измерения возмущений ЭП антропогенного характера - в следе, оставляемом космическим аппаратом /4/.

Для измерений ЭП в приземном слое применяются два ооновных метода второго класса - метод радиоактивных коллекторов (зондов) и динамический метод. Сущность метода зондов заключается в том, что в исследуемое пространство помещают проводящее тело (шар, пластина, острие), которое за время релаксации τ приобретает потенциал пространства. Постоянная времени $\tau = RC$ (где C - суммарная емкость прибора, R - суммарное сопротивление воздушного слоя "зонд-земля" и входного оопротивления прибора) зависит от состояния воздушной среды (влажности, ионизации и т.д.) и имеет порядок 10^{12}-10^{19} Ом. Вследствие большого значения τ зонд может применяться для измерения лишь медленно меняющихся ЭП. Инерционность



Р и с. 65. Функциональная схема динамического полемера : I - датчик, II - усилитель, III - блок фильтров, C_i - емкости (i=I,2), R_i - сопротивления (i=I÷I3)

зондов при измерениях в нижней атмосфере стремятся уменьшить, как правило, применяя покрытие коллекторных пластин радиоактивными веществами с мягким излучением, безопасным на расстоянии 5-20 см. Дополнительная ионизация воздуха вблизи радиоактивных коллекторов уменьшает сопротивление воздушной среды и позволяет проводить измерение потенциалов и полей с частотой ниже 10 Гц. Радиоактивный зонд прост, удобен в обращении и рассчитан на длительную работу. Однако возникающее вблизи его поверхности ионизованное облако обусловливает частичное экранирование измеряемого электрического поля. Могут возникать некоторые неконтролируемые искажения записи при сносе ионизованного облака ветром, что необходимо учитывать при обработке результатов измерений ЭП.

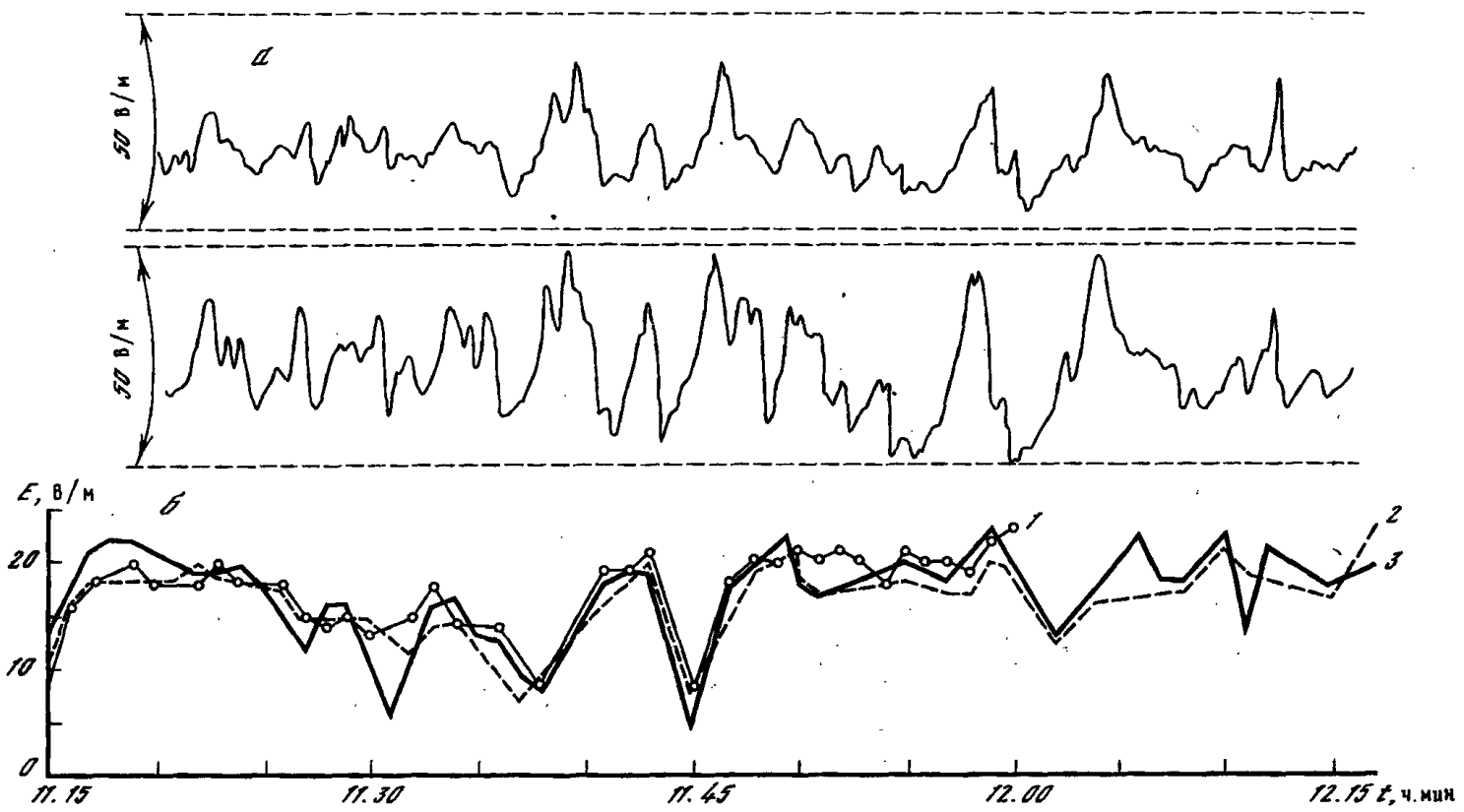
Второй метод этого же класса - динамический метод - обладает меньшей, чем зондовый, инерционностью, но также используется для измерения медленно меняющихся ЭП в диапазоне от 0 до 10 Гц [5,6].

Принцип работы динамического полемера основан на использовании линейной зависимости поверхностной плотности заряда σ, индуцированного внешним ЭП напряженностью E на поверхности проводящего тела заданной формы: $E = 4\pi\sigma$.

Функциональная схема одного из вариантов прибора, осуществляющего этот метод, приведена на рис.65. Датчик динамического полемера преобразует постоянное или медленно меняющееся ЭП в переменный электрический сигнал, снимаемый с измерительной пластины 1, посредством периодического экранирования её при вращении заземленного экрана 2. Пороговая чувствительность прибора определяется в основном уровнем шума щёток, заземляющих вращающийся экран 2. Сигнал с измерительной пластины 1 поступает на усилитель У1, затем подаётся на синхронный детектор СД. Опорный сигнал для синхронного детектора формируется электромеханическим генератором ЭМГ, расположенным на оси электромотора М, вращающего экран 2. Применение синхронного детектора позволяет определять знак напряженности измеряемого ЭП. Выпрямленный и усиленный сигнал поступает в блок полосовых активных фильтров $Ф_i$.

Для стабилизации параметров измерительного тракта в приборе введена отрицательная обратная связь ООС. Уровень выходного напряжения регулируется делителями $Д_i$, расположенными в блоке фильтров. Электрическая схема усилителя прибора выполнена на основе интегральных микросхем К284УД. Конструктивно усилитель размещен в одном корпусе с датчиком и соединен с блоком фильтров кабелем длиной 30 м. Прибор имеет следующие параметры: динамический диапазон измеряемого ЭП - 60 дБ, частотный диапазон - 0-10 Гц с раздельной регистрацией в диапазонах 0-0,01, 0,01-0,1 и 0,1-1 Гц.

Достоинством динамического метода является возможность выделения исследуемого сигнала, соответствующего изменениям ЭП, посредством усиления переменного электрического сигнала, частота которого соответствует частоте вращения экрана. Основной недостаток в существующем вариан-



Р и с. 66. Примеры синхронных записей ЭП. а– записи двумя динамическими полемерами, расположенными на расстоянии 10 м один от другого (с. Михайловское, Московской обл.), б– записи ЭП динамическим полемером (1) и радиоактивными коллекторами, соединенными с гальванометром (2) и со струнным электрометром (3) (обс. Терскол в долине Азау, район Эльбруса)

те метода – использование механического контакта для заземления вращающегося экрана, а также необходимоть использования опорного напряжения.

Для надёжнооти анализа результатсв наблюдения пульсаций ЭП используются, как правилс, два динамических полемера. Пример синхронной записи двумя приборами, разнесенными на IO м, в условиях хорошей погоды приведен на рис.66а. Метод радиоактивных коллекторов и динамический метод используются для измерения у поверхности Земли одной компоненты вектора ЭП, преимущественно вертикальной (рис.66б).

Три компоненты вектора напряженности квазистатического ЭП в свободной атмосфере могут быть измерены с самолётов четырьмя динамическими полемерами, один из которых предназначен для оценки напряженности поля, создаваемого зарядом самолёта. Для измерения вектора напряженности ЭП у поверхности Земли можно предложить конотрукцию, соотоящую из трёх или пяти измерителей ЭП. При этом могут иопользоваться любые датчики, обладающие неизотропной осесимметричной диаграммой направленности. К их числу относятся описанные выше радиоактивные коллекторы и динамические полемеры.

Проведение измерений ЭП на быстро движущихся объектах, таких как ракеты и спутники, осложняется тем обстоятельством, что измеряемое ЭП отличается от поля в непсдвижной земнсй системе координат на величину $\vec{v}_0 \times \vec{H}$, где $\vec{H}$ – напряженность ГМП. Неточности в определении направления скорости $\vec{v}_0$ объекта (спутника или ракеты) относительно поля $\vec{H}$, а также ошибка в определении его величины обусловливают основные погрешности измерений. Типичные значения произведения $\vec{v}_0 \times \vec{H}$ составляют IO–50 мВ/м для измерений на ракетах и 500мВ/м – на спутниках, в то время как измеренные значения напряженности ЭП в верхней атмосфере оставляют IO–I00 мВ/м в высоких и I мВ/м – в низких широтах. Поскольку наибольшая чувствительность двойного зонда (единицы мВ/м) сравнима с систематическими ошибками (около I мВ/м), связанными в основном с неточностями измерения высоты, то ясно, что измерения величин поперечных ЭП на широтах, достаточно удаленных от авроральной зоны, по-видимому, невозможны. Еще в большей степени это относится к измерению продольных полей, величины которых на порядок или на несколько порядков меньше. Понятно, что индукционнсе поле $\vec{v}_0 \times \vec{H}$ имеет лишь поперечную компоненту, однако погрешности в определении ориентации векторов могут сделать измерения продольного ЭП ошибочными.

Среди методов измерений ЭП третьего класса в первую очередь следует назвать метод искусственных ионизованных облаков, который оснсван на эффекте действия электрического и магнитного полей на возмущения в ионосферной и магнитосферной плазмах [7]. Искусственные ионизованные облака представляют собой именно такого рода возмущения, движение и развитие которых в области высот более I30 км определяется преимущественно действием ионосферных ЭП. Постановка измерений ЭП по скорости дрейфа искусственных ионизованных облаков предъявляет определенные требования к теории возмущений в плазме и, как стало очевидно в последние

годы, явилась мощным стимулом её развития. Необходимо было оценить принципиальную возможность определения неискаженных ЭП в верхней атмосфере по дрейфам искусственных ионизованных облаков с учётом влияния на их движение ряда дополнительных факторов.

На заряженные частицы ионизованного облака действуют электромагнитные поля, силы трения, определяемые столкновениями заряженных частиц с нейтральными, а также силы тяжести и градиентов парциальных давлений. В слабых облаках, имеющих небольшие размеры, возмущениями МП за счёт движений заряженных частиц в облаке можно пренебречь и считать, что напряженность МП в пределах облака постоянна. Обычно пренебрегают также эффектами силы тяжести и градиентов давления. Если можно пренебречь и возмущениями, вносимыми ионизованным облаком в атмосферное электрическое поле $\vec{E}$, то скорость перемещения облака есть просто скорость дрейфа плазмы

$$\vec{v}_{пл} = \frac{[\vec{E} \times \vec{H}]}{H^2} \quad . \qquad (2)$$

В этом случае по скорости перемещения облака можно определить поперечную компоненту ЭП в верхней атмосфере:

$$\vec{E}_{\perp} = - \vec{v}_{пл} \times \vec{H} \quad . \qquad (3)$$

Если возмущения, создаваемые облаком в ЭП атмосферы, заметны, то в качестве следующего приближения вместо формулы (2) используют более сложное выражение [8]:

$$\vec{v}_{пл} = \frac{2}{1+\lambda^*} \left[\frac{\vec{E} \times \vec{H}}{H^2} + \frac{1}{k} \left(\frac{\vec{E}_{\perp} + \vec{v}_н \times \vec{H}}{H} \right) \right] + \frac{\lambda^* - 1}{\lambda^* + 1} \vec{v}_н \quad , \qquad (4)$$

где λ^* – отношение педерсеновских проводимостей, проинтегрированных вдоль геомагнитной силовой линии соответственно при наличии и отсутствии ионизованного облака, k – отношение частоты столкновений ионов с нейтральными частицами к гирочастоте ионов, $\vec{v}_н$ – поперечная скорость нейтральных частиц.

Анализ формулы (4) показывает, что до высот примерно 130 км (где $k \gg 1$) на средних широтах преимущественное влияние на движение ионизованного облака должен оказывать ветер, а выше 130 км – электрическое поле. Выражение для поперечной компоненты ЭП в экспериментах с искусственными бариевыми облаками

$$\vec{E}_{\perp} = \frac{\lambda^* + 1}{2} \left[- \vec{v}_{пл} \times \vec{H} + kH \left(\vec{v}_{пл} - \vec{v}_н \right) + \frac{\lambda^* - 1}{\lambda^* + 1} \vec{v}_н \times \vec{H} \right] \qquad (5)$$

можно получить из формулы (4) для высот, где электрическое поле оказывает преимущественное влияние [8]. Поправка, вносимая членом $kH(\vec{v}_{пл} - \vec{v}_н)$, мала, если $k < 1$, что справедливо для высот, больших 130 км, а также для обычно создаваемых достаточно слабых облаков ($\lambda^* \approx 1$) на высотах, больших $\sim$ 180 км.

Поскольку свободные атомы и ионы испускают свет, ссответствующий лишь отдельным спектральным линиям, светимость даже довольно плотного искусственного облака плазмы оказывается весьма низкой. Чтобы отличить облако от фонового излучения неба, эксперимент (обычно с хорошо светящейся бариевой плазмой) проводится в сумерках, когда облако освещено Солнцем, а наблюдатели нахсдятся в тени Земли. Солнечное излучение является постоянно действующим наиболее простым и доступным средством ионизации и возбуждения частиц искусственной плазмы.

Для определения напряженности ЭП необходимо провести фотографирование ионизованного сблака из двух или более пунктов, чтобы на фотоснимках были видны одновременно изображения и облака,и звёзд. По известным сферическим координатам звёзд определяют координаты характерных точек облака; по изменению координат во времени рассчитывают скорость его движения.

В целом метод искусственных ионизованных облаков более чувствителен, чем метод двойных зондов,- им измерены ЭП напряженностью менее I мВ/м. Этот метод овободен от многих недостатков прямых измерений приборами со спутников и ракет, а возмущения,вносимые облаком в измеряемые ЭП, существенно меньше, чем возмущения от космических аппаратов, и в ряде случаев их можно оценить с достаточной точностью. К сожалению оказалось, что ионизованные облака вноят в ионосферную плазму возмущения весьма сложной структуры, в определенной степени препятствующие простой интерпретации результатов наблюдений. Так,наряду с основным искусственно созданным сблаком, которое сбычно выпускается где-то в области F ионосферы, образуются т.н. "отраженные" облака в расположенных ниже ионосферных областях с высокой электрической проводимостью. Материалом для них служит естественная ионосферная плазма. Естественные процесоы развития возмущений приводят к образованию последовательности тонких полос в первоначальном облаке [9,10].

Скорость дрейфа ионосферной плазмы измеряют и не внося в неё искусственных возмущений. Такие измерения проводят, наблюдая радиосигнал, некогерентно рассеянный на флюктуациях электронной концентрации в ионосфере, и определяя доплеровский сдвиг его частоты. Это также весьма распространенный метод измерения ЭП [II,I2] с высокой точность (до 0,3 мВ/м). Суммарное время, за которое удаётся получить данные о поле - порядка нескольких минут. Но у этого метода есть и очень оущественные недостатки. Прежде всего число радиоустановок, на которых возможно проведение измерений ЭП методом некогерентного рассеяния, очень ограничено, а их распределение по земному шару крайне неоднородно. В измерениях определяется лишь одна компонента скорости дрейфа, а следовательно, лишь одна компонента электрического поля. Наконец, дрейф плазмы может быть вызван не только действием ЭП, но и такими причинами, как движение нейтрального газа, сжатие и расширение ионосферы, внутренние гравитационные волны, потоки плазмы из протоносферы и др. Оценить роль этих факторов достаточно сложно.

Таковы основные методы измерения ЭП в атмосфере, нашедшие наибольшее распространение. Из числа менее распространенных упомянем лишь некоторые. Так, были проведены измерения ЭП при помощи зондов Лэнгмюра, представлявших собой два электрически изолированных полуцилиндра [13]. По вольтамперной характеристике обоих полуцилиндров определялась электронная температура и концентрация по обычной методике, а по разности токов ΔJ на полуцилиндрах при их отрицательном потенциале удавалось получить сведения о потоке плазмы. Если считать, что этот поток определяется дрейфом плазмы в электрическом и магнитном полях, то

$$\Delta J = n e A \varphi \frac{|\vec{E} \times \vec{H}|}{H^2}, \qquad (6)$$

где A – площадь поверхности каждого полуцилиндра, φ – фактор фокусировки, n – электронная концентрация, e – заряд электрона.

Из-за некоторой неопределенности в величинах A и φ точность измерений зондами Лэнгмюра ниже, чем двойными зондами. Предполагалось, что другими факторами, влияющими на поток плазмы, т.е. столкновениями частиц и градиентами давлений, можно пренебречь и поток возникает только под действием ЭП (это обычное для подобных измерений предположение).

Определение ЭП проводилось также по потокам тепловых ионов [14] в случаях попадания их в область тормозящего потенциала детекторов, пары которых устанавливались антипараллельно друг другу и перпендикулярно оси вращения ракеты. Тормозящий потенциал в этих измерениях поддерживался из условия постоянства тока на зонд, а измеряемой величиной являются изменения тормозящего потенциала при вращении ракеты. Чувствительность метода около I мВ/м, точность измерений –примерно 20%. Отмечается согласие результатов эксперимента с измерениями ЭП двойными зондами.

Предотавляет интерес получение информации об ЭП по радиолокационному прослеживанию следов ракет и спутников и по данным о потоках плазмы, получаемым в результате изменения связи между двумя антеннами, когда попеременно то одна, то другая является то передающей, то приёмной.

Перопективным является метод измерения ЭП по углу отклонения пучков заряженных частиц-электронов или ионов. Использовать этот метод целесообразно там, где плотность частиц среды мала настолько, что столкновения частиц практически отсутствуют. Описав одну или несколько гироокружностей, частицы пучка должны улавливаться детектором на спутнике. Измеряемым параметром является смещение пучка, обусловленное дрейфом его частиц в ЭП. Дрейф за счёт действия ЭП необходимо отделить от дрейфа, обусловленного градиентом МП. Принципиально этого можно достичь, меняя энергию пучка. В спутниковом эксперименте ток электронного пучка может составлять примерно 10^{-8} А. В ЭП напряженностью I мВ/м и МП 100 нТл дрейф пучка составит около 3 м за гироперио д. Преимуществом эксперимента является достаточная удалённость пучка от космического аппарата (в результате чего влияние его будет невелико), а также принципиаль-

ная возможность измерения и продольной компоненты ЭП. По-видимому, возбуждение неустойчивостей и колебаний в плазме может существенно осложнить измерения.

Итак, измерение электрических полей атмосферы Земли в принципе может проводиться на всех её уровнях. В наземных условиях наиболее широко используются индукционный динамический метод (динамические полемеры) и более простой, но менее точный метод радиоактивных коллекторов. В тропосфере электрические поля (вместе с зарядом самолёта) измеряютоя четырьмя динамическими полемерами. В верхней атмосфере измерения электрических полей ведутся методом двойных зондов, а также методом искусственных ионизованных облаков. В космическом пространстве для измерения электрических полей целесообразно использовать естественный вакуум с целью разработки и совершенствования метода отклонения пучка заряженных частиц в электрическом поле.

В заключение следует отметить, что основные методы измерения электрических полей разработаны для исследования электрических процессов в атмосфере с целью построения общей теории атмосферного злектричества и решения ряда прикладных задач, в частности, прогноза погоды и искусственного воздействия на нее. Дополнительный электромагнитный фон, создаваемый источниками антропогенного характера, необходимо по возможности исключить или учесть при обработке экспериментальных данных, полученных в естественных условиях. С этой целью датчики в период измерений электрического поля располагались на значительных расстояниях от антропогенных источников.

Для измерения электрических полей в окрестности биообъектов см. п.I.3, I.4 наст.гл.) необходимо учитывать особенности структуры возмущениого биообъектами поля, а также использовать эффективные методы экранирования биологических систем от совокупного действия полей многих иоточников помимо исследуемого.

Для дальнейшего совершенствования методов измерения электрических полей атмосферы Земли и излучений, создаваемых живыми системами, необходимо принять меры к увеличению чувствительности, разрешающей способности, малогабаритности и автоматизации измерений напряженности как медленно меняющихся электрических полей (типа униатрной вариации), так и переменных полей различных частотных диапазонов.

Литература

I. Fahleson Ü. Theory of electric fields measurements conducted in the magnetosphere with electric probes. - Space Sci.Revs, 1967, vol.7, N 2/3, p.238-262.

2. Mozer F.S. Analysis of techniques for measuring DS and AC electric fields in the magnetosphere. - Ibid., 1973, vol.14, N 2, p.272-313.

3. Klimov S.I., Korepanov V.E. Some results of investigating the

electric fields with Intercosmos 10 satellite. - Stud.geophys. et geod., 1977, roc.21, N 2, s.200-204.
4. Knott K., Brummondt G., Schumann G. Ionospheric plasma drifts derived from wake measurements. - Planet. and Space Sci., 1971, vol.19, N 3, p.345-355.
5. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, 1972, 323 с.
6. Красногорская Н.В., Ремизов В.П. Пульсации электрического поля атмосферы Земли. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, с.49-55.
7. Герендель Г., Люст Р. Искусственные облака плазмы в космическом пространотве.-УФН, 1979, т.98, вып.4, с.709-721.
8. Haerendel G., Lüst R., Rieger E. Motion of artificial ion clouds in the upper atmosphere.-Planet.and Space Sci.,1967,vol.15,N1, p.1-24.
9. Linson L.M., Workman J.B. Formation of striation in ionospheric plasma clouds. - J.Geophys.res., 1970, vol.75, N 16, p.3211-3219.
10. Simon A., Sleeper A.M. Barium clouds growth in a highly conducting medium. - Ibid., 1972, vol.77, N 13, p.2353-2358.
11. Banks P.M., Rino C.L., Wickwar V.B. Incoherent scatter radar observations of westward electric fields and plasma densities in the auroral ionosphere.- Ibid.,1974, vol.78, N 1, p.187-198.
12. Wedde T., Doupnic J.R., Banks P.M. Chatanika observations of the latitudinal structure of electric fields and particle precipitation on November 21,1975. - Ibid.,1977, vol.82, N 19, p.2743-2751.
13. Bering E., Kelley M., Mozer F.E. Split Langmuir probe measurements of currents, electric fields, temperatures and densities in an aurora.- Eos Trans.AGU, 1970, vol.51, N 4, p.404.
14. Carlson C.W. Measurements of auroral electric fields with a differentical retarding potential analizer. - Eos Trans.AGU, 1971, vol.52, N 4, p.329.

I.2. Методы измерения геомагнитного поля и его вариаций

За последние годы в связи с геомагнитными космическими и магнитобиологическими исследованиями возрос интерес к задачам измерения слабых МП (до нескольких нанотесл).

Классификацию методов измерения магнитных полей можно проводить различными способами [1,2]. Удобно, в частности, выполнить ее в соответствии с физическими явлениями, которые положены в основу действия магнитометрического прибора. В настоящем обзоре рассмотрены лишь те работы, в которых описаны приборы, нашедшие широкое применение в геомагнитных

исследованиях.[1] Для современных магнитных измерений наибольшее распространение получили магнитостатические индукционные и квантовые магнитометры.

Магнитостатические магнитометры

Основой построения магнитометров этого типа являются чувствительные элементы - постоянные магниты, подвешенные на упругой, чаще всего кварцевой, нити [2]. В получивших широкое признание магнитометрах (вариометрах) Боброва [8] чувствительный элемент выполнен в виде прямоугольной цельнокварцевой рамки, три стороны которой сделаны из круткового плавленного кварца, а четвертая - из тонкой кварцевой нити с укрепленными на ней поотоянным измерительным магнитом и кварцевым зеркалом. При изменении внешнего МП укрепленный на кварцевой нити магнит поворачивается на некоторый угол от начального положения до уравновешивания момента вращения, обусловленного действием ГМП и моментом кручения нити. Мерой воздействия внешнего МП служит угол отклонения измерительного магнита, регистрация которого производится оптическим методом на фотографическую бумагу или пленку.

Приборы магнитостатического типа применяются для относительных измерений компонент ГМП и главным образом для регистрации их вариаций (с периодами от 3-5 мин до суток). Градуировка приборов производится при помощи витка с электрическим током. Цена деления вариометров обычно составляет I-3 нТл/мм. Скорости протяжки бумаги равны 20 и 90 мм/ч [8].

Кварцевые магнитостатические вариометры имеют ряд достоинств, выгодно отличающих их от вариометров другого типа,- высокая чувствительность, стабильность нуля, простота конструкции, надежность, - поэтому они находят широкое применение и в СССР, и за рубежом. За последние годы в кварцевые вариометры были внесены многие усовершенствования [9-12]. Использование новых элементов в полевой магнитной вариационной станции (МВС) привело к упрощению ее конструкции, уменьшению габаритов и веса [9]. Разработаны и изготовлены H_z-вариометры, показания которых практически не зависят от их наклона благодаря применению маятника с дополнительным магнитом [10]. Созданы специальные вариометры для регистрации только коротко- или только длиннопериодных вариаций [11], а также вариометры с видимой записью [12]. Для измерения магнитных вариаций на дне моря оозданы неоколько типов донных МВС [7, с.42-47; 13].

До последнего времени кварцевые вариометры обеспечивали в основном только аналоговую запись вариаций. Поэтому одной из актуальнейших задач было создание специальных преобразователей или цифровых вариационных станций, выдающих информацию о вариациях МП в виде, удобном для ввода в ЭВМ.

---

[1] Наибольшая информация о геомагнитных приборах и методах измерений содержится в периодических изданиях НПО геофизика - "Геофизичеокая аппаратура", в ряде трудов, издаваемых ИЗМИРАН СССР [3-5], а также в обзорах [6,7].

Для измерения компонент ГМП во Франции были разработаны цифровые компонентные МВС [14], которые вместе с ядерным магнитометром, измеряющим вариации модуля вектора ГМП, используются на нескольких обсерваториях. Аналоговые сигналы компонентных магнитометров преобразуются в цифровую форму и через регулярные промежутки времени перфорируются по международному телекоду, что позволяет передавать их по радио.

На основе кварцевого магниточувствительного элемента в СССР разработаны преобразователи напряженности МП в цифровой код [15]. По способу преобразования измеряемого МП различают магнитостатические и магнитодинамические приборы с развертывающим преобразователем. В работах [15, 16] приведены принципиальные схемы и параметры преобразователей, отмечена перспективность использования кварцевых магниточувствительных элементов для создания цифровых вариационных станций.

Регистрация короткопериодных вариаций ГМП (с периодами от 3 с и выше) производится вариометрами Бруннелли [2], в которых благодаря применению отрицательной обратной связи отсутствует зависимость показаний вариометров от периода измеряемых вариаций. Усовершенствованная микровариационная станция с вариометрами Бруннелли имеет следующие параметры: диапазон периодов вариаций – 5–600 с, цена деления магнитограмм – 0,02 нТл/мм, скорость протяжки фотобумаги – 360 мм/с. Градуировка их производится также при помощи витка с электрическим током [17]. Для разведки земных недр используются передвижные магнитотеллурические лаборатории МТЛ – 62 и МТЛ – 71 [18], смонтированные на автомашинах или вездеходах. МТЛ регистрируют вариации магнитного и электрического поля с периодами 10 – 200 с, чувствительность магнитных каналов составляет 0,01 – 0,05 нТл/мм, электрических – 0,05 – 0,2 мВ/мм. Относительный дрейф нуля магнитометров не превышает 0,05 нТл/мин. Скорость протяжки фотобумаги – от 2000 до 3000 мм/с. Применением отрицательной обратной связи удалось снизить уровень собственных шумов и повысить чувствительность приборов [18].

Индукционные магнитометры

Действие индукционных магнитометров основано на законе электромагнитной индукции, т.е. на возникновении ЭДС в витке провода при изменении действующего на него магнитного потока. Чувствительность их определяется размерами и числом витков катушки, магнитными овойствами сердечника и зависит от частоты измеряемого поля. Распространению индукционных магнитометров спообствовало появление сплавов высокой магнитной проницаемости (типа пермаллой) и применение их в качеотве оердечников индукционных катушек [2].

Для измерения короткопериодных вариаций ГМП применяются индукционные катушки с ферромагнитным сердечником или без него, в том числе трехкомпонентные индукционные магнитометры [19,20]. Трехкомпонентные магнитометры имеют усилители, обеопечивающие измерения вариаций в диапазоне частот от 0,005 до 100 Гц . Аналоговая запись вариаций производится с

чувствительностью от 0,5 до 0,005 нТл/мм. Применение аналого-цифрового преобразователя позволяет получать информацию индукционных магнитометров в цифровой импульсно-кодовой форме, пригодной для ввода в ЭВМ [20].

Для измерения ГМП и его вариаций в верхней атмосфере на ракетах и спутниках применяются магнитометрические зонды [6]. Принцип их действия основан на измерении ЭДС, наводимой в зондирующей катушке при ее вращении во внешнем МП. На спутниках серии ОГО подобный магнитометр обеспечивал регистрацию вариаций ГМП в частотном диапазоне 0,1 - 1000 Гц [6].

Рассмотрим феррозондовые магнитометры (феррозонды), в которых, в отличие от других индукционных приборов, модуляция потока измеряемого МП через катушку производится путем периодического изменения магнитной проницаемости ферромагнитного сердечника.

Принцип действия магнитометра следующий. При питании переменным током первичной обмотки сердечника во вторичной обмотке, навитой на тот же пермаллоевый сердечник, индуцируется ЭДС, зависящая от компоненты МП и направленная вдоль оси сердечника. Частота модуляции обычно составляет от нескольких единиц до сотен килогерц, что обеспечивает высокую чувствительность при малых размерах катушки. Наибольшее применение имеют магнитометры, работающие на второй гармонике выходной ЭДС и использующие дифференциальные феррозонды с продольным возбуждением [21-23]. Феррозондовые магнитометры позволяют измерять не только напряженность, но и направление исследуемого МП. Они экономичны, имеют высокую чувствительность и надежность, непрерывный выходной электрический сигнал, вследствие чего так широк диапазон их применения (несмотря на имеющийся недостаток - дрейф нуля).

Буксируемые за кораблем феррозондовые магнитометры обеспечивают морскую съемку составляющих ГМП [7,24]. Трехкомпонентный магнитометр успешно работал на немагнитной шхуне "Заря" [22].

Для ориентации и стабилизации феррозондов на движущейся платформе применяются гироскопические устройства или маятниковые системы. Феррозондовые магнитометры используются в автономных МВС - в обсерваториях на суше [25] и на дне моря [13]. Цена деления МВС составляет 0,5-1 нТл/мм.

Феррозондовые трехкомпонентные магнитометры применяются также для геомагнитных индукционных исследований в широком диапазоне частот [26], а кольцевые феррозонды с продольным возбуждением используют для космических исследований [27]. Подобный магнитометр был установлен на поверхности Луны и обеспечил измерения МП и его вариаций с частотой до 3 Гц. Имеется много работ советских и зарубежных авторов, посвященных теории феррозондовых магнитометров [28,29]. Исследования, выполненные в последние годы, направлены на повышение чувствительности и стабильности измерений [28]. В магнитометрах с трубчатым ферритовым сердечником чувствительность составляет 5-10 мкВ/нТл, нестабильность не превышает 2,5 нТл за 15 сут [29].

Измерять слабые МП можно магнитометром, основанным на применении тонких ферромагнитных пленок [6,30]. Уникальные свойства таких пленок - отсутствие доменных барьеров; четко обозначенная осевая анизотропия, низкие потери на вихревые токи и высокое поверхностное сопротивление - обеопечивают применение их в приборах для магнитных измерений. Процесс измерения аналогичен измерениям на феррозонде с продольным возбуждением. Простейшее аналитическое описание процессов намагничивания тонких пленок предполагет, что пленки представляют собой единый домен, все магнитные изменения которого обуоловлены когерентным вращением вектора намагниченности $\vec{M}$ под влиянием внешнего поля и энергией одноосевой анизотропии. Благодаря большой величине коэффициента размагничивания в направлении, перпендикулярном поверхности пленки, $\vec{M}$ всегда остается в плоскооти пленки [30].

Квантовые магнитометры

Квантовые приборы включают три типа магнитометров, принцип действия которых основан на измерении частоты свободной ядерной прецессии (протонно-прецеоионный магнитометр), на оптической ориентации атомов и на эффекте сверхпроводимости.

Принцип действия протонно-прецессионного магнитометра состоит в следующем [31]. Протоны (атомные ядра) обладают, кроме масоы и электрического заряда, также механическим моментом количества движения $\vec{p}$ и магнитным моментом $\vec{\mu}$. Ядро можно представить в виде злементарного гироокопа, вдоль оои которого направлен магнитный момент.Внешнее МП напряженностью $\vec{H}$ стремится ориентировать ядра таким образом, чтобы их магнитные моменты повернулись вдоль этого поля, но механические моменты ядер препятствуют изменению ориентации. Под действием этих сил происходит прецессия ядер, при которой магнитные моменты ядер описывают конусы вокруг направления внешнего поля. Угловая частота прецессии пропорциональна модулю напряженности поля $|\vec{H}|$: $\omega = \gamma_p |\vec{H}|$ ($\gamma_p = \vec{\mu}/\vec{p}$ - гиромагнитное отношение протона).

Измерение поля $|\vec{H}|$ сводится к измерению частоты прецесоии. Так как γ_p является мировой конотантой, то измерения модуля вектора МП методом протонной прецессии могут быть названы абсолютными. Для получения свободной ядерной прецессии в протоносодержащей жидкости, находящейся в поле $\vec{H}$, создается дополнительнее поляризующее поле $\vec{H}_p$, значительно превосходящее поле $\vec{H}$ и направленное к нему под углом. Для этого через обмотку датчика, внутри которой находитоя протоносодержащая жидкоотъ, в течение некоторого времени пропускается ток. Возникшая принудительная ориентация протонов создает в датчике намагниченность $\vec{M}$, направленную вдоль результирующего поля. Поляризующее поле выключается доотаточно быстро, чтобы за время выключения вектор $\vec{M}$ практически не успел изменить своей ориентации. В этом случае вектор ядерного намагничивания начинает свободно прецессировать вокруг поля $\vec{H}$, наводя в обмотке датчика ЭДС, частота которой пропорциональна полю $\vec{H}$. После

отключения истсчника тока, обеспечивающего поляризацию, обмотка датчика подключается к усилителю и сигнал, наведенный в датчике, усиливается до величины, необходимой для измерения частотомером. Необходимость поляризации приводит к дискретности измерений. Магнитометр измеряет модуль вектора МП. Для компонентных измерений необходима дополнительная специальная колечная система [31].

Протонно-прецессионные магнитометры нашли широкое применение вследствие высокой точности абсолютных и относительных измерений, широкого температурного диапазона, отсутствия дрейфа отсчетного уровня сигнала, практической независимости показаний прибора от ориентации датчика в пространстве относительно направления измеряемого поля (при соответствующей конструкции датчика), надежности и устойчивости в работе. Основные области применения этих магнитометров - измерения модуля $\bar{H}$ буксируемыми приборами за кораблем и самолетом, космические исследования, поисковые геолого-разведочные работы и абсолютные наблюдения в обсерваториях [6,7,31]. Для увеличения чувствительности и быстродействия протонных магнитометров применяется метод динамической поляризации ядер [32]. Разработанный в ИЗМИРАН СССР протонный магнитометр ПМ -4 использовался для измерений МП на больших высотах с искусственных спутников Земли [33].

Новые разработки протонно-прецессионных магнитометров для морских и самолетных съемок имеют специальные приспособления для обеспечения одновременной аналоговой и цифровой регистрации [34]. Применение двух и более датчиков позволяет измерять градиент МП и обеспечивает нижний предел измерений от 0,05 до 0,1 нТл [35,36].

Для увеличения чувствительности ядерных магнитометров до сотых долей нанотесла наиболее эффективным методом является, по-видимому, фазовый метод измерения частоты сигнала прецессии. Описание фазсвого метода измерения частоты и анализ погрешностей магнитометра, работающего таким методом, даны в [37]. Протонный магнитометр ПМ-001, разработанный за последние годы, отличается высокой помехоустойчивостью датчика [38]. Прибор прошел всесторонние испытания и успешную проверку в Институте метрологии (ВНИИМ). Разрешающая способность магнитометра 0,2 нТл. Во всем диапазоне измеряемых полей (от 30 до 80 мкТл) среднеквадратическая погрешность составила $\pm$ 0,5 нТл, не превышая ни в одном диапазоне 1,1 нТл.

Расомотрим магнитометры с оптической ориентацией (накачкой) атомов.

В магнитометрах, основанных на прецессии атомных магнитных моментов щелочных металлов и гелия в газообразном состоянии, поляризация магнитных моментов атомов осуществляется с помощью оптического излучения или спинового обмена, а детектирование магнитного резонанса производится по изменению интенсивности и поляризации излученного атомами света [36]. Измерение МП сводится к измерению частоты перехода между зеемановскими подуровнями атомов, ориентированных методом оптической накачки. В магнитометрах используются эффекты взаимодействия атомов рабочего вещества

(пары рубидия, цезия или гелия) с ЭМП двух диапазонов частот; радио и оптического. В силу дискретности энергетических уровней атома это взаимодействие носит резонансный характер.

Переход с одного уровня энергии на другой совершается при поглощении или испускании атомом кванта электромагнитной энергии. Для получения перехода предварительно создается большая разность населенностей зеемановских подуровней атомов путем поляризации возбуждающего света; такое состояние одновременно соответствует определенной ориентации атомов относительно МП. Теория магнитного резонанса для оптически ориентированной системы магнитных моментов атома приведена в [36].

Простейшей схемой построения датчика квантового самогенерирующего магнитометра является однокамерная схема с самогенерацией на частоте зеемановского перехода [39]. В магнитометре с одной камерой поглощения в момент магнитного резонанса (момент совпадения частоты наложенного радиополя с частотой прецессии оптически накачанных атомов газа рабочего вещества) возникает соответствующая модуляция проходящего сквозь камеру света на резонансной частоте. Амплитуда выходного сигнала такого магнитометра пропорциональна произведению $\sin\theta \cos\theta$, где θ - угол между оптической осью датчика и направлением измеряемого поля. В соответствии с этим прибор имеет так называемые "мертвые" зоны, ориентированные вдоль ($\theta = 0$) и перпендикулярно ($\theta = 90$) оптической оси датчика. Это создает значительные неудобства при измерении с подвижных платформ и приводит к уменьшению точности измерений или к необходимости использовать дополнительные ориентирующие сиотемы для сохранения положения датчика относительно направления магнитного поля. Применение многокамерных датчиков хотя и улучшает положение, но приводит к значительному усложнению аппаратуры [39].

Уменьшение ориентационных погрешностей может быть получено либо при помощи системы автоподстройки частоты генерации на центр линии магнитного резонанса в самогенерирующем датчике, либо введением автоподстройки самогенерирующего магнитометра по опорному датчику [39,40]. Квантовый магнитометр без "мертвых" зон ориентации разработан на основе двух функциональных схем магнитометров с различными ориентационными зависимостями, объединенных общей оптической системой [41].

Магнитометры с оптической ориентацией атомов щелочных металлов имеют ряд положительных качеств, благодаря которым они находят применение в его физических и других исследованиях: большие значения отношения сигнала к шуму и высокая чувствительность (до $1 \cdot 10^{-4}$ нТл), широкий динамический диапазон, перекрываемый без переключений, высокое быстродействие [36,42]. У квантовых цезиевых магнитометров, выпускаемых СКБ ФП АН СССР [43], разрешающая способность оставляет от 1 до 0,01 нТл; результаты измерений регистрируются одновременно в цифровой и аналоговой формах. Такие магнитометры использовались в поисках погребенных ферромагнитных предметов при археологических раскопках [44] и для

измерений МП биообъектов [39] (см. также п.I.5 наст.гл.). Квантовым цезиевым магнитометром КЦМ-I были выполнены измерения с ИСЗ "Космос-321" по программе Мирсвой магнитной съемки [33].

Для компонентных измерений ГМП необходима дополнительная специальная колечная система [45,46], которая обеспечивает измерения проекций полного вектора напряженности ГМП в гесфизической (геомагнитной) системе координат либо в системе координат, связанной с движущимся объектом [43,45]. Применение дифференциальной схемы включения магнитометров о оптической ориентацией атомов сделало возможными измерения градиентов МП , проведение исследований влияния берегового эффекта на геомагнитные вариации [7,47].

Кроме рассмотренных выше квантовых магнитометров, использующих в качестве рабочего вещества пары щелочных металлов, разработан квантовый гелиевый самогенерирующий магнитометр с оптической накачкой метастабильных атомов гелия [40]. Гелиевый магнитометр не уступает им по чувствительности, а по ряду параметров (линейная зависимость между измеряемым МП и частотой регистрируемого сигнала, симметричность резонансной линии) их превосходит.

Рассмотрим далее сверхпроводящие квантовые магнитометры, обеспечивающие измерения слабых МП.

Принцип действия чувствительных элементсв сверхпроводящих магнито- и градиентометров основан на одном из квантовых явлений, имеющих место в сверхпроводниках, обычно зто эффект Джозефсона. Сверхпроводящий чувствительный элемент находится в криостате с жидким гелием. Создание таких приборов представляет большой интерес для различных физических и медико-биологических исследований.

Сверхпроводящие квантовые магнитометры могут обладать высокой чувствительностью (до $I.I0^{-6}$ нТл) в динамическом диапазоне от I до I00 мкТл и быстродействием до $I\cdot I0^{-9}$ с [48,49]. Однако из-за больших трудностей создания высокочувствительных магнитометров и необходимости достаточно долго поддерживать сверхнизкие температуры в настоящее время известны лишь лабораторные образцы приборов [48,49].

Разработаны также магнитометры - флюксметры со сверхпроводящими квантовыми интерференционными датчиками, которые обеспечивают чувствительность дс $I,2.I0^{-4}$ нТл в диапазоне полей от $I0^{-7}$ до $I0^{3}$ нТл [50,5I]. Приборы применяются для контроля за стабильностью сверхпроводящих магнитов и для определения магнитной восприимчивости малых образцов (0,I5 $см^3$).

Для измерения слабых магнитных полей напряженностью до нескольких нанотесл применяются квантовые магнитометры, основанные на оптической ориентации моментов атомов, поляризованных резонансным излучением [52-54]. Одним из таких приборов является квантовый магнитометр, принцип действия которого основан на использовании эффекта пересечения (наложения) зеемановских подуровней основного состояния оптически

ориентированных атомов в сверхслабом МП /52,53/. Этот эффект наложения аналогичен эффекту пересечения уровней основного состояния атома в нулевом магнитном поле (эффект Ханле). Возможность практической реализации такого метода рассмотрена в /54/. Одной из основных трудностей создания прибора является обеспечение компенсации внешних магнитных полей. Чувствительность имеющихся в настоящее время магнитометров еще не достигает теоретически возможной для этого метода (10^{-6} нТл) /54/.

Кроме квантовых магнитометров для измерения слабых полей порядка 0,1 нТл применяются магнитометры, основанные на гальваномагнитных эффектах /55,56/. Разработан магнитометр на основе использования эффекта Холла с датчиком из антимонида индия /55/. Пороговая чувствительность прибора составляет $6{,}54.10^{-3}$ нТл /55,56/.

Для измерения слабых магнитных полей, например МП биообъектов, необходимо исключить обычно существенно их превышающие МП внешней среды. Эффективность компенсационных катушек и экранов часто ограничивает возможности повышения чувствительности магнитометров и градиентометров, поэтому нам кажется целесообразным привести данные, касающиеся экранов и компенсирующих колец. Для компенсации ГМП и его вариаций, а также для создания малых однородных МП в небольшом объеме применяются ферромагнитные и сверхпроводящие экраны. В больших объемах компенсация ГМП обеспечивается путем использования экранов и расположенной внутри них системы колец /6, с. 214/. Наиболее эффективная компенсация ГМП была достигнута путем использования многослойных ферромагнитных и сверхпроводящих сферических экранов и компенсирующей системы колец при обеспечении испытаний и калибровки чувствительных магнитометров /57/. При этих испытаниях учитывалось взаимодействие сферических токовых систем с ферромагнитным экраном /58/. В работе /59/ рассмотрена возможность компенсации поля рассеяния за пределами системы колец, в объеме которых создается однородное поле.

Задача компенсации вариаций ГМП существенно упрощается при применении автоматических систем питания компенсирующих колец, при этом надежнее обеспечивается и стабильность поля. В разработанном во Франции устройстве /60/ автоматической компенсации вектора ГМП магнитометры управляют током в системе компенсирующих катушек. Это устройство позволяет компенсировать ГМП до 3.10^{-2} нТл. В установке для автоматической компенсации поля вариаций, разработанной в США, компенсация поля обеспечивается при помощи замкнутой цепи обратной связи, основным элементом которой является рубидиевый магнитометр /61/.

Итак, в зависимости от необходимости получения абсолютных или относительных данных о ГМП, требований к чувствительности, быстродействию, диапазону измеряемых полей должны быть использованы различные методы измерений. Для абсолютных измерений ГМП наиболее широко используются протонно-прецессионные магнитометры с разрешающей способностью до 0,05 нТл в диапазоне полей от 30 до 80 мкТл; у них высо-

кая точность абсолютных измерений, широкий температурный диапазон, отсутотвует дрейф нуля, показания магнитометра практически не зависят от ориентации датчиков. Относительные измерения МП можно выполнять любыми магнитометрами. Магнитостатические магнитометры являются наиболее простыми и надежными для измерений всех компонент ГМП. Их чувствительность - до 0,5 нТл/мм (при регистрации полей с периодами от 3 мин дс суток) и до 0,0I нТл/мм (для полей с периодами от 0,05 до I0 мин). Индукционные магнитометры применяются для измерений величины и направления компонент ГМП (а также и градиентов) с частотами от 0,005 до I000 Гц. Эти приборы дают непрерывный электрический сигнал и обеспечивают нижний предел чувствительности ~ 0,005нТл/мм в диапазоне полей от нескольких нанотесл до I00мкТл. Магнитометры с оптичеокой ориентацией атомов обеспечивают практически безынерционные измерения ГМП и их градиентов с нижним пределом $I.I0^{-4}$ нТл в широком диапазоне полей, перекрываемом без переключений. Для измерения слабых магнитных полей до десятых долей нанотесла разработаны несколько типов сверхпроводящих квантовых магнитометров и градиентометров, а также магнитометры, основанные на гальвано-магнитном эффекте, с пороговой чувствительностью от $6.I0^{-3}$ до $I.I0^{-6}$ нТл и быстродействием до $I.I0^{-9}$ о. Одной из основных трудностей измерения слабых магнитных полей является обеспечение экранировки от действия внешних ЭМП.

Литература

I. Чечурина Г.Н. Приборы для измерения магнитных величин. М.: Энергия, I969, I68 с.
2. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Т.2. Теоретические основы магнитометрического метода исследования земной коры и геомагнитные измерения. Л.: Изд-во ЛГУ, I963, 46I с.
3. Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, I977, I07 с.
4. Анализ пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, I975, 307 с.
5. Исследование пространственно-временной отруктуры геомагнитного поля М.: Наука, I977, 27I с.
6. Жузгов Л.Н., Фастовский У.В. Магнитометрическая аппаратура. - В кн.: Итоги науки и техники. Геомагнетизм и высокие слои атмосферы. М.: ВИНИТИ, I972, т.I, с.202-2I8.
7. Новый В.В., Беляев И.И., Фингер Д.Л., Абрамова Л.М. Морская магнитометрическая аппаратура. М.: Недра, I973, 58 с.
8. Бобров В.Н. Серия кварцевых магнитных вариометров. - Геомагнетизм и аэрономия, I962, т.2, № 2, с.348-356.
9. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Мурашов Б.П. О повышении стабильнооти нулевого уровня вариометров с фотоэлектрическими преобразователями. - В кн.: Исследование пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, I977, с.239-24I.

I0. Бобров В.Н., Бурцев Ю.А. Кварцевый H_z-вариометр для автономных вариационных станций. - Геомагнетизм и аэрономия, I970, т.I0, № 4, с.770-77I.
II. Бобров В.Н., Сизов Ю.П. Длиннопериодный магнитный вариометр. - В кн.: Исследование проотранственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, I977, с.248-249.
I2. Бобров В.Н., Кудревский А.И., Иванов А.П., Кузнецов Н.И. Кварцевая магнитовариационная станция видимой записи. - Там же, с.242-247.
I3. Шнеер В.С., Абрамова Л.М., Новыш В.В., Фингер Д.Л. Магнитовариационная аномалия на северо-восточном побережье Черного моря. - В кн.: Иосследование геомагнитного поля на акваториях морей и океанов. М.: ИЗМИРАН, I978, с.I25-I37.
I4. Sohlich R. Enregistrement numerique direct due champ magnetique terrestre. - Rev. phys. appl., 1970, vol. 5, N 1, p. 153-158.
I5. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Мурашов Б.П. Преобразователи напряженности магнитного поля в цифровой код на основе кварцевого магнито-чувствительного элемента. - В кн.: Исследование пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, I977, с.2I7-223.
I6. Успенский Б.Г., Бурцев Ю.А., Бобров В.Н. Исследование магнитометрического H_z-вариометра с емкостным преобразователем. - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, I977, вып.6I, с.22-30.
I7. Казак Б.Н., Раопопов О.М. Магнитная микровариационная станция с автоматическим управлением. - Там же, I965, вып.26, с.I00-I057.
I8. Алексеев А.М., Бердичевский М.Н., Ланцов А.Е. Магнитотеллурическая лаборатория МТЛ-62. М.: ВНИИгеофизика, I963, I8 с.
I9. Баранский Л.Н. Расчет индукционного датчика для измерения слабых переменных магнитных полей. - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, I966, вып.28, с.24-36.
20. Ан В.Н., Геллер Л.А., Казак Б.Н. Опыт применения аналого-цифрового преобразования для записи вариаций естественного электромагнитного поля Земли. - Геомагнетизм и аэрономия, I965, т.5, № 5, с.896-900.
2I. Янус Р.И., Фридман Л.Х., Дрожжина В.И. К теории дифференциальных феррозондов с продольным возбуждением. - В кн.: Геофизическое приборостроение. Л.: Недра, I959, вып.3, с.73-95.
22. Афанасьев Ю.В., Гольдреер И.Г., Долгинов Ш.Ш. Вопросы проектирования феррозондовых магнитометров. - Там же, I960, вып.5, с.40-58.
23. Афанасьев Ю.В. Феррозонды. Л.: Энергия, I969, I68 с.
24. Маевский И.А., Новыш В.В., Фингер Д.Л. Буксируемый Hz-магнитометр на карданном подвесе. - Геомагнетизм и аэрономия, I965, т.5, № 3, с.595-597.
25. Andersen F. An automatic magnetic observatory system. - Publs Earth Phys. Branch. Dep. Energy, Mines and Resour. Ottawa, 1974, vol. 44, N 11, p. 240-246.
26. Caner B., Dragert H. Instrumentation for widefrequency-band geomag-

netic induction work. – Ztschr. Geophys., 1972, Bd. 38, N 1, S. 121–132.
27. Gyal P., Parkin C.W., Sonett Ch.P. Lunar surface magnetometer. – IEEE Trans. Geosci. Electron., 1970, vol. 8, N 4, p. 203–215.
28. Афанасьев Ю.В. Состояние и перспективы развития феррозондовой магнитометрии. – В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1977, вып.60, с.17–35.
29. Primdahl F. Fluxgate sensors, principles and properties. – JAGA bull., 1973, N 34, p. 249–253.
30. Jrons H.R., Schwee L.J. Magnetic thinfilm magnetometers for magnetic field measurement. – IEEE Trans. Magn., 1972, vol. 8, N 1, p. 61–65.
31. Ротштейн А.Я., Цирель В.С. Ядерные прецессионные магнитометры. – В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1974, вып.55, с.16–25.
32. Скроцкий Г.В., Степанов А.П., Стоцкий В.М., Филатов А.Н. Применение динамической поляризации ядер для увеличения чувствительности ядерных прецессионных магнитометров. – Там же, 1970, вып.42, с.10–57.
33. Dolginov Sh.Sh., Kozlov A.N., Chinchevoi M.M. Magnetometers for space measurements. – Rev. Phys. Appl., 1970, vol. 5, N 1, p.178–182.
34. Беляев И.И., Цымбал В.А., Курасов М.И. и др. Аэроморской протонный магнитометр. – В кн.:Геофизические поля северо-западной части Тихого океана. Владивосток, 1976, с.127–135.(Тр.СахКНИИ; Вып.42).
35. Hartmann F. Resonance magnetometers. – IEEE Trans. Magn., 1972, vol. MAG-8, N 1, p. 66–69.
36. Померанцев Н.М., Рыжков В.М., Скроцкий Г.В. Физическая основа квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972, 448 с.
37. Рыжков В.М., Таширов Е.В. Ядерный магнитометр с фазовым методом измерения частоты. – В кн.: Гесфизическая аппаратура. Л.: Недра, 1975, вып.58, с.3–12.
38. Цветков Ю.П., Поляков В.В., Мурашов Б.П., Фетисов А.Ф. Протонный магнитометр ПМ-001. – В кн.: Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977, с.3–8.
39. Козлов А.Н., Синельникова С.Е., Шумов Л.А. Квантовый самогенерирующий магнитометр с автоподстройкой. – В кн.:Анализ пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, 1975, с.236–242.
40. Доватор Н.А., Житников Р.А., Кулешов П.П. Самогенерирующий гелиевый магнитометр с автоматической подстройкой фазы. – В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1974, вып.56, с.15–20.
41. Рыжков В.М., Соловьев В.С. Квантовый магнитометр без мертвых зон ориентации. – Там же, 1971, вып.46, с.14–19.
42. Долинский Ю.Д., Ирзак А.Л., Кленер Н.Б., Поляков К.К. Повышение

чувствительности и быстродействия квантовых и ядерно-прецессионных магнитометров. - Там же, 1975, вып.57, с.51-56.
43. Красильников А.И., Любимов В.В., Перунов В.С. и др. Квантовые магнитометры разработки СКБ ФП АН СССР. - В кн.: Анализ пространственно-временной структуры геомагнитного поля. М.: Наука, 1975, с.248-262.
44. Внучков Г.А., Глазунов В.В., Наумов А.П. и др. Применение квантового магнитометра в исследовании археологических памятников. - В кн.: Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977, с.77-85.
45. Алексеев Г.В., Бакалинский С.П., Ротштейн А.Я., Цуцкарев Б.М. Абсолютный морской компонентный магнитометр. - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1974, вып.47, с.35-40.
46. Чидсон Ю.С. Ориентационная зависимость суммы сигналов $F = J + S$ и $F = J - S$ квантового самогенерирующего магнитометра. - Там же, 1977, вып.61, с.30-37.
47. Иваница А.И., Фастовский У.В. Квантовый дифференциальный магнитометр КМ-8. - В кн.: Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977, с.16-21.
48. Бондаренко С.И. Сверхпроводящие квантовые градиентометры. - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1975, вып.57, с.3-8.
49. Zimmerman J.E. SQUID instruments and shielding for low-level magnetic measurement. - J. Appl. Phys., 1972, vol. 48, p. 702.
50. Пестов Е.Н., Скроцкий Г.В. Квантовый флюксметр для измерения слабых и сверхслабых магнитных полей со сверхпроводящим квантовым интерференционным датчиком. - В кн.: Геофизическая аппаратура, Л.: Недра, 1971, вып.45, с.24-28.
51. Wynn W.M., Frahm C.P., Carrol P.J. et al. Advanced superconducting gradiometer magnetometer arrays and a novel signal processing technique. - IEEE Trans. Magn., 1972, vol. MAG-11, N 2, p. 701-707.
52. Александров Е.Б., Бонч-Бруевич А.М., Ходовой В.А. Возможности измерения малых магнитных полей методами оптической ориентации атомов. - Оптика и спектроскопия, 1967, т.23, № 2, с.282-286.
53. Скроцкий Г.В., Соломахо Г.И. Явление пересечения атомных магнитных подуровней в основном состоянии и его применение в магнитометрии. - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1973, вып.52, с.3-15.
54. Андрианов Б.А., Белый В.А., Гринько И.Е., Лукошин А.Ф. Квантовый магнитометр для сверхслабых полей. - Там же, 1975, вып.57, с.3-8.
55. Арустаманова М.В., Петипов В.М.,Суханов С.Магнитометр слабых полей на основе датчика Холла. - Там же, 1965, вып.26, с.15-19.
56. Owston C.N. Hall-effect magnetometer for small magnetic fields. - J. Sci. Instrum., 1967, vol. 44, p. 798-800.
57. Овчаренко П.С. Высокоэффективные ферромагнитные экраны. - В кн.: Геофизическая аппаратура. Л.: Недра, 1974, вып.56, с.126-130.

58. Овчаренко П.С., Приданников Л.Н., Малых В.А. Учет взаимодействия сферических токовых систем о ферромагнитным экраном при испытаниях и калибровке высокочувствительных магнитометров. - В кн.: Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977, с.71-73.
59. Бледнов В.А., Ротштейн А.Я. О создании колечных систем для получения однородного поля с компенсацией поля рассеяния. - Геомагнетизм и аэрономия , 1970, т.10, № 6, с.1133-1135.
60. Argence G. Dispositif de compensation automatique du vecteuer champ magnetique terrestre. - Rev. Phys. Appl., 1970, vol. 5, N 1, p. 159-163.
61. Driscoll R.L., Olsen P.T. Compensation of earths field vsriations by field controlled rubidium oscillator. - Rev. Sci. Instrum., 1971, vol. 42, N 10, p. 1427-1431.

I.3. Методы измерения электромагнитных полей живых организмов

Измерение электромагнитных полей, ооздаваемых каким-либо источником, в том числе и биообъектами, в принципе может проводиться по электрической и магнитной компонентам. Поскольку уровень ожидаемых сигналов в непосредственной близости от поверхности тела находится в пределах от единиц микровольт до десятков милливольт (при измерении электрической компоненты) или десятых долей нанотеслы (при измерении магнитной компоненты), то для измерения биоэлектромагнитных полей экспериментаторы используют специальные методы и особо чувствительную аппаратуру. Наибольший интерес представляют способы измерения ЭМП биообъектов на оравнительно низких частотах, соответствующих частотам электрических процессов, протекающих в организме.

В настоящее время для оценки внешних ЭМП живых систем используются главным образом электрометрический метод и метод частотного преобразования сигнала (при регистрации электрической компоненты), индукционный метод и метод, использующий явление сверхпрсводимооти (при регистрации магнитной компоненты). Выбор объекта исследования (целостный организм, изолированные структуры) определяет конкретную реализацию этих методов.

Методы измерения электрических полей организмов

Дистанционный метод регистрации ЭП вблизи живых систем отличается от соответствующих методов контактной регистрации биопотенциалов лишь тем, что один из отводящих электродов (незаземленный) заменяется датчиком поля - пластиной. В отличие от методики, изложенной в работе [1], измерительные приборы и объект исследования обычно помещаются в электростатический экран [2].

Измерительные приборы, используемые различными экспериментаторами, можно разделить на две группы: I) ламповые электрометры с высоким

входным сопротивлением (от 10^9 до 10^{12} Ом) и малой входной емкостью (от 5 до 0,05 пФ) в полосе пропускания от 0 до 100 Гц и чувствительностью порядка 10^{-3} - 10^{-4} В [3-5]; 2) высокочувствительные усилители, выполненные на базе полевых транзисторов МДП-структур, входные сопротивления которых находятся в пределах от 10^{11} до 10^{16} Ом, входная емкость порядка 0,05 пФ в полосе частот от 10^{-2} до 10^7 Гц и эффективное напряжение шумов при корсткозамкнутом входе порядка 7-10 мкВ [6-8].

Конструктивно входные каскады изметирельных приборов выполняются в виде отдельных блоков, тщательно экранируются от внешних полей, а экраны заземляются. Датчики поля в зависимости от цели эксперимента имеют диаметр от 10 до 60 мм. Регистрация сигналов проводится либо на экране осциллографа с последующим фотографированием, либо на бумажной ленте самописца [3-9]. В некоторых случаях на входе индикаторных приборов включаются полосовые фильтры для регистрации раздельно электрических полей сердца, дыхания и др.

При измерении ЭП изолированных структур важен способ их возбуждения и наличие или отсутствие контактов объекта исследования с проводящими телами [3,10]. Метод измерения ЭП возбужденных изолированных структур характеризуется тем, что измерительный прибор гальванически не связан с объектами исследования (нерв, сердце), а стимуляция их осуществляется от автономного генератора. В экранированной камере располагаются только входные электрометрические блоки усилителя и объект исследования. Датчики поля выполнены в виде металлических дисков, окруженных кольцом, заземленным через сопротивление, рабочей является только наружная сторона диска.

Другая модификация [6,7] этого метода предусматривает регистрацию ЭП изолированных структур высокочувствительным измерительным усилителем с симметричным входом и высоким входным сопротивлением (10^{11}-10^{16} Ом.) на МДП-транзисторах, где в качестве датчиков поля использованы диски диаметром 1 мм. Измеряется разность потенциалов между двумя дисками, присоединенными ко входам усилителя, при этом расстояние между центрами дисков составляет 17 мм. Этим прибором измерялись не только потенциалы, но и напряженность поля, цена деления датчика была порядка 0,1 В/мм [7].

Более качественные измерения полей биологических объектов могут быть получены при использовании усилителей, собранных на базе полевых МДП-транзисторов в отсутствие гальванических связей между измерительным прибором и объектом исследования. Для корректного измерения разности потенциалов, наведенных в двух идентичных дисках - датчиках, расстояние между их центрами должно быть больше диаметра используемых датчиков. Однако это условие пока не выполняется.

Заслуживает внимания метод измерения ЭП сердца [11,12], в котором в качестве "антенны" - датчика использована, помимо дисков, замкнутая оболочка-камера. По этому методу испытуемый после нейтрализации повер-

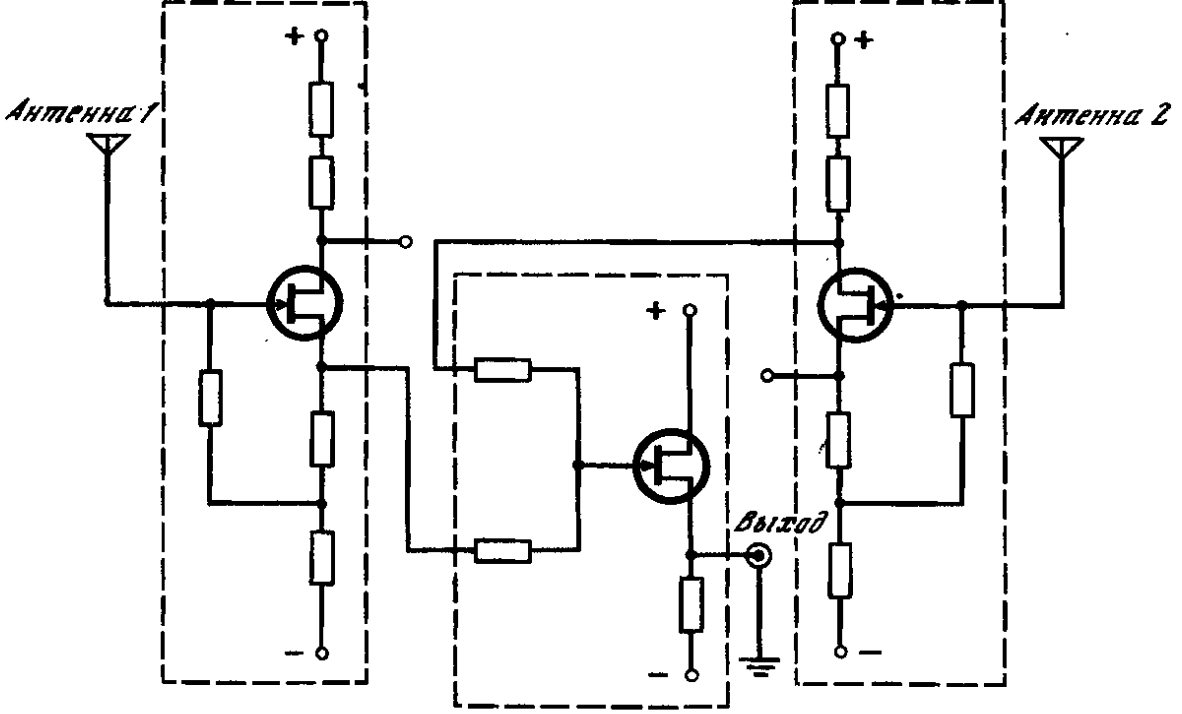
хностного заряда подсоединяется при помощи индифферентного электрода к одному из входов измерительного усилителя с входным сопротивлением $5 \cdot 10^9$ Ом, а камера – ко второму входу.

Все большее распространение получает метод регистрации электрического поля сердца через диэлектрическую прокладку для устранения артефактов движения, причем использование прокладок с удельным сопротивлением 10^{13} – 10^{15} Ом·см и относительной диэлектрической проницаемостью 1,5 – 5 в полосе частот от 0,2 до 150 кГц позволяет рассматривать систему как емкостный делитель /11-13/. Действующий макет установки представляет собой два истоковых повторителя, собранных по сложной схеме с комбинированной обратной связью. Входное сопротивление каждого плеча усилителя в рабочем диапазоне частот составляет $5 \cdot 10^{10}$ Ом при входной емкости 6 пФ. Датчик поля конструктивно выполняется на электродах из фольгированного с обеих сторон стеклотекстолита размером 42х30х8 мм /11/. Некоторые авторы /13/ используют электроды на основе сегнетокерамики.

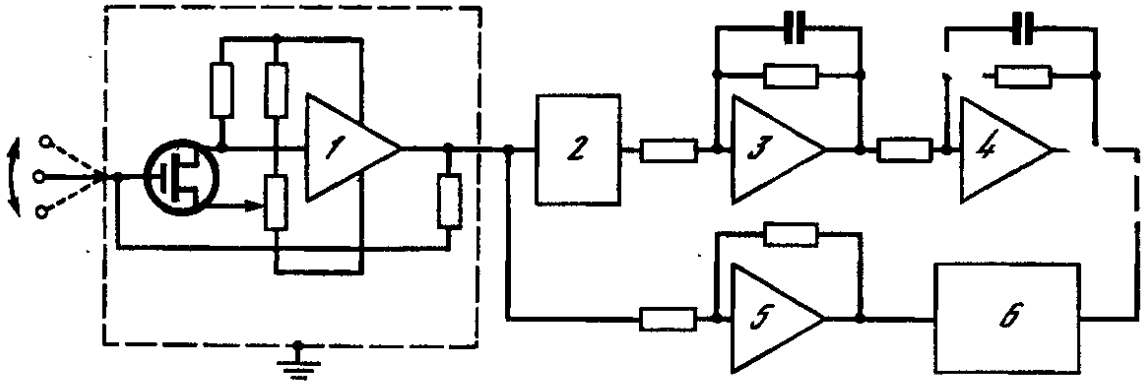
Принципиально новый метод измерения ЭП живых организмов (поля сердца) предложен в работе /14/. В качестве датчиков поля предлагается использовать сегнетоэлектрические пластины с высокой (порядка 10^4) диэлектрической проницаемостью, которая, как известно, изменяется при помещении пластины в электрическое поле. Именно это свойство сегнетоэлектриков и используется для индикации полей биообъектов. Для усиления сигналов, наведенных в датчике, используются измерительные усилители с уровнем шумов порядка 2 мкВ в полосе частот до 1 кГц. Параметры аппаратуры и предлагаемая методика эксперимента /14/ дают основания считать этот метод весьма перспективным.

Для измерения электрического поля сердца по методу /15/ антенна в виде штыря длиной около 1 м располагается на некотором расстоянии от тела человека. Непосредственно к антенне-датчику присоединяется устройство для согласования импедансов источников поля и регистрирующего прибора, входное сопротивление которого выбирается равным 10^{10} Ом в полосе частот от 0 до 3 кГц. Измерения проводятся вне экранированной камеры. Компенсация помехи осуществляется путем вычитания в специальном устройстве сигналов, наведенных в двух аналогичных антеннах (рис. 67), причем вторая антенна регистрирует только помеху. Измерительные усилители собраны на полевых транзисторах и позволяют измерить сигналы амплитудой от 0,15 мВ и выше. Положительным качеством этого метода является высокая разрешающая способность и возможность индикации поля сердца человека вне экранированной камеры.

Индикация ИНЧ ЭП, генерируемых живым организмом, осуществляется в настоящее время методом прямого усиления или частотного преобразования сигналов. В первом случае для регистрации полей сердца и нерва используются высокочастотные усилители, отличающиеся от описанных выше /3-9/ более высоким входным сопротивлением (10^{17} – 10^{18} Ом) и гра-



Р и с. 67. Электрическая схема входных каскадов и схема вычитания помехи при измерении ЭП сердца

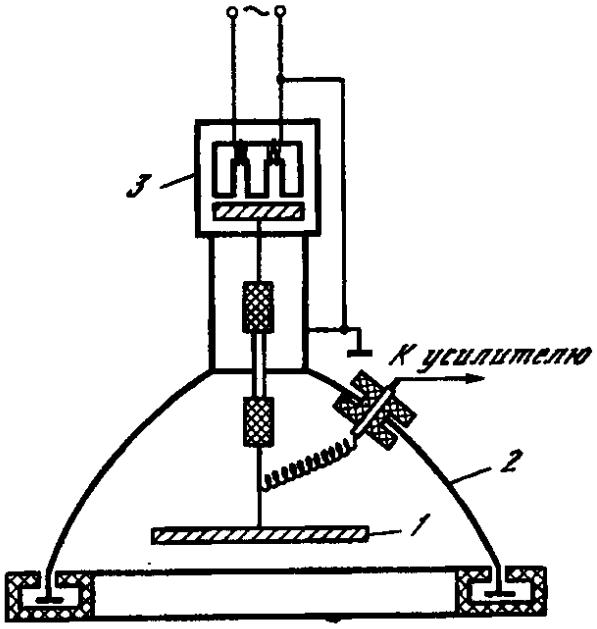


Р и с. 68. Блок-схема установки для измерения ИНЧ-поля организмов

I - выносной блок предварительного усилителя; 2 - усилитель низких частот; 3-4 - схема выделения огибающей с фильтрами; 5 - усилитель сигналов, наведенных в неподвижном датчике; 6 - регистратор

ничной нижней частотой (10^{-6} - 10^{-7} Гц). Наиболее распространен второй метод, суть которого заключается в следующем : либо силовые линии источника поля взаимодействуют с проводником, приводимым в движение механическим или электродинамическим вибратором, либо силовые линии исследуемого поля периодически пересекают неподвижный проводник. В обоих случаях ток, наведенный в датчике-проводнике, служит мерой напряженности исследуемого поля [16].

Конкретная реализация метода преобразования частоты каждым экспериментатором осуществляется по-своему [8,9]. В качестве датчиков поля обычно применяются металлические диски, шарики, пластины, стержни из золота, платины, стали, никеля [9]. В ряде случаев экспериментаторы, располагая датчик поля (пластину) на расстоянии около I мм от поверх-



Р и с. 69. Схема датчика с электрическим преобразователем сигнала

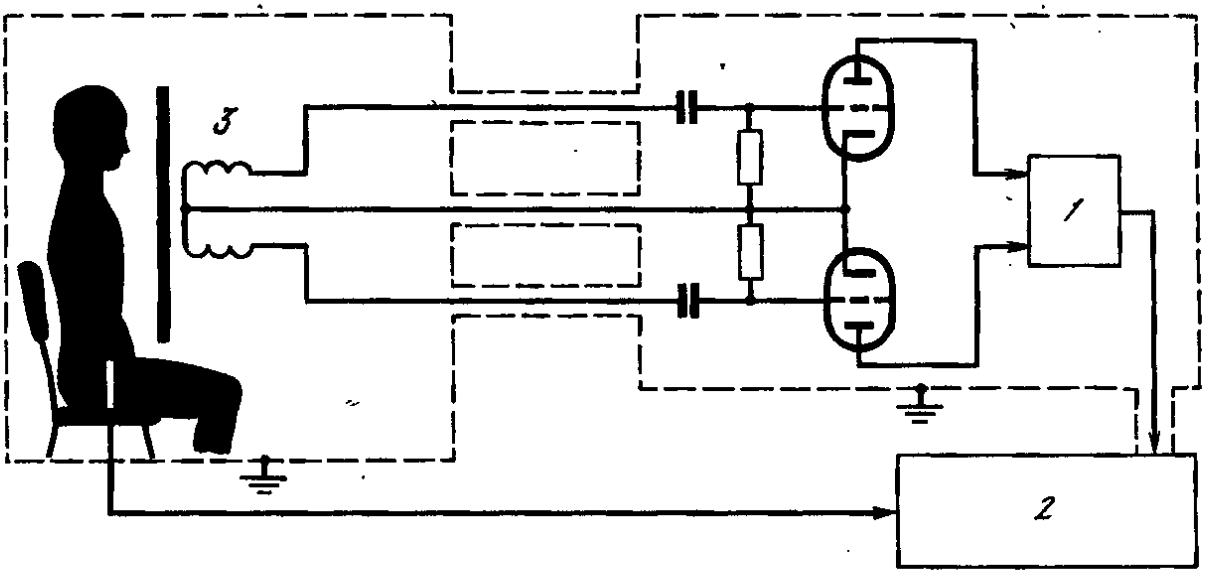
I – дисковый датчик поля, 2 – экранирующий колпачок, 3 – электродинамический пребразователь

ности объекта исследования, рассматривает систему как плоский конденсатор, одной пластиной которого является объект, а другой – вибрирующий с определенной частотой датчик. Электрический ток, наведенный в датчике, регистрируется измерительным прибором, входное сопротивление которого обычно выбирается в пределах 10^9 – 10^{11} Ом, а частоты преобразования от долей до сотен герц /8,9/.

Метод без гальванической связи объекта исследования и измерительного прибора использовался для регистрации инфранизкочастотных электрических полей организма человека. Измерительные усилители были выполнены на базе МДП-транзисторов отечественного производства. Емкость датчика поля, присоединенного ко входу измерительного усилителя, была не более I–2 пФ, постоянная времени устройства не превышала 0,2 с, частота колебания датчика регулировалась в пределах от 0,5 до 2 Гц, что обеспечивало работу системы в токовом режиме /9/. На бумажной ленте самописца регистрировалась огибающая электрического тока, наведенного в датчике.

Блок-схема установки приведена на рис. 68. Другая модификация этого метода предполагает использование на входе усилителя электродинамического преобразователя (с частотой преобразования 200–300 Гц), что позволяет расширить полосу пропускания устройства и применить более низкоомные (10^8 Ом) усилители. Схема датчика представлена на рис. 69.

Принципиально другой метод регистрации ИНЧ-полей, хотя и не получил к настоящему времени широкого применения, однако заслуживает внимания /17/. Основной принцип действия прибора, разработанного на основе расчетов /16/, состоит в следующем. Датчик поля (пластина или стержень) подключается к накопительному конденсатору. Через промежуток времени, соответствующий полупериоду измеряемого сигнала, происходит переполюсовка датчика, причем выбор формы переключающего напряжения позволяет добиться значительного подавления высших гармоник. Чувствительность предложенного метода составляет 10^{-4} В, дрейф нуля не более



Р и с. 70. Блок-схема установки для измерения МП сердца человека
I - электронный усилитель, 2 - регистратор, 3 - индукционный датчик поля

2 мВ/ч, амплитудная характеристика в интервале от 0,3 до I0 мВ линейна, ширина полосы пропускания при частоте переключения 8 Гц составляет 0,4 Гц. После накопления сигнал поступает на вход электрометрического усилителя с входным сопротивлением $I0^{II}$ Ом и регистрируется измерительным прибором. Подавление внешней помехи осуществляется вычитанием сигналов, наведённых в двух идентичных каналах, причем один из них принимает только помеху. Принципиальная схема накопительных цепей и фильтров приведена на рис. 70.

Для регистрации внешних электрических полей живых организмов в проводящей среде, например ЭП у водных организмов (рыб), практически пригодны методы классической электрофизиологии, обеспечивающие дистантное измерение "биопотенциалов", генерируемых электрогенными структурами и органами. Для индикации таких полей используется высокочувствительная измерительная аппаратура ($I0^{-4}$ - $I0^{-6}$ В) с достаточно высоким входным сопротивлением ($I0^{8}$ - $I0^{9}$ Ом). В качестве датчиков поля используются шариковые хлорсеребряные и серебряные электроды, возможно использование электродов и другой конфигурации /I8,I9/. Регистрация сигналов осуществляется прямым фотографированием с экрана электронно-лучевой трубки или на бумажной ленте самописца.

Методы измерения магнитных полей

Поскольку в спектрах биопотенциалов были обнаружены высокочастотные компоненты /20/, была предпринята попытка бесконтактной их регистрации радиотехническими методами. Измерительная установка, использованная в /2I/, назначалась для регистрации ЭМП по магнитной компоненте и состояла из антенн-датчиков поля и малошумящих усилителей, питание которых в целях лучшей помехозащищенности осуществлялось от аккумуляторов. Входные каскады усилителей были наотрсены по данным /I9/ на 3 и I50 кГц и имели чувствительность порядка 0,I - 0,2 мкВ. Измерения прово-

дили в экранированной камере, однако такой метод оказался неперспективным, так как уровень сигнала на этих частотах был сравним с уровнем шума. Внимание исследователей было привлечено к регистрации ЭМП организмов в более низкочастотном диапазоне.

В настоящее время методы индикации магнитного поля возбужденных изолированных структур (нерва, сердца) и целостных организмов подразделяются на два основных класса: индуктивные методы и методы, основанные на использовании эффекта сверхпроводимости.

Регистрация электромагнитного поля возбужденных изолированных структур при помощи многовитковых индукционных катушек осуществлена рядом экспериментаторов [22-29]. Индукционные катушки, использованные ими, отличались наличием или отсутствием ферритовых сердечников, электростатических экранов и числом витков. В опытах [29] по регистрации полей нерва использовались катушки размером 2x6x3 мм, содержащие по 3 000 витков каждая. Сигналы, поступающие с датчиков, усиливались высокочувствительными (порядка 10^{-6} В) усилителями и регистрировались на экране осциллографа, однако параметры использованного усилителя не были рассчитаны на индикацию импульсного сигнала (потенциала действия нерва). Методика, предложенная в работах [27,28], позволяла осуществлять индикацию импульсной ЭДС (порядка 0-0,02 мкВ), наведенной в индукционной катушке в экранированной камере с высокой степенью защиты от внешних помех. Более совершенные индукционные методы применялись для индикации полей целостного организма (порядка 0,1 - 1 нТл) по градиентометрическому принципу о использованием одной индукционной катушки в камере при высокой степени экранировки [24-32].

Для повышения чувствительности индукционных методов необходимо увеличить число витков катушки, что приведет к резкому возрастанию размеров датчиков и к уменьшению разрешающей способности установки. Попытки повысить чувствительность установки путем введения ферритовых сердечников и массивных наконечников не дали желаемого результата, так как сами по себе искажали распределение магнитного поля [30-32]. Однако однокатушечный метод позволяет обеспечить большую чувствительность, чем двухкатушечный. Примером может служить индикация магнитного поля головного мозга человека - магнитоэнцефалограмма [31].

Сооружение более совершенных камер и разработка высокочувствительных к МП сверхпроводящих квантовых интерферометров позволили создать более совершенный метод индикации МП организмов, чувствительность которого ограничивалась лишь собственным шумом магнитомера (порядка 0,1 нТл), намного более низким, чем шумы приборов другого типа [31,32]. Однако этот метод не может полностью удовлетворить исследователей, поскольку требует высокой степени экранировки от внешних помех (что трудно выполнить технически), сложной усилительной и криогенной аппаратуры, а также необходимости жестко ориентировать магнитометр стносительно вектора напряженности магнитного поля Земли.

Таким образом, к настоящему времени для измерения электрической

компоненты ЭМП наиболее приемлемы используемые в технике электрометрии методы, обеспечивающие высокое (порядка 10^{10} - 10^{16} Ом) входное сопротивление и достаточную чувствительность в полосе частот от 0 до 10^6 Гц. Для измерения магнитной компоненты ЭМП оптимальным является градиентометрический метод, использующий датчики с оптической накачкой в парах цезия /33/, как наиболее эффективный и не требующий сооружения экранирующих камер и сложной криогенной техники (см. п. I.4 наст. гл.)

Литература

I. Burr H., Maurc A. Eleotrostatic fields of the soiatic nerve in the frog. - Yale J. Biol. Med., 1949, p. 21.
2. Валеев У.С., Торнуев Ю.В., Ракитянский Д.Ф., Осенний А.С. О происхождении внешнего электрического поля, регистрируемого вблизи человека и животных. - Укр. физиол. журн., 1973, т.19, № I, с.99-103.
3. Валеев У.С., Торнуев Ю.В., Ракитянский Д.Ф. К вопросу об электрическом поле нерва. - Биофизика, т. I5, № 4, 1970, с. 652-656.
4. Гуляев И.П., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Электроаурограмма нерва, мышцы и сердца лягушки, сердца и мускулатуры человека. - Докл. АН СССР, 1968, т. 180, № 6, с. 1064.
5. Гуляев И.П., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Электроаурограммы человека и животных. - В кн.: Нервная система. Л.: Изд-во ЛГУ, 1968, вып. 9, с. 159-172.
6. Гуляев И.П., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я., Егоров В.Н. Аурограмма одиночного аксона рецептора растяжения речного рака. - Докл. АН СССР, 1972, т. 207, № 3, с. 750-752.
7. Гуляев П.И., Заботин В.И., Шлиппенбах Н.Я. Ауральное поле изолированного нерва, мышцы. - Биофизика, 1974, т. 19, № 2, с. 290-294.
8. Торнуев Ю.В. Дистантная регистрация низкочастотных электрических полей организма. - В кн.: Физические методы и вопросы метрологии биомедицинских измерений. М., 1978, с. 36.
9. Торнуев Ю.В., Собакин М.А. Регистрация электрических полей биологических объектов. - В кн.: Материалы I съезда ВНМТС, 1975, т. 1, с. 150.
10. Торнуев Ю.В. О происхождении внешнего электрического поля возбужденного изолированного нерва в воздухе. - Физиол. журн. СССР им. И.М.Сеченова, 1972, т. 58, № 9, с. 1385-1390.
11. Филякин Б.Ф. Регистрация электрического поля вблизи человека для оценки электрических и механических проявлений деятельности сердца: Автореф. дис. ... канд.техн.наук. М.: АМН СССР, 1973.
12. Филякин Б.Ф. Измерение параметров ближней зоны электромагнитного поля сердца для оценки электрической активности сердца. - В кн.: Матер. науч. - техн. конф. Воронеж: Воронеж. политехн. ин-т, 1972, с. 217-219.

13. Былегжанин О.И. Диэлектрические электроды для регистрации электрокардиограммы. - В кн.: Физические методы и вопросы метрологии биомедицинских измерений. М., 1972, с. 41-43.
14. Лобанова Е.С. Разработка высокочувствительной аппаратуры для измерения электрической напряженности поля биообъекта. - Там же, с. 101.
15. Pat. (USA) 3555529. Apparatus for measuring electrioal field radiation from living bodies / Aut. Brown G. et al. Field, 12.01.71.
16. Валеев У.С., Ковалев Д.П., Торнуев Ю.В. Синхронный емкостный накопитель для измерения инфранизкочастотных полей в воздухе. - Автометрия, 1969, № 4, с. 127-130.
17. Валеев У.С. Измерение в воздухе электромагнитных полей инфразвуковых частот синхронным накоплением зарядов. - Автометрия, 1967, т. 104, № 1, с. 125-128.
18. Барон В.Д., Михайленко Н.А. О структуре электрического разряда морской лисицы. - Биофизика, 1974, т. 22, № 2, с. 369-371.
19. Барон В.Д., Протасов В.Р., Саблин-Яворский А.Д. О квазипостоянном электрическом поле вблизи рыб.- Докл. АН СССР, 1978, т. 258, № 3, с. 718-721.
20. Volker W.K., Candib W. Deteotion and analysis of high frequency signals from muscular tissues with ultra-low noise amplifier. - IRE Intern. Conf. RLC.9.1960.
21. Малахов А.Н., Максимов А.С., Нефедов Ю.Я. Об электромагнитной гипотезе биологической связи. - В кн.: Бионика. М.: Наука, 1965, с. 297.
22. Краюхин Б.В. Возможна ли электроиндукция в тканях живого организма? - В кн.: Памяти А.В.Леонтовича. Киев: Изд-во АН УССР, 1948, с. 37.
23. Сафонов Ю.Д., Провоторов М.В., Лубз М.В., Якименков Л.И. Метод регистрации магнитного поля сердца - магнитокардиография. - Бюл. экспер. биологии и медицины, 1967, т. 64, № 9, с. 47-51.
24. Baule G.M., McFree R. Detection of the magnetic field of the heart. - Amer. Heart J., 1963, vol. 66, N 95, p.689.
25. Хведелидзе М.А., Думбадзе С.И., Суртуладзе Т.Г. О биоэлектромагнитном поле. - В кн.: Бионика. М.: Наука, 1965, с. 302.
26. Generally J.A. et al. Further observation of the magnetic fields accompaining nerve transmission and tetanus. - J. Psyohol., 1962, vol. 54, p. 201.
27. Generally J.A., Holfer N.I., Classcook W.R. Magnetic fields accompaining transmission of nerve impulses in the frog sciatic. - J. Psychol., 1961, vol. 2, p. 52.
28. Saarinen M. et al. The magnetocardiogramm in cardiac disordera.- Cardiovasc. Res., 1974, vol. 8, N 6, p. 820-834.

29. Seipel I.N., Morrow R.D. The magnetic field accompaining neuronal activity of nervous system. - J. Wash. Acad. Sci., 1960, vol. 50, N 6, p. 1-4.
30. Cohen D. Magnetic field around the torso: production by electrical activity of the human heart. - Science, 1967, vol. 156, N 3775, p. 652.
31. Cchen D. Magnetoenoephalography: evidence of magnetic fields around the head produced by alphe-rhythm currents. - Soience, 1968, vol. 161, N 3843, p. 784.
32. Cohen D., Gilber E. Magnetomiography. Magnetic field around the human body produced by aoeletal muscular. - Appl. Phys. Lett., 1972, vol. 21, N 3, p. 114-116.
33. Ливанов М.Н., Козлов А.Н., Кориневский А.В. и др. О регистрации магнитных полей человека. - Докл. АН СССР, 1978, т.238, № I, с. 253-256.

I.4. Квантовый градиентометр для измерения магнитных полей биообъектов

Развитие магнитометрических методов, повышение их чувствительности и быстродействия за последние два десятилетия сделало возможным измерение ИНЧ МП, возникающих при работе сердца (магнитокардиограмма - МКГ), головного мозга (магнитоэнцефалограмма - МЭГ), мышц (магнито - миограмма - ММГ, магнитоокулограмма - МОГ). Оказалось также возможным измерение статических МП легких, печени, скелета, обязанных ферро- и парамагнитным включениям.

Магнитная и электрическая составляющие электромагнитного процесса есть проявление движения электричеоких зарядов в живом организме, между ними есть сходство по форме, однако количественные соотношения между обеими составляющими нелинейны. Измерение магнитной составляющей электромагнитных процессов, происходящих в живом организме, расширяет информацию об источниках возбуждения, позволяет произвести их пространственную локализацию. Совместное использование электрической и магнитной составляющих, например, при измерении кардиограммы человека открывает возможность обнаружения пораженных участков сердца через пространственную картину распределения электрической проводимости.

К аппаратуре для измерения МП биообъектов предъявляются следующие общие требования: высокая чувствительность, достаточно широкая полоса пропускания и помехозащищенность. Если первые два требования определяются физическими свойствами датчиков, то третье требование обусловливается структурными построениями приборов.

Расомотрим третье требование, имеющее общий характер для всех типов датчиков. Так как величины МП биообъекта малы по сравнению с уровнем магнитных помех естественного и тем более искусственного происхож-

дения, то структурное построение прибора должно существенно ослаблять влияние помех, что достигается дифференциальным включением двух и более датчиков. Если учесть, что МП биообъекта, расположенного непосредственно около одного из датчиков, резко уменьшается с расстоянием, то его воздействие на другой датчик незначительно. Этим и объясняется тот факт, что расстояние между датчиками ℓ можно уменьшить до 5–10 см. По отношению к внешней помехе, источник которой находится на расстоянии R, на два и более порядка превышающем расстояние между датчиками, дифференциальное включение измерителя градиента МП ослабляет помеху в $R/3\ell$ раз [1].

Помехозащищенность увеличивается при использовании градиентометра, включенного по схеме измерения второй производной. В этом случае градиентометр содержит три расположенных на одной прямой датчика, расстояние между которыми должно удовлетворять условию максимального воздействия МП биообъекта лишь на один из трех датчиков. Помеха ослабляется в этом случае в $R^2/12\ell^2$ раз [1]. Структурное усложнение градиентометра уменьшает чувствительность пропорционально корню квадратному из числа датчиков [2].

В случае необходимости проведения магнитных измерений в условиях высокого уровня магнитных помех можно применять качественные магнитные экраны или использовать системы подавления магнитных помех.

Магнитный экран – многослойная система из материала с высокой магнитной проницаемостью пермаллоя. В целях уменьшения остаточного МП и его градиента внутри экрана применяется система обмоток, питаемых током от электросети, для непрерывного размагничивания слоев. В конструктивном отношении предусматривается механическая разгрузка листов пермаллоя и механическая развязка экрана и фундамента. Как правило, магнитные экраны с внутренним объемом до 10 $м^3$ применяются при исследовании МП головного мозга и реакций его на внешние раздражители (свет, звук и др.).

Системы подавления магнитных помех выполняются на основе колец типа Гельмгольца или других. МП помехи преобразуются в электрический ток при помощи магниточувствительных датчиков (феррозондовых, квантовых с оптической накачкой) и используются для компенсации тока помехи. Объем рабочего пространства в кольцах Гельмгольца определяется размерами однородного МП, в котором должны быть размещены используемый биообъект и измерительные датчики.

Первые измерения МП биообъекта (МКГ, МЭГ) были выполнены градиентометром, построенным на индукционных датчиках, представляющих много-витковые катушки (10 витков и более) с сердечниками из материала с высокой проницаемостью. Собственный уровень шума датчика определяется омическим сопротивлением катушек, полосой пропускания и внешней температурой. Величина сигнала пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пересекающего плоскость витков катушки, числу ее витков и магнитной проницаемости сердечника, но с ростом числа витков возрас-

тает собственный шум катушки. Этим определяется необходимость компромиссного подхода к параметрам датчика [3,4].

Индукционные градиентометры в настоящее время применяются при кардиологических исследованиях в сочетании с аппаратурой для усреднения результатов измерений с целью увеличения отношения сигнала к шуму. Число циклов магнитокардиограмм, подлежащих усреднению, обычно составляет 50-100, что при равномерном спектре помех обеспечивает рост отношения сигнала к шуму пропорционально корню квадратному из числа циклов [5].

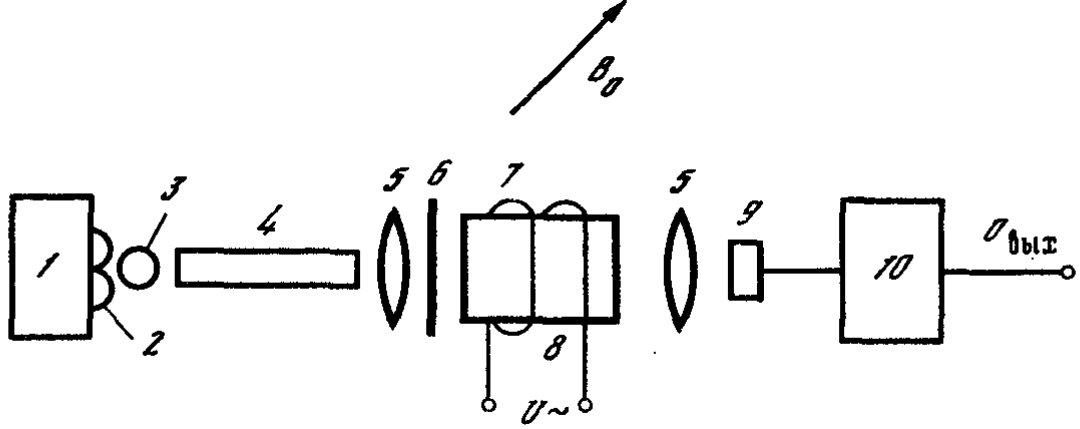
Так как сигнал индукционного датчика есть производная по скорости изменения магнитного потока, то восстановление исходного сигнала, осуществляется операцией интегрирования.

Появление магнитометров и затем градиентометров на основе явления сверхпроводимости и эффекта Джозефсона благодаря их высокой чувствительности и широкополосности открыло новую эру в измерениях магнитного поля сердца человека [6 - 8]. Реализация высокой чувствительности сверхпроводящего магнитометра возможна лишь при очень малых помехах естественного и искусственного происхождения. Это требование стимулировало создание высококачественных магнитных экранов, разработку градиентометрических систем измерения первой и второй производной МП.

Датчик сверхпроводящего градиентометра состоит из криостата для жидкого гелия, сверхпроводящего магниточувствительного элемента кольцевой формы с тонкой щелью шириной порядка десятков ангстрем (10^{-7}см) и сверхпроводящего трансформатора магнитного потока. В состоянии сверхпроводимости отклик магниточувствительного элемента на изменение составляющей МП, перпендикулярной к плоскости витка трансформатора, носит периодический характер, при этом шаг изменения определяется квантом магнитного потока, который равен $2 \cdot 10^{-15}$Вб. Так как на размеры магниточувствительного элемента налагаются ограничения вследствие роста индуктивности, то его размеры обычно невелики - несколько квадратных миллиметров. Следовательно, шаг квантования лежит на уровне 10^{-6}- 10^{-7} Тл. Увеличение чувствительности сверхпроводящего прибора достигается за счет применения трансформатора магнитного потока, увеличивающего площадь взаимодействия с магнитным потоком.

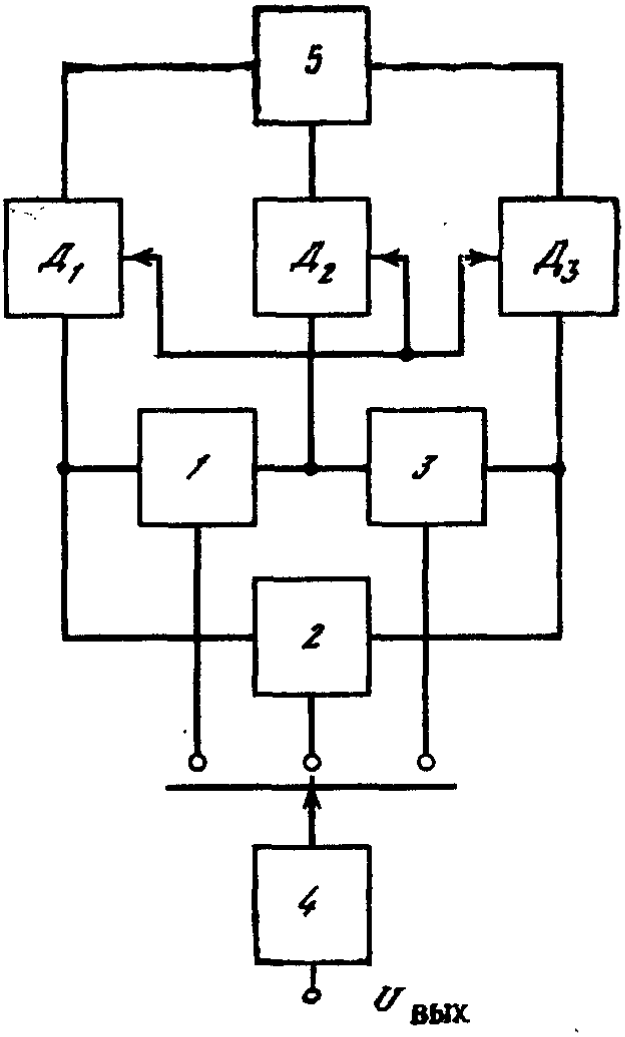
Сверхпроводящие градиентометры имеют чувствительность 10^{-14} Тл в единичной полосе частот. Общая полоса пропускания может достигать нескольких десятков килогерц.

При высокой чувствительности сверхпроводящих градиентометров степень идентичности половин трансформатора магнитного потока является важным фактором. Если отличие обеих частей трансформатора составляет 10^{-3} - 10^{-4}%, то смещение датчика в ГМП из-за вибраций, контактов с телом исследуемого биообъекта приводит к смещению "нулевой" линии, что снижает качество измерений. Поэтому, как правило, датчики градиентометра закрепляются жестко на соответствующих подставках из немагнит-



Р и с. 7I. Схема датчика, построенного на основе оптической накачки и магнитного резонанса

I - генератор возбуждения спектральной лампы, 2 - высокочастотный контур, 3 - спктральная цезиевая безэлектродная лампа, 4 - световод, 5 - линзы, 6 - круговой поляризатор, 7 - ячейка поглощения с парами цезия, 8 - радиочастотная катушка, 9 - фотоприемник, I0 - широкополосный усилитель



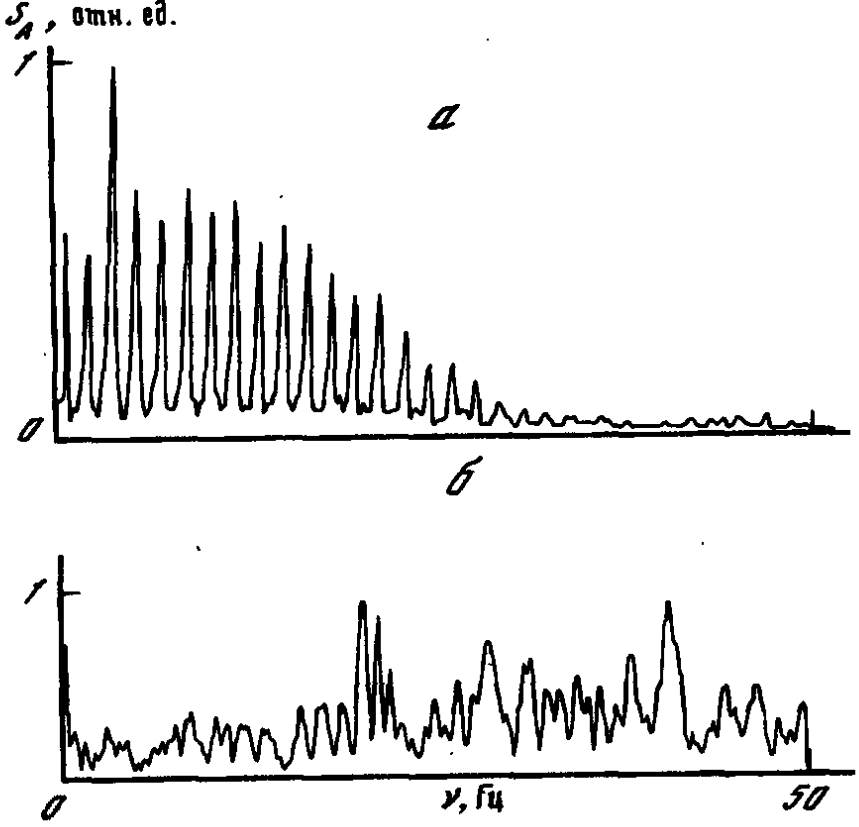
Р и с. 72. Блок-схема градиентометра МГ-002

I - 3 - фазометры, 4 - усилитель и формирователь полосы пропускания, 5 - генератор возбуждения спектральной лампы, Д - датчики

ных материалов. Сверхпроводящие датчики МП работают в жидком гелии, который является дорогостоящим и производится не повсеместно.

На основе оптической накачки и магнитного резонанса созданы высокочувствительные магнито- и градиентометры [9] для геофизических исследований (см. п.I.2 настоящей главы). Реализация еще более высокочувствительного градиентометра с широкой полосой пропускания обеспечила измерение МП биообъектов [I0].

Градиентометр типа МГ-002, используемый для этих целей, построен на трех однотипных датчиках, схема одного из них представлена на рис. 7I. При подаче в радиочастотную катушку переменного тока от генератора с частотой, удовлетворяющей условию магнитного резонанса $f_0 = AB_0$, где A - гиромагнитное отношение для атомов цезия, равное 3,498



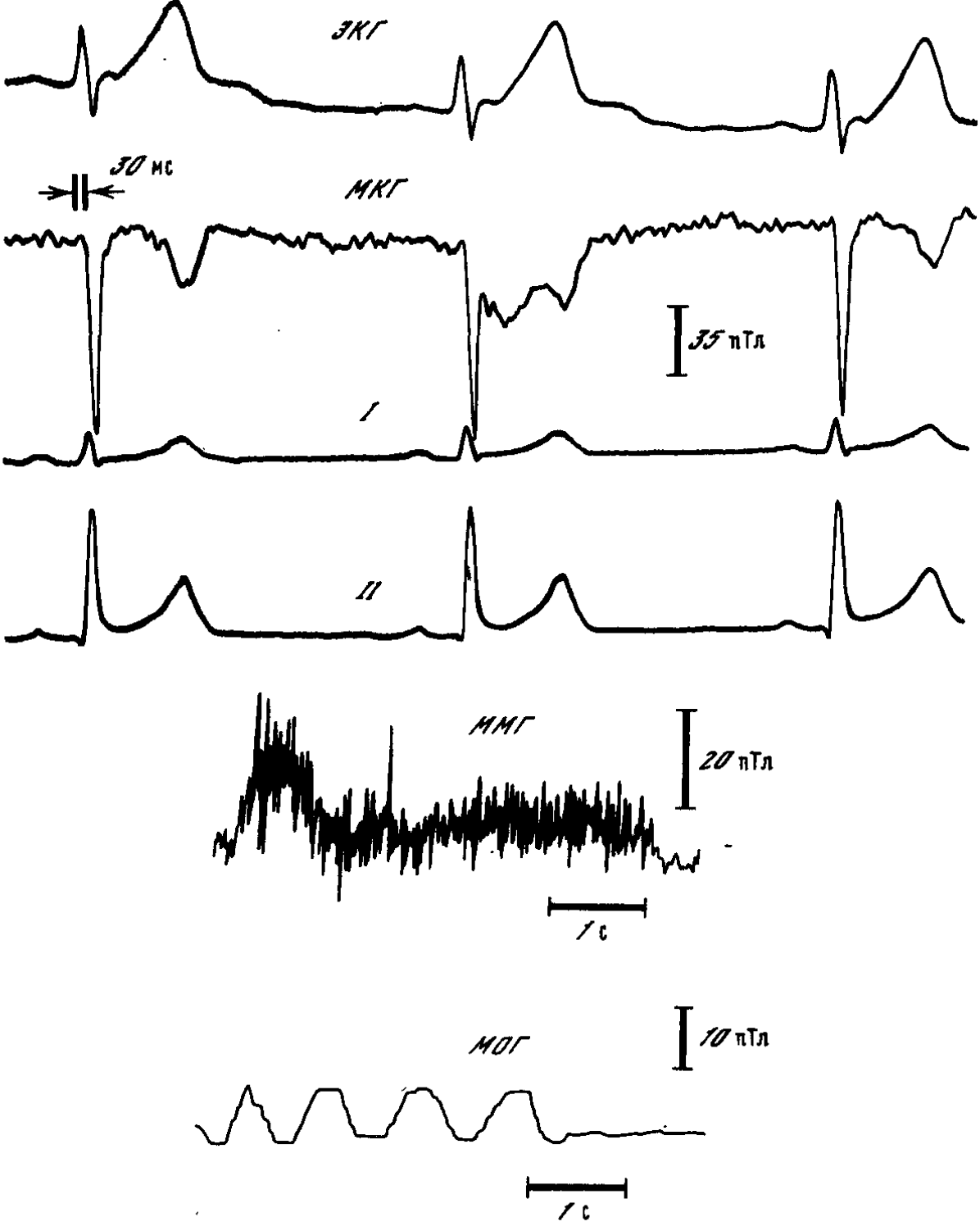
Р и с. 73. Примеры записей спектрограмм МГК в области верхушки сердца здорового человека (а) и ММГ при сокращении двухглавой мышцы руки человека (б)

Гц/нТл, световой поток спектральной цезиевой лампы 3, проходящий через камеру поглощения 7 и детектируемый фотоприемником 9, модулирован по амплитуде с частотой f_0.

Датчик работает в автоколебательном режиме (без генератора), если соединить выход широкополосного усилителя 10 с радиочастотной катушкой 8 при выполнении условий баланса амплитуд и фаз. Частота генерации определяется условием магнитного резонанса и следует за изменениями ГМП.

На рис. 72 изображена блок-схема градиентометра МГ-002. Выходное напряжение датчика $Д_2$, работающего в автоколебательном режиме, служит для возбуждения магнитного резонанса в датчиках $Д_1$ и $Д_3$. Выходные сигналы с трех датчиков подводятся к трем фазометрам, поэтому измерение градиента можно производить между любой парой датчиков с разомкнутой петлей обратной связи ($Д_1$-$Д_3$). Применение одной спектральной лампы снижает технические шумы градиентометра.

В области низких частот до 50 Гц среди датчиков с оптической накачкой и магнитным резонансом градиентометр занимает промежуточное положение по чувствительности между градиентометрами на индукционных и сверхпроводящих датчиках. Его собственный уровень шума составляет $(2-4)\cdot 10^{-13}$ Тл в единичной полосе пропускания частот. Полоса пропускания, определяющаяся полушириной линии магнитного резонанса, зависит в основном от интенсивности света накачки – для градиентоиетра МГ-002 она равна 30 Гц по уровню 0,7.



Р и с. 74. Образцы одновременной записи МКГ и ЭКГ здорового человека в одной и той же точке (I,II - первое и второе отандартные отведения ЭКГ), а также записи ММГ при сокращении двухглавой мышцы руки человека и МОГ при открывании и закрывании глаза человека

Градиентометр на цезиевых датчиках работает в диапазоне комнатных температур от 17 до 30°С. Расстояние между центрами датчиков 5,5 см, объем ячейки поглощения около 80 $см^3$.

Из рис.73,а видно,что основная информация укладывается в полосе частот до 30 Гц,а спектрограмма рис.73,б свидетельствует о наличии двух областей,одна из которых,низкочастотная (0-5 Гц), обусловлена МП локтевого сустава, а более высокочастотная - до 50 Гц - МП сокращающейся мышцы.

В тех случаях, когда ГМП более, чем в 10^4 раз превышает МП биообъекта, градиентометр определяет приращение МП биообъекта на направление ГМП. Для измерения составляющих МП биообъекта по различным направлениям необходимо изменение положения биологического объекта относительно направления вектора индукции ГМП.

Итак, градиентометр, построенный на основе датчиков с оптической накачкой, позволяет в значительной мере решить проблему измерения слабых магнитных полей биообъектов, в том числе человека, без привлечения сложных систем магнитного экранирования. Это открывает новые пути по совершенствованию диагностики сердечно-сосудистых и других заболеваний.

Литература

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 591 с.
2. Харкевич А.Л. Теоретические основы радиосвязи. М.: Гостехтеориздат, 1957, 347 с.
3. Сафонов Ю.Д., Провоторов М.В., Лубэ М.В., Якименков Л.И. Метод регистрации магнитного поля сердца-магнитокардиография.— Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1967, т. 64, № 7, с.111-112.
4. Baule G.M., McFee R. Detection of magnetic fields of the heart.- Amer. Heart. J., 1963, vol. 66, p. 95-96.
5. Favier C., Matelin D. L'enregistrement du magnetocardiogramme avec un gradiometr à bobines. - Ann. Cardiologie et d'Angeiologie, 1978, vol. 27, N 1, p. 71-73.
6. Cohen D., McCaughan D. Magnetocardiograms and their variation over the in subject. - Amer. J. Cardiol., 1972, vol. 29, p. 678.
7. Zimmerman J.E. SQUID instruments and shielding for low-hoise level magnetic measurement. - J. Appl. Phys., 1977, vol. 48, p. 702.
8. Saarinen M., Siltanen P., Karp P.J., Katila F.E. The normel magnetocardiogram: I morphology. - Ann. Clin. Res., 1978, vol.10, p. 1-43.
9. Померанцев Н.М., Рыжков В.М., Скроцкий Г.В. Физические основы квантовой магнитометрии. М.: Наука, 1972, 448с.
10. Ливанов М.Н., Козлов А.Н., Кориневский А.В., Маркин М.П. Регистрация магнитных полей человека.- Докл. АН СССР, 1978, т. 238, № 1, с. 253-256.

I.5. Индикация электрических и магнитных полей жидкими кристаллами

Жидкокристаллическое состояние по структуре занимает промежуточное положение между кристаллами и жидкостями. В жидких кристаллах (ЖК) сочетается подвижность жидкости с анизотропией, свойственной кристаллам [I-3]. ЖК разделяются на термотропные, образующиеся в результате нагревания твердого вещества и существующие в определенной области температур и давлений , лиотропные, образующиеся при растворении твердых кристаллов в некоторых растворителях, и амфифильные ЖК, которые могут существовать в системах (например, мыло-вода), а также в некоторых блоковых сополимерах и могут быть как термо-, так и лиотропными. Лиотропные ЖК широко распространены в биологических объектах и органических соединениях. К ним относятся ДНК, растворы полипептидов и некоторых белков. Жидкокристаллическое состояние свойственно концентрированным водным растворам вируса табачной мозаики и др.

По признакам общей симметрии ЖК можно разбить на три категории: смектические, нематические и холестерические. Смектическим ЖК свойственно слоистое строение, но упаковка молекул в слоях может быть различной. В настоящее время выявлено несколько смектических модификаций: A,B,C,D,E и т.д. В нематических ЖК слоистости нет, но удлиненные оси молекул ориентированы в одном направлении. Холестерическая структура на молекулярном уровне очень похожа на нематическую, однако вся структура дополнительно закручена в направлении, перпендикулярном длинным осям молекул.

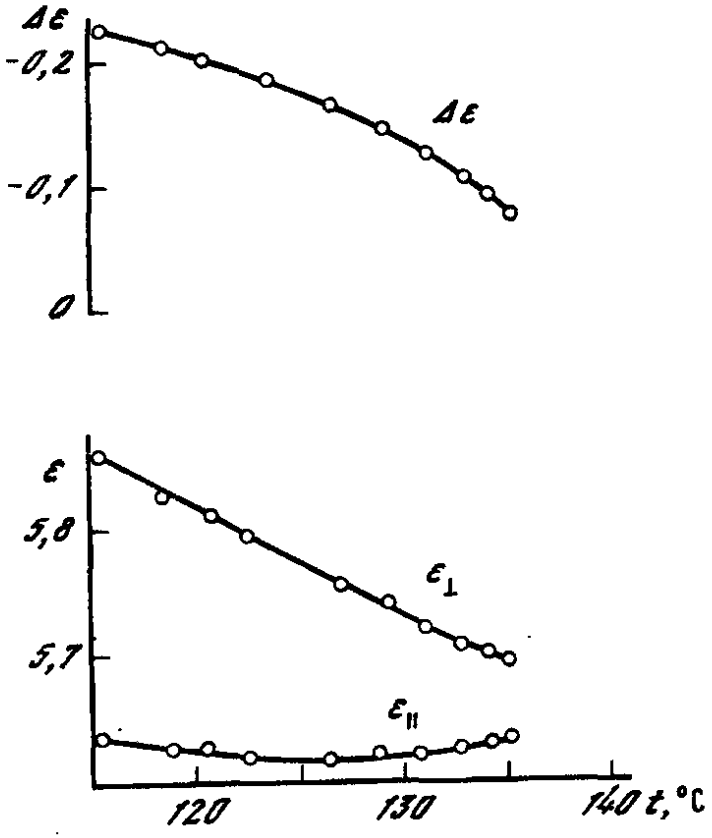
Структура ЖК весьма лабильна, подвижна. Она легко изменяется под воздействием внешних факторов (температуры, электрического и магнитного полей, излучения, ультразвука, механических воздействий и т.д.). Это в свою очередь приводит к изменению макроскопических (оптических, электрических, магнитных и т.д.) свойств ЖК. Таким образом, создается возможность управления свойствами ЖК сравнительно слабыми внешними воздействиями, а также возможность регистрации этих воздействий.

Рассмотрим более подробно свойства ЖК.

Магнитные свойства ЖК

Органические молекулы (ЖК в основном органического происхождения) диамагнитны. В постоянном МП в них возникает магнитный момент, направленный противоположно H. В результате длинные оси молекул ориентируются в направлении наибольшей восприимчивости (наименьшего диамагнетизма) и располагаются вдоль поля $\vec{H}$. Однако энергия взаимодействия индивидуальной молекулы с полем $\vec{H}$ мала. Она составляет около $5 \cdot 10^{-28}$ Дж (при B=I Тл), что в 10^6 раз меньше, чем тепловая энергия kT, и поэтому ориентация молекул была бы раз-

Р и с. 75. Зависимости диэлектрических постоянных *п*-азоксианизола от температуры $\varepsilon_{\parallel}$, $\varepsilon_{\perp}$ -диэлектрические постоянные жидкого кристалла



рушена тепловым движением. Поскольку ЖК все же легко ориентируется при В=1 Тл, то МП взаимодействует с ансамблем молекул, которые поворачиваются и ориентируются при наложении поля одновременно.

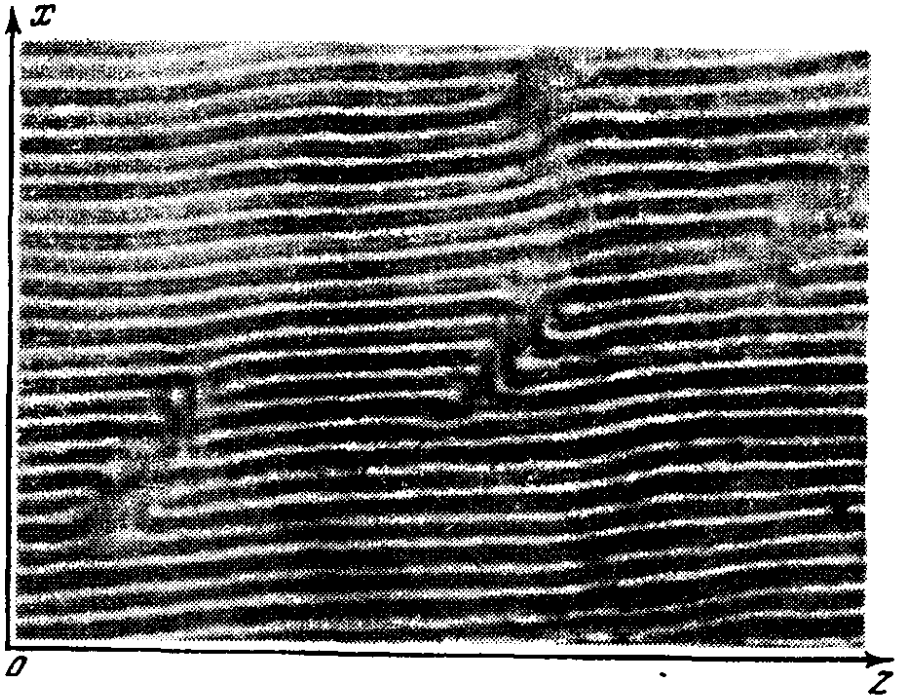
Используя достаточно сильные МП, можно получить хорошо ориентированный в направлении Н тонкослойный монокристаллический нематический ЖК.

Смектические ЖК не ориентируются под действием МП до 3 Тл вследствие их большой вязкости. Однако ориентировать смектический ЖК можно, охлаждая изотропный расплав в МП. Длинные оси молекул ориентируются параллельно полю, т.е. так же, как и в случае нематического ЖК. Если поле затем выключить, то в отличие от нематического ЖК ориентация сохраняется.

Своеобразно действие МП на холестерические ЖК. Если МП прикладывается в направлении, перпендикулярном винтовой оси плоскостной гранжановой текстуры, то молекулы стремятся расположиться параллельно полю. По мере роста МП шаг спиральной структуры будет расти. Наконец, при некотором критическом значении Н все молекулы ориентируются в одном направлении и образуется нематическая структура.

Электрические свойства ЖК

Жидкие кристаллы диэлектрически анизотропны. Различают вещества с положительной и отрицательной диэлектрической анизотропией. Вещества, у которых дипольный момент направлен вдоль длинной оси молекулы или составляет с нею малый угол, диэлектрически положительны: диэлектрическая проницаемость вдоль оптической оси $\varepsilon_{\parallel}$ больше, чем в перпендикулярном направлении $\varepsilon_{\perp}$, и анизотропия $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp} > 0$. Вещества, у которых $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp} < 0$, называются диэлектрически отрицательными. Зависимость диэлектрической анизотропии от температуры для *п*-азоксианизола ($\Delta\varepsilon < 0$) показана на рис. 75, из которого следует, что величина диэлектрической анизотропии убывает с ростом температуры нематической фазы, что связано с уменьшением порядка в расположении молекул.



Р и с. 76. Домены, возникающие в жидком кристалле под воздействием электрического поля

Поведение нематических ЖК в ЭП зависит от многих факторов: знака диэлектрической анизотропии, первоначальной ориентации образца, наличия ионов примеси и др. Для исследования полевых эффектов слой ЖК помещается между плоскими стеклами, на поверхность которых нанесены прозрачные электроды из SnO_2 или InO_2. Характер воздействия поля E на жидкокристаллический образец в общем сводится к следующим эффектам: 1) однородному изменению направления оптической оси (эффект деформации слоя), 2) возникновению доменной структуры, 3) динамическому рассеянию света. Разберем некоторые наиболее изученные эффекты, возникающие в тонких слоях нематического вещества в ЭП.

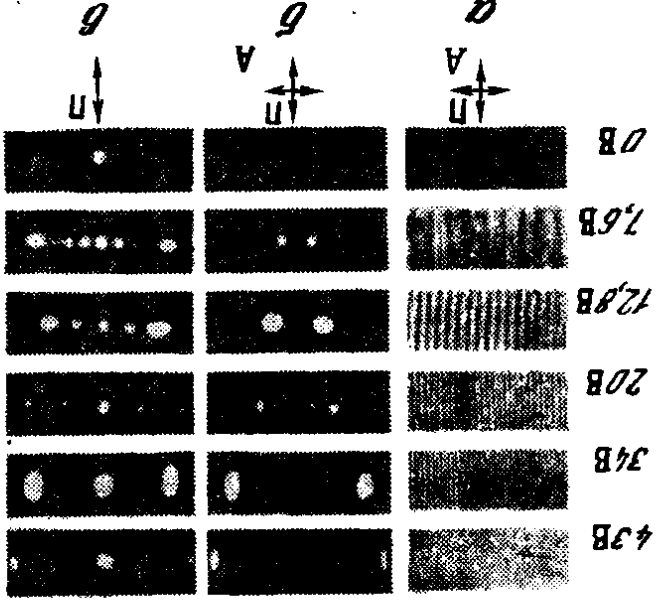
Рассмотрим поведение однородно ориентированного слоя толщиной 15–30 мкм. Пусть ЖК обладает отрицательной диэлектрической анизотропией. Примером может служить *n*-азоксианизол, у которого дипольный момент $\mu = 8{,}27 \cdot 10^{-30}$ Кл·м и образует угол $57{,}5^0$ с длинной осью молекулы. Если длинные молекулярные оси параллельны оси OX ячейки, а поле E направлено по оси OZ, то при достижении порогового напряжения $V_1 \simeq 5 \div 7$ В в поле зрения микроскопа возникает картина, видимая как в простом, так и в поляризованном свете (рис. 76). Длинные оси доменов направлены поперек оси OX и параллельны оси OY (поперечные домены). Вследствие того что подвижность ионов в направлении длинных осей молекул больше, ЖК обладает анизотропией электропроводности ($\sigma_{\parallel} > \sigma_{\perp}$). Поэтому в слое ЖК возникают пространственные заряды. В постоянных электрических полях пространственные заряды пополняются за счет инжекции электронов с катода. Движущиеся ионы вызывают поворот молекул и течение вещества. Это в сочетании с ориентирующим действием поля $\vec{E}$ на молекулы вызывает электрогидродинамическую нестабильность (ЭГДН). Возникают вихревые трубки, в которых течение переориентирует молекулы. Образуется система цилиндрических линз, которая фокусирует световые пучки и дает правильную параллельную оси OY систему фокальных линий.

При повышении напряженности ЭП и достижении второго критического порога $V_2 \simeq 12 \div 15$ В упорядоченное движение вещества нарушается, возникает турбулентность, вызывающая динамическое рассеяние света. Центрами рассеяния являются интенсивно двигающиеся области ЖК диаметром 1–5 мкм. Динамическое рассеяние света и домены возникают как в постоянных, так и в переменных электрических полях. Разница заключается в том, что в переменных электрических полях пороговые напряжения V_1 и V_2 увеличиваются с ростом частоты возбуждающего поля. Динамическое рассеяние, вызванное турбулентностью, может и не возникнуть в постоянных полях у ЖК с низкой электропроводностью. В переменных полях наблюдаются два режима нестабильности, разделенные критической частотой $f_к$. Ниже $f_к$ пространственный заряд успевает следовать за полем и наблюдается доменная структура (режим электропроводности). Выше $f_к$ вектор $\vec{n}$, характеризующий локальную молекулярную ориентацию, испытывает лишь угловые осцилляции (диэлектрический режим). В этом случае наблюдается электрооптический эффект, сходный с динамическим рассеянием света, но характеризующийся меньшим временем релаксации.

В случае, если ЖК первоначально ориентирован таким образом, что длинные оси молекул перпендикулярны электродам и оптическая ось параллельна OZ (гомеотропная ориентация), в электрическом поле сначала наблюдается вращение молекул вследствие стремления молекулярных диполей ориентироваться параллельно E. Происходит однородная деформация слоя ЖК и оптическая ось наклоняется относительно OZ. После этого вновь вступает в силу описанный выше механизм и образуются домены, а затем возникает и динамическое рассеяние света.

Особого внимания заслуживает поведение тонких (меньше 10 мкм) слоев ЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией в электрическом поле. При достижении порогового напряжения возникает система доменов, которые выстраиваются параллельно первоначальному направлению оптической оси OX – продольные домены. Это нельзя объяснить электрогидродинамическим течением, так как вплоть до пробивных напряжений эффект динамического рассеяния отсутствует. Продольные домены лучше наблюдаются в особо чистых веществах с минимальным количеством примесных ионов. Ширина продольных доменов зависит от напряженности поля E, уменьшаясь с ее ростом. На рис. 77 показаны фотографии продольных доменов при различных напряженностях ЭП и полученные от них дифракционные картины при скрещенных поляроидах (рис. 77,б) и выключенном анализаторе (рис. 77,в). Порог возникновения доменов ~7,6 В, с увеличением напряжения на образце период доменов уменьшается. Это изменение имеет характер диэлектрического гистерезиса. Можно предположить, что в этом случае имеет место проявление полярной симметрии ЖК под воздействием электрического поля.

В толстых ЖК образцах с отрицательной диэлектрической анизотропией



Р и с. 77. Продольные домены, возникающие в нематических жидких кристаллах под действием электрического поля, (а) и картины дифракции на них при скрещенных поляроидах (б) и выключенном анализаторе (в)

в постоянных и низкочастотных полях молекулы ориентируются параллельно полю из-за течения вещества, возникающего под действием ЭП. Если нематический ЖК имеет псевдослоистое строение, то течение, как правило, не возникает, а молекулы ориентируются перпендикулярно полю.

В веществах с полжительной диэлектрической анизотрспией обычной картины доменов не возникает при любой первоначальной ориентации молекул. Это обусловлено тем, что движение ионов заставляет молекулы ориентироваться в направлении параллельно полю E. Возникновения доменов, а затем и эффекта динамического рассеяния можнс добиться, прикладывая МП перпендикулярно электрическому. Если магнитное поле превалирует над электрическим и заставляет длинные сси молекул ориентироваться перпендикулярнс E, возникает ЭГДН.

Под воздействием ЭП изменяется текстура холестерических ЖК. Наблюдается изменение направления оси винтовой структуры и ее шага. Так же как и при влиянии магнитного поля, использование электрических полей порядка 10^5–10^6 В/см приводит к раскручиванию спиральной структуры и перехсду сбраэца в нематическое состояние.

Характер ориентации смектических образцов в электрических полях зависит от знака диэлектрической анизотропии, анизотропии электропроводности, частоты и напряженности ЭП. В смектических ЖК с большой диэлектрической анизотропией ($\Delta\varepsilon \gg 0$) в электрических полях ориентация осуществляется за счет диэлектрического механиэма (молекулы выстраиваются по полю, слои- перпендикулярно ему). Как и в случае нематических ЖК, можно наблюдать эффект динамического рассеяния света, аналоги перехода Фредерикса в электрических полях, а также эффект памяти и др.

В смектических ЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией

в переменных ЭП, как и в нематических ЖК наблюдаются два типа ЭГДН (домены). Пороги возникновения ЭГДН для смектических ЖК несколько выше, что, по-видимому, обусловлено более высокой вязкостью смектических ЖК по сравнению с нематическими.

Интересно поведение хиральных смектических ЖК в электрических полях. В таких смектических ЖК имеет место сегнетоэлектричество. Ориентация в электрическом поле осуществляется за счет дипольных моментов, лежащих в плоскости смектического слоя. Таким образом, молекулы стремятся своими длинными осями выстроиться перпендикулярно полю, и это ведет к раскрутке геликоидальной структуры в полях $\sim 10^4$ В/см, которые на 1–2 порядка меньше, чем в холестерических ЖК.

Прибсры и системы управления на жидких кристаллах

Последние годы характеризуются бурным развитием нового класса средств приборостроения и автсматики – жидкокристаллических устройств (ЖКУ) с управляемыми оптическими характеристиками. В короткий срок (первые ЖКУ появились в 1970 г.) созданы все необходимые предпосылки для их промышленного освоения. Высокая надежность, экономичность, малые габариты и вес, а также возможность реализации широкоформатных экранов отображения и переработки информации позволяют рассчитывать на широкое внедрение ЖКУ в общие промышленные и специальные разрабстки.

Развитие устройств на ЖК идет в настсящее время по трем основным направлениям:

1) создание средств отображения информации, где используется свойство ЖК изменять свои оптические характеристики под действием электрических, механических, магнитных или тепловых полей;

2) построение запоминающих устройств, основанных на свойстве ЖК накапливать и длительно хранить без потребления энергии информацию, представляемую упорядоченным набором измененных оптических свойств ЖК;

3) разработка жидкокристаллических систем управления оптическим излучением, в которых ЖК используются в качестве модуляторов света, световых затворов, девиаторов света и т.д.

В первом из перечисленных направлений значительные успехи достигнуты при разработке различного рода индикаторов: цифровых, аналоговых, рекламных панелей, мнемосхем. Средние параметры индикаторных устройств: контраст на отображение 10–20, на просвет 80–160; время включения 10–20, выключения 100–200 мс (некоторые индикаторы, работающие на полевых эффектах, имеют времена срабатывания на порядок меньше); управляющие напряжения, как правило, равны 5 В, потребляемая мощность фактически не превышает нескольких микроватт. В области средств отображения с применением интегральных схем управления с автономным питанием жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ) позволят создавать интегральные устройства, практичёски независимые от источников питания.

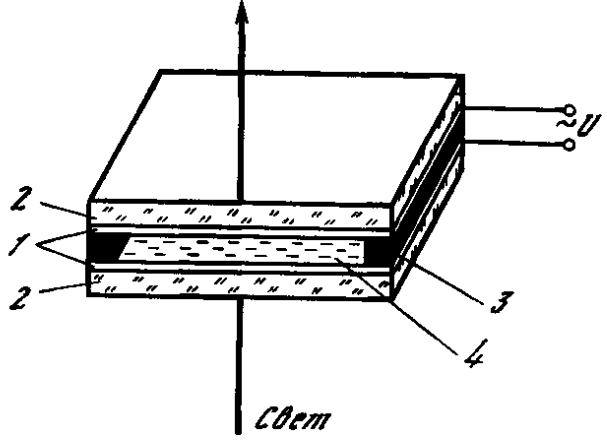
Получение жидкокристаллических материалов с хорошими температурными, электрическими и оптическими характеристиками дает возможность выполнять практически любые системы воспроизведения информации на экране – от показа микрофильмов до представления рисунков автоматически спроектированных сложных интегральных схем. Формирование символов и рисунков в таких системах будет осуществляться программным устройством, организующим возбуждение точек жидкокристаллической матрицы.

Говоря о втором направлении развития ЖКУ, следует отметить, что параметры накопителей информации на жидкокристаллических пленках емкостью до 2 млн. бит лучше аналогичных показателей накопителей вращающегося типа на магнитных барабанах и дисках. Особенно удобны ЖК для записи входной информации и различных кодированных программ ЭВМ.

Более эффективно ведутся работы в третьем направлении по созданию систем управления оптическим излучением. При помощи ЖК можно осуществлять амплитудную и фазовую модуляцию света, отклонять и сканировать луч света на большие углы, управлять углом поворота плоскости поляризации света. Параметры существующих ЖК позволяют создавать оптроны, электрические модуляторы, управляемые транспаранты для записи голографической информации и т.д.

В основе функционирования ЖКУ отображения информации лежит принцип изменения оптических характеристик вещества в результате внешних воздействий [3]. Все индикаторные устройства на ЖК отличаются тремя характерными чертами: они могут быть либо рассеивающего, либо поглощающего типа, либо пассивными устройствами, т.е. не генерировать, а лишь модулировать свет, обеспечивая, таким образом, требуемую функцию воспроизведения. Конструкция ЖКИ определяется в основном тем, что они работают на пропускание или на отображение. Следует отметить, что отсутствием генерации собственного светового излучения обусловлены следующие достоинства ЖКИ: для индикации требуется небольшая мощность (порядка I мкВт/см^2) ; индикация возможна в очень широком диапазоне яркости (от прямого солнечного освещения до сумеречного) ; монохроматическая индикация осуществляется с помощью окрашенных пластин с прозрачными токопроводящими слоями, располагаемых как фильтры перед ЖКИ, или посредством окрашивания самого ЖК вещества. Кроме того, устройства на ЖК не имеют механически перемещаемых деталей, занимает малый объем, совместимы с интегральными схемами, позволяют получить изображение на большой площади вследствие незначительной потребляемой мощности. Получены лабораторные образцы переключаемых многоцветных ЖКИ.

Конструкция электрооптической жидкокристаллической ячейки ЖКИ достаточно проста (рис. 78): между двумя прозрачными пластинами, покрытыми токопроводящим материалом, расположен нематический ЖК. В



Р и с. 78. Принципиальная конструкция электрооптической жидкокристаллической ячейки: I - прозрачные электроды. 2 - прозрачные пластинки, 3 - тефлоновая прокладка, 4 - жидкий кристалл

отсутствие электрического поля ЖК прозрачен, в то время как в ЭП он становится непрозрачным (эффект динамического рассеяния света). В ЖКИ, помещенных между поляроидами, действие ЭП вызывает изменение двулучепреломления ЖК (эффект деформации ЖК, или полевой эффект). Полевой эффект позволяет получить как позитивное, так и негативное изображение объекта.

В последнее время появилось много новых типов ЖК: дискообразные ЖК, молекулы которых расположены параллельно друг другу, упакованы в колонки и образуют гексагональную решетку ; линейные и разветвленные синтетические полимеры, которые микроскопически "жидкостны",но макроскопически ведут себя как твердые кристаллы, проявляя при этом колоссальную прочность ; бислоевые смектики типа А,В и Е ;"реентрант"-нематика,"реентрант"-смектика и т.д., исследование которых позволит не только расширить наше представление о жидкокристаллическом состоянии вещества, но и открывает широкие перспективы для использования ЖК в самых различных областях науки и техники [4].

Литература

I. Чистяков И.Г. Жидкие кристаллы. М.:Наука, 1966,128с.
2. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.:Наука, 1978, 384с.
3. Капустин А.П. Экспериментальные исследования жидких кристаллов. М.:Наука, 1978, 368с.
4. Чистяков И.Г.,Усольцева В.А.,Селезнев С.А., Жидкие кристаллы и их биолгическое значение.-Успехи современной биологии,1976,т.82, № 4,с. 89-102.

2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

2.I. Системный подход к решению проблемы взаимодействия внешней среды с биологическими объектами

Под "системой" понимают различные образования: от совокупности любых элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом, до функционально связанных многоуровневых и многокомпонентных комплексов [I-I6]. Математики нередко проводят параллель между теориями систем и множеств (см.[2]); биологи особенно оттеняют функциональность [I7] и структуризацию [I8]; географы акцентируют внимание на пространственных и отчасти временных характеристиках изучаемых ими систем [I9-2I].

Для более полного восприятия дальнейшего изложения определим основные понятия.

Система – саморазвивающаяся, открытая, упорядоченная во времени и пространстве совокупность элементов, существующая и управляемая как единое целое за счет взаимодействия, распределения и перераспределения имеющихся, поступающих извне и образующихся в ней веществ, энергии и информации, обеспечивающая преобладание внутренних связей над внешними. Под информационным взаимодействием подразумевается специфическая реакция систем на слабый вещественно-энергетический стимул, воспринимаемый как сигнал в форме кода.

Подсистема – система более низкого иерархического уровня, чем рассматриваемая, входящая в последнюю как функциональное целое (клетка – подсистема ткани, ткань – подсистема органа и т.д.).

Элемент системы – наименьшая (элементарная) подсистема данного ряда иерархии. Иногда – структурно-морфологический элемент, который может быть и несистемного характера – вне данного ряда.

Структура – "мгновенный снимок внутренних взаимодействий в системе" [22] – набор более или менее неизменных элементов, находящихся в определенной связи между собой.

Ряд – иерархия систем одного уровня развития материи, "предназначенных" для выполнения определенных функций. На схеме (рис.79) представлены для примера три ряда из иерархии природных систем.

Существуют три типа управления. Организменный – передача команд от специализированного центра через специфические структуры. Консорционный [1)] – в системах, имеющих центральный объект, изменение которого под воздействием внутренних и внешних факторов приводит к управлению популяционными структурами, функционально зависящими от него и друг от друга. Популяционный – в результате взаимодействия функционально равноправных множественных структур (подсистем одной системы) без специфических управленческих механизмов. В чистом виде такие типы управления,

---

1) Пример консорции – живое, а после смерти – мертвое дерево со связанным с ним миром растений и животных, последовательно сменяющих друг друга с ростом и затем гниением дерева.

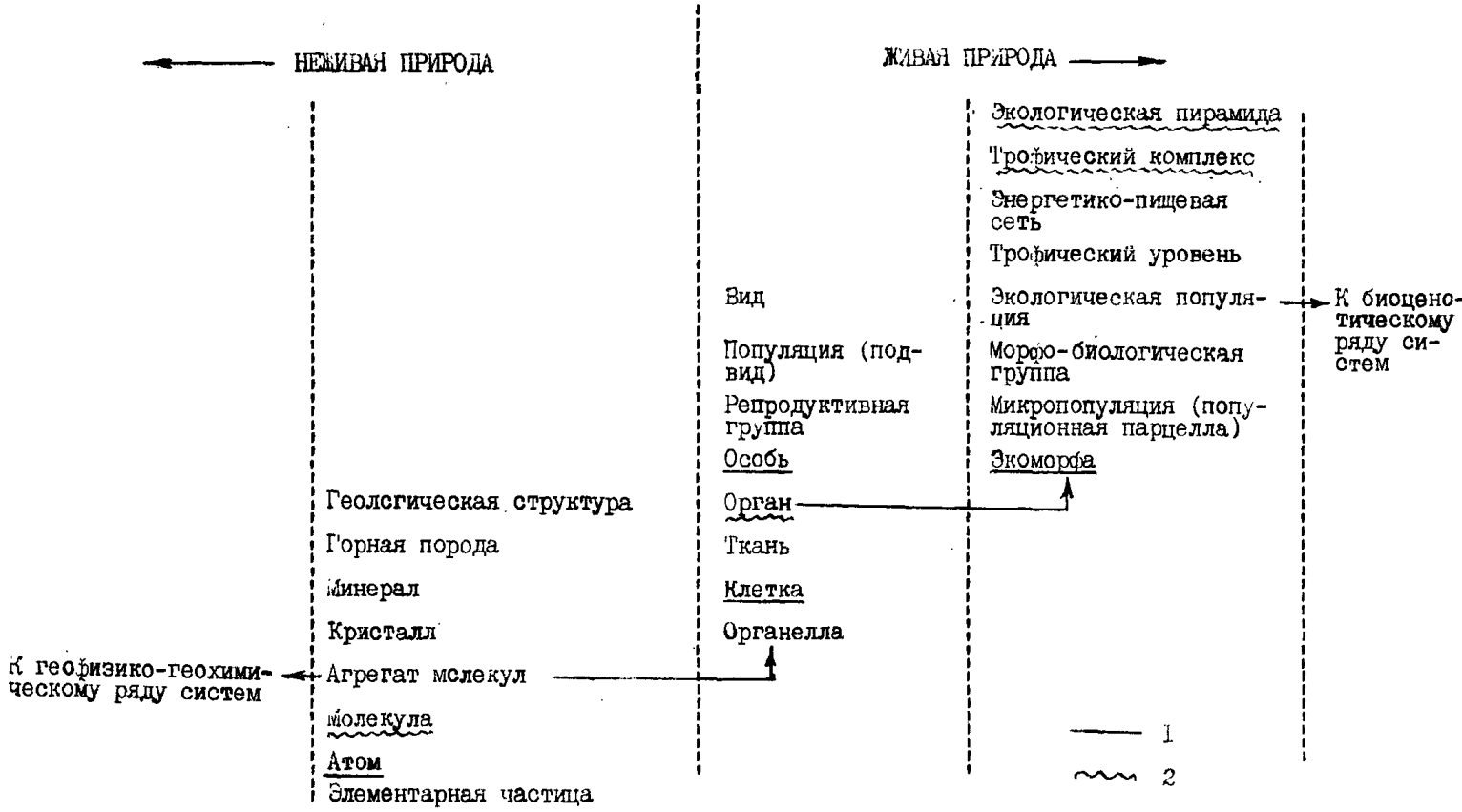


Рис. 79. Три ряда из иерархии природных систем (часть "системы систем"). 1 - организменный тип управления; 2 - консорционный тип управления; в остальных системах тип управления - популяционный

естественно, не встречаются. Например, на уровне органов: несомненно наличие електрических полей желудка, но трактовать их можно и как интегральные проявления клеточных мембранных потенциалов, и как дипольный генератор, помещенный в неоднородный объемный проводник [23]. Пример доминирующих типов управления в отдельных системах см. на рис.79.

Системы подчиняются некоторым "системным законам", проявляющимся в виде аналогий, или "логических гомологий" - законов, которые представляются формально идентичными, но относятся к совершенно различным явлениям [24]. Поэтому можно ожидать, что все системы, входящие в один подуровень иерархии, т.е. все атомы, все клетки и т.д., должны обладать способностью создавать индивидуальные физические поля (которые предстоит еще детально классифицировать!). Поскольку все живое состоит из клеток и особей, то живое вещество, в понимании В.И. Вернадского, должно чутко реагировать на изменение полей, хотя положение систем в их иерархии, а также эволюционные и индивидуальные качества могут накладывать значительный отпечаток на характер таких реакций (вновь широкое поле для изучения!).

Возникает вопрос: для чего системе "нужны" поля? Он, как кажется, решается сравнительно просто. Если "цель" системы - выполнение определенных функций в эволюционно сложившемся целом, то поля "нужны" для процесса передачи управленческой информации, направленной на самосохранение, т.е. стабилизацию, и, наоборот - определенную динамичность системного целого [25]. В рамках системного подхода для живого вещества биосферы важна связь между гравитационным, магнитным и электрическими полями, с одной стороны, и геохимико-геофизическими и биохимико-биофизическими процессами - с другой. Механизмы возникновения полей на биологическом материале усиленно изучаются и получают теоретическую интерпретацию (см., например, [13, 26] и др.), хотя не всегда достаточно оцениваются [27]. Значительно слабее известны физические закономерности в биосфере [28, 29]. Еще большее внимание привлекает воздействие полей на здоровье человека (см., например, [23, 30]), на его общее состояние [31]. Изложенное выше подтверждается и материалами Всесоюзного научно-технического симпозиума, прошедшего в Ялте в 1975 г. [32]. Процессы же в иерархии полей как информационной функции во всей "системе систем" пока фактически не изучены.

Между тем, отсутствие системно-иерархического подхода вызывает массу недоразумений. Между уровнями особи и космической системы в "системе систем" лежит множество промежуточных систем, как абиотических, так и биотических. Каждая или почти каждая надсистема "смягчает" и деформирует "лобовое" воздействие полей на ниже по иерархии лежащие системы. Буферность, "многоэтажная" каскадность воздействий и инерционность процессов обычно недооцениваются и отсюда возникают с точки зрения системного подхода наивные предотавления в пере - и недооценке значения физических, в том числе электромагнитных полей. Переоценка проявляется прежде всего в поисках прямого мощного воздействия изменения

полей на биологические объекты. При этом ни буферность надсистем, ни инерционность процессов в системах, ни иерархичность в передаче информации во внимание не принимаются. Так, нередко (см., например, [33]) пытались связать колебания численности популяций животных непосредственно с солнечными пятнами. Мы уже указывали на некорректность таких попыток [34]. Солнечно-земные связи весьма сильны, но проявление их действия на популяции опосредовано несколькими системными рядами. Если в подобных случаях наблюдается слишком четкая корреляция, то, скорее всего, речь идет о мнимой прямой связи.

Переоценкой нужно признать также попытки во многих случаях обнаружить немедленные и широкие медико-биологические последствия слабых изменений ЭМП. Сам факт восприимчивости и даже острой реакции особи (прежде всего нездоровой или особо чувствительной) на изменения поля в пределах 0,5 – 3,0% от естественного фона экспериментально доказан [29, 35] и теоретически обоснован [16]. Но информационное в своей основе воздействие должно проявляться главным образом не у особей, подвергшихся этому воздействию (хотя и у них также), а у потомства, "дезориентированного" через генетический и гуморальный аппараты, и у развивающихся организмов сильнее, чем у зрелых.

Возникает вопрос о том, как же реагировала жизнь при известных эволюционных сменах интенсивности полей? Почему она окончательно не была "обита с толку" и не погибала? С другой стороны, на чем основан эффект лечебного действия полей? Для ответа на первые два вопроса, составляющие единое целое, необходимо обратиться к системным понятиям размерности и времени (см. [4]). Размер системы, как и ее время, нельзя мерить формальными отрезками мер длины, объема, часами, минутами и т.п. Можно говорить о собственном размере и времени системы, т.е. о пространственной ее протяженности, не больше и не меньше, чем необходимо для осуществления характерных системных функций (прежде всего самоуправления), и об индивидуальной мере скорости развития системы. Для особи одна из мер времени – продолжительность ее жизни, но жизнь особи, как известно, длится от часов до сотен лет.

Изменение полей, происходящее со скоростью тысяч индивидуальных мер времени, позволяет особям адаптироваться к новым условиям, но при этом не все виды живого способны сохраниться, т.к. мера времени для них-эволюционная: для млекопитающих в среднем 600тыс.лет, для птиц-2млн. лет [36]. В этом заключается один из системных парадоксов – особи индивидуально могут адаптироваться, а виды (вообще надсистемы) нет, хотя, казалось бы, без особей нет видов, и наоборот.

Этот парадокс особенно волнует экологов и медиков в связи с возможной связью геомагнитного поля с процессами акселерации у человека [37, 38]. Геомагнитное поле, как известно [37], падает по напряженности в течение последних 70–80 лет. Еще недостаточно ясен вопрос о степени индивидуальной и видовой адаптации к столь быстрым изменениям поля, а тем более во всей иерархии живых систем Земли.

Физические поля и излучения привлекают все большее внимание в связи с проблемами окружающей человека ореды и охраны природы. Если гравитационная постоянная не подвластна человеку, то электрическое и магнитное поля человечество меняет уже глобально. Настало время обратить внимание на острую необходимость решения вопросов воздействия полей на человека и природу, исходя из системной методологии. В конечном счете, она требует конкретного учета всеобщности связей в природе, межсистемных взаимоотношений в иерархии систем, знания общесистемных законов и динамических свойств систем, таких как инерционнооть, уотойчивость, равновесность и др. Все перечисленные подходы, особенно - всеобщность связей в природе - постоянно декларируются. Однако системная теория находится лишь в фазе разработки и становления. Полезно в связи с этим напомнить о сложностях в оценке воздействий и предсказании их последствий, на которые указали эксперты ЮНЕП - ИСА [2] [39].

Первая сложность возникает из-за меры "эластичности" природных систем: допороговые воздействия нередко ускользают от внимания иоследователя, а пороги следует учитывать для довольно длинного ряда под - и надсистем в их ряду, поскольку они влияют на рассматриваемую систему. Изолированное изучение объекта, особенно когда речь идет о физических полях, не имеющих "границ", не может дать объективных результатов,если интерпретация эксперимента или наблюдения ограничиваются лишь этим объектом.

Вторая сложность оостоит в противоречащем здравому смыслу характере реакций природных систем на внешние воздействия. В области электромагнитных явлений, как и в подавляющем числе других случаев, такое противоречие проявляется прежде всего в количественных характеристиках.Согласно здравому смыслу, энергетичеоки слабые, иногда на многие порядки отличающиеся от ощутимых (прямо фикоируемых не только органами чувотв, но клеточными структурами вообще), воздействия не должны вызывать реакции биологических систем. А они провоцируют такие реакции и порой даже более сильные, чем при выооких энергиях.

Наконец, третья сложноть возникает из-за неадекватной реакции биосистем, дезориентирующих исследователя, наблюдающего за ходом процесса по поведению этих систем как индикаторов. Иногда возникает оитуация, при которой индикаторы указывают на благополучие, а процесс ведет к катастрофе или во всяком случае к нежелательному исходу.

В электромагнитной биологии пока больше вопросов, чем ответов.Если говорить о том, влияют ли физические поля на живое, то ответ положителен (см., например, [40, 41]). И поскольку это так, следует в очень короткие сроки на основе системной методологии целенаправленно изучить эти влияния с тем, чтобы электромагнитное воздействие человечества на биосферу не привело к роковым результатам.

---

2) ЮНЕП - Программа ООН по окружающей ореде (штаб-квартира в г.Найроби, Кения), ИСА - Институт системного анализа (международное учреждение, г.Вена, Австрия).

Литература

I. Bertalanffy L. van. Generel system theory. Foundation, development, application. N.Y.: George Braziller, 1969. 289 p.
2. Системные исследования: Ежегодник. М.: Наука, I969–I979.
3. Сетров М.И. Организация биосистем. Л.: Наука, I97I. 262 с.
4. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, I973. 270 с.
5. Аверьянов А.Н. Система: философская категория и реальность. М.:Мысль, I976. I88 с.
6. Системный анализ и научное знание. М.: Наука, I978. I82 с.
7. Круть И.В. Введение в общую теорию Земли. М.: Мысль, I978. 367 с.
8. Развитие концепции структурных уровней в биологии. М.: Наука,I972. 392 с.
9. Украинцев Б.С. Самоуправляемые системы и причинность. М.: Мысль, I972. 254 с.
I0. Принципы системной организации функций. М.: Наука, I973. 308 с.
II. Проблемы космической биологии. Т. I3. Влияние некоторых космических и географических факторов на биосферу Земли. М.: Наука, I973.208 с.
I2. Сетров М.И. Информационные процессы в биологических системах.Методологический очерк. Л.: Наука, I975. I56 с.
I3. Логинов А.А. Очерки по общей физиологии. Основные свойства и закономерности живых систем. Минск: Вышэйшая школа, I976, 240 с.
I4. Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем. М.: Наука, I976. I92 с.
I5. Проблема взаимосвязи организации и эволюции в биологии. М.:Наука, I978, 296 с.
I6. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, I976. 367 с.
I7. Анохин П.К. Избранные труды. Философские аспекты теории функциональной системы. М.: Наука, I978. 400 с.
I8. Биологические системы в земледелии и лесоводстве. М.: Наука, I974. I42 с.
I9. Топологичеокие аспекты учения о геосистемах. Новосибирск: Наука, I974. 254 с.
20. Изучение степных геосистем во времени. Новосибирск: Наука, I976, 238 с.
2I. Сочава В.Б. Введение в учение о геоистемах. Новосибирск: Наука, I978. 320 с.
22. Малиновокий А.А. Теория структур и ее место в системном подходе. – В кн.: Системные исследования: Ежегодник. М.: Наука, I970, с.I0–3I.
23. Собакин И.А. Физические поля желудка. Новосибирск: Наука, I978.II2с.
24. Берталанфи Л. История и статуо общей теории систем. – В кн.: Системные исследования: Ежегодник. М.: Наука, I973, с.20–37.
25. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука,I968. 288 с.

26. Певзнер Л. Основы биоэнергетики. М.: Мир, 1977. 310 с.
27. Брода Э. Эволюция биоэнергетических процессов. М.: Мир, 1978. 304 с.
28. Хильми Г.Ф. Основы физики биосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1966.300 с.
29. Холодов Ю.А. Шестой незримый океан (Очерки по электромагнитной биологии). М.: Знание, 1978. 112 с.
30. О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. М., 1973. 179 с.(Тр.Лаборатории электромагнитных полей радиочастот Ин-та гигиены и профессиональных заболеваний АН СССР; Вып.4).
31. Pivárci S., Porubsky V. The dynamics of successful suicides in the geomagnetic field: Annu. periodicity, 1951-1972. - Proc. 9 Intern. Congr. Suicide Prev. and Crisis Intervent, Helsinki, 1977. Helsinki, 1978, p. 72-79.
32. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха: Матер.Всесоюз. науч.-техн.симпоз. М.: Наука, 1975. Т.1. 339с. Т.2. 207 с.
33. Пантелеев П.А. Популяционная экология водяной полевки и меры борьбы. М.: Наука, 1968. 255 с.
34. Реймерс Н.Ф. Экологические сукцессии и промысловые животные. -В кн.: Охотоведение. М.: Леоная промышленность, 1972, с.67-108.
35. Мезенцев С.А. Медико-биологические проблемы. - В кн.: Сверхпроводимость в геоэлектроразведке. Новосибирск: Наука, 1977, с.115-124.
36. Олдак П.Г. Общие начала биосоциальных исследований. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1977. 71 с.
37. Василик П.В. Параллельность векового хода изменений морфологических признаков человека и некоторых других млекопитающих в голоцене. - В кн.: Медицинская кибернетика. Киев, 1975, с.72-82.
38. Соловьева В.С. Еще раз об акселерации. - Природа, 1978, № 3,с.14-23.
39. Базыкин А.Д. Принципы системного анализа в оценке воздействия на окружающую среду. - В кн.: Природные ресурсы и окружающая среда.Достижения и перспективы, 1978, вып.5, с.29-41.
40. Нахильницкая З.Н.,Смирнова Н.П. Влияние магнитных и электромагнитных полей на животный организм. - В кн.: Руководство по физиологии.Экологическая физиология человека. Адаптация человека к экстремальным условиям среды. М.: Наука, 1979, с.495-569.
41. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, 1980. 192 с.

2.2. Проблемы применения вычислительных методов для иоследования влияния электромагнитных полей на бислогические системы

Проблема оценки и прогнозирования реакций живых систем на внешние воздействия и адаптации к ним чрезвычайно актуальна. Трудности адекватной оценки состояний биоистем связаны с тем, что традиционные медико-биологические метсдики иоследований не позволяют проникнуть в ме-

ханизмы управления функциями, в механизмы координационных взаимодействий в живых системах. В настоящее время намечаются основные пути решения этой проблемы, а также направления наиболее эффективного и экономически выгодного использования вычислительных методов и средств в медико-биологических науках. К ним следует отнести многоплановый анализ информации, постановку управляемых экспериментов, математическое моделирование биосистем и исследование их поведения при помощи ЭВМ, а также исследование координационных взаимодействий во многоуровневых живых системах. Однако прямое, стандартное применение ряда вычислительных методов к биосистемам без учета их специфики не всегда приводит к желаемым результатам. Ниже обсуждаются методические особенности применения вычислительных методов в указанных основных направлениях. В первую очередь рассмотрим методы обнаружения открытых регулярных (динамических) явлений вообще и ритмических процессов, в частности.

Колебательные процессы составляют основу временной организации живых систем ([I], подробнее об этом см. т.2,гл.I,п.I.I) и отображают функционирование некоторых биологических подсистем, состоящих из большого числа элементов, действующих как единое целое. Подобные подсистемы имеют определенные устойчивые состояния, а колебательные процессы, отображающие эти состояния, - соответствующие устойчивые предельные циклы. Следовательно, колебательные процессы в живых системах либо расположены в окрестностях своих предельных циклов, либо переходят в процессе изменения состояния системы из окрестностей одних предельных циклов в окрестности других. При этом изменение параметров колебательных процессов происходит достаточно плавно в соответствии с динамическими характеристиками элементов, входящих в систему. Колебательные процессы в биосистемах на основе общей схемы классификации [2] можно определить как совокупность участков рекуррентных колебаний [I)] и переходных процессов между ними.

Задача анализа скрытых регулярных колебательных составляющих в биопроцессах заключается в том, чтобы на возможно более коротких интервалах обнаружить и оценить параметры рекуррентных колебаний, а также проследить за их изменением во всем интервале наблюдений исследуемого процесса. Это позволяет затем восстановить параметры устойчивых циклов системы, что имеет большое значение для адекватной оценки ее состояний, а следовательно, и для решения ряда важных прикладных задач. Обнаружение и анализ нестабильных ("плавающих") параметров рекуррентных колебательных составляющих в биопроцессах представляет собой весьма сложную, но вполне разрешимую задачу. Даже широко распространенный в научных исследованиях спектральный анализ при ее решении оказывается недостаточно результативным, что связано с существенными изменениями параметров скрытого колебания в длительном интервале наблюдения L_0 [3,4].

I) Рекуррентное колебание - частный случай автоколебания - располагается в окрестностях предельного цикла, равномерно к нему приближаясь.

Увеличение L_0 для получения более надежных спектральных оценок может привести к накоплению мощности узкополосного случайного процесса, т.е. к "ложному пику". Отличить строго периодический процесс от узкополосного шума по циклу периодограммы, построенной для достаточно больших L_0, как подчеркивается в [3], практически невозможно.

Для обнаружения рекуррентных колебательных составляющих биопроцесса весьма перспективны резонансные методы анализа. При их использовании анализ проводят на ограниченных "скользящих" интервалах наблюдения L_i, много раз укладывающихся на участке наблюдения L_0, так что на каждом из скользящих интервалов выполняют усложненную резонансную процедуру [5]. Она состоит, во-первых, из предварительной процедуры - построения для сигнала $Y(t)$ периодограммы $V_i^2(\omega)$ (выборочной спектральной плотности),

$$V_i^2(\omega) = \left[\int_0^{L_i} Y(t) \sin \omega t \, dt \right]^2 + \left[\int_0^{L_i} Y(t) \cos \omega t \, dt \right]^2, \qquad (1)$$

выполняемой в узком частотном "окне" с регулируемым смещением относительно начала координат, таком, что период предполагаемого скрытого колебания укладывается на интервале приблизительно два-три, но не более четырех раз; во-вторых, из уточняющей процедуры типа "бега фазы"

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left\{ \left(\int_s^{l+s} Y(t) \cos \omega t \, dt \right) \Big/ \left(\int_s^{l+s} Y(t) \sin \omega t \, dt \right) \right\}, \qquad (2)$$

выполняемой в узком диапазоне $|(\omega - \omega_x)(l + 2s)/2| \leq \frac{\pi}{2}$ в окрестностях основного пика ω_x периодограммы внутри "окна" на интервале $l < L_i$, кратном T_x, с шагом сдвига s; и, наконец, способов подавления помех либо скользящим сглаживанием сигнала, либо скользящим сглаживанием сигнала с вычитанием преобразованного таким образом сигнала из исходного и последующим анализом остатка по приведенной процедуре. Постепенное изменение знака фазы в малой окрестности максимума периодограммы с положительного на отрицательный свидетельствует о наличии скрытого колебания и позволяет оценить его текущий период или частоту (как значение частоты при пересечении линии "бега фазы" с осью частот), а затем фазу (как значение при пересечении фазы линии "бега фазы" [5] с осью ординат) и амплитуду по формулам периодограммного анализа. По результатам оценки параметров скрытого колебания на определенном интервале корректируют длительность следующего интервала, а также смещение и ширину "окна" просматриваемых частот, т.е. выполняют поисковую процедуру "плавающего окна". В итоге по результатам оценок параметров скрытого колебания на большом числе скользящих интервалов может быть построена статистика [5], по которой оценивается надежность обнаружения и точность оценок параметров скрытого колебания на всем участке L_0. Усложненная процедура позволяет исключить "ложные" пики на периодограммной кривой и достаточно точно оценить параметры скрытого колебания на весь-

ма ограниченном интервале L_i, скользящем вдоль длительных участков L_0. Это существенно расширяет возможности спектральных методов анализа, так как позволяет корректно применить их для достаточно широкого класса нестационарных процессов.

После обнаружения и оценки параметров скрытых колебаний они могут быть удалены из процесса или существенно подавлены путем фильтрации. Одновременно могут быть отфильтрованы и трендовые составляющие в процессе. Это позволяет достаточно корректно применить статистические методы для анализа случайной составляющей процесса и, в частности, широко распространенный спектральный анализ стационарных случайных процессов, при прямом применении которого к указанным нестационарным процессам не удается спланировать спектральный анализ таким образом, чтобы обеспечить и достаточную стабильность спектра, и его необходимую разрешающую способность, т.е. "хороший" спектральный анализ процесса.

Действительно, биологические процессы, как правило, нестационарны. Анализ их весьма затруднен, что объясняется, во-первых, недостаточным развитием методов исследования нестационарных случайных процессов, а во-вторых, необходимостью применения усреднения по ансамблю реализаций, что приводит к маскированию важных параметров, изменяющихся в интервале наблюдения сигнала. Если учесть, что колебательные составляющие и тренды представляют собой важнейшие типы нестационарностей в биологических временных рядах, то способы обнаружения, количественной оценки и фильтрации указанных компонент могут обеспечить применение известных статистических методов для анализа стационарных случайных составляющих рядов. Для подавления указанных нестационарностей используются как простое сглаживание (типа скользящего с переменным корректируемым коэффициентом), так и более сложные совершенные методы цифровой фильтрации временных рядов. Среди последних представляет интерес метод, основанный на формировании достаточно точной модели колебания и вычитания ее из исходного сигнала, а также метод адаптивной корреляции каждого значения временного ряда, так, чтобы степень его сглаживания возрастала, а, следовательно, величина второй разности уменьшалась до заданной величины [67]. При подобном методе не возникает фазового сдвига гармоник, составляющих фильтрованный ряд, и в нем сохраняется то же число членов, что и в исходном.

Гибкое применение резонансных методов, фильтрации и статистических методов анализа временных рядов позволяет получить количественные оценки их регулярных и случайных составляющих. Параметры скрытых колебательных составляющих и трендов в биопроцессах отражают динамику либо системы в целом, либо основных входящих в нее подсистем, в то время как взаимодействие (связность) элементов внутри системы отражается суперпозицией и наложением случайных процессов с различными законами распределения. Полученные текущие оценки параметров временных рядов используются, с одной стороны, для определения параметров устойчивых циклов системы и

слежения за их изменением, с другой - для получения статистических оценок случайных процессов, находящихся в окрестностях циклов, что имеет большое значение для адекватной оценки состояний системы, порождающей временной ряд. Применение указанного комплекса методов уже на первых этапах позволило получить новые количественные данные о параметрах временной организации биосистем и в первую очередь о параметрах скрытых колебательных процессов. Для разнообразных физиологических показателей от наиболее сложного (ЭЭГ) до сравнительного простого (пневмограмма), а также для некоторых процессов в окружающей среде обнаружено наличие сложной колебательной структуры [7].

До сих пор рассматривались вычислительные методы, позволяющие извлекать ценную не доступную для традиционных методов исследований информацию из экспериментальных данных без вмешательства в технику эксперимента (пассивный эксперимент). Новые перспективы для техники экспериментирования открываются в связи с возможностями анализа больших объемов информации на современных ЭВМ в реальном и ускоренном масштабах времени. Большой интерес, в частности, представляет постановка управляемых экспериментов с введением регулирующих воздействий, выбранных на основе параметров эндогенных скрытых колебаний в живом организме, например управляемый эксперимент с изучением умственной работоспособности человека-оператора [8], позволивший подойти к индикации такого тончайшего нейрофизиологического процесса, как умственная деятельность.

Подобные эксперименты по оценке влияния ЭМП на биосистемы представляют особый интерес. В частности, серия экспериментов по биоиндикации окружающих абиотических полей на основе ЭКГ и ритмической электрической активности (РЭА) некоторых видов рыб, а также по управлению поведением рыбы электрическими сигналами [9,10] показала, что у рыб отсутствуют регулярные скрытые колебательные составляющие в ритме сердца (по крайней мере для ряда 300-400 кардиоинтервалов). В то же время средний уровень сердечного ритма рыб изменяется в несколько раз даже при незначительных изменениях параметров окружающей среды. Колебательные составляющие в ритме сердца человека и высших млекопитающих отражают, как известно, различные уровни регуляции ритма сердца, координируемые в конечном итоге высшей командной системой,- ЦНС или корой головного мозга. Ритм сердца человека стабилизирован различными подсистемами и для изменения его в несколько раз нужны существенные внешние воздействия, а у рыб любое изменение в окружающей среде через ЦНС сразу отражается на ритме сердца. Еще более чувствительными к изменению окружающей среды оказались параметры РЭА отдельных видов рыб. Было установлено, что РЭА обладает высокой чувствительностью и отражает проявления как эндогенных, так и экзогенных ритмов электролокационной системы исследованных рыб. Все это позволяет подойти, с одной стороны, к биоиндикации весьма малых вариаций параметров окружающей среды, а с другой - к управлению поведением рыбы внешними регулирующими воздействиями. Постановка подобных экспериментов с управлением или "раскачиванием"

биосистемы в резонанс с внутренними циклическими процессами может позволить осуществить достаточно строгую проверку разнообразных гипотез о механизмах действия ЭМП на живые объекты.

Не менее важное направление исследований представляет математическое моделирование биосистем и исследование их поведения при помощи вычислительных машин. Одну из проблем представляет задача выделения небольшого числа фундаментальных объектов и явлений, которые могут быть положены в основу моделирования сложных биосистем,и построение идентификационных моделей этих объектов и явлений. Разрыв между математическими моделями и реальной действительностью даже сравнительно простых биосистем в настоящее время, как правило, еще весьма велик. Существенного сокращения разрыва можно достичь путем построения модели на основе идентификации [II], т.е. на основе непрерывно поступающих экспериментальных данных с реального объекта, находящегося в процессе нормального функционирования или при определенных экспериментальных воздействиях. Одним из примеров удачного построения индентификационных моделей биосистем может служить модель распространения процесса возбуждения по нервному волокну [I2]. Значения констант и функциональных зависимостей в системе уравнений Ходжкина-Хаксли были подобраны на основе реальных экспериментальных данных при помощи ЭВМ (оптимизатора) таким образом, чтобы формы импульсов, полученных в реальных экспериментах и рассчитанных по модели, совпадали с точностью до заданного критерия качества и воспроизводили основные особенности процесса возбуждения реального нервного волокна.На основе подобной модели с использованием современных средств вычислительной техники оказалось возможным построить сложные достаточно близкие к реальной действительности модели возбудимых сред, содержащих сотни и тысячи клеток [I3].

В связи с тем, что колебательные и волновые процессы - фундаментальное явление на всех уровнях организации живой материи и во внешней среде, весьма актуальна в настоящее время разработка идентификационных моделей нелинейных осцилляторов [I4]. Иерархическая система уравнений, которая описывает связанные с регулируемыми параметрами нелинейные колебания, обладающие предельными циклами, может, на наш взгляд, служить адекватной математической конструкцией для модельной аппроксимации таких важных биологических понятий, как гомеокинез - динамическое уравновешивание физиологических процессов внутри организма, обеспечивающее выживание или развитие того или иного вида [I5]. Следовательно, иерархические комплексы взаимосвязанных нелинейных осцилляторов с регулируемыми параметрами могут быть положены в основу построения координационных моделей биосистем, что позволяет развить конструктивный системный подход для изучения координационных взаимодействий во многоуровневых живых системах и для решения задачи адекватной оценки их состояний [I0,I6].

При разработке эффективных процедур оценки состояний многоуровневой самсрегулирующейся динамической системы центральное значение имеет

проблема учета целостности системы, а следовательно, вопросы согласования управлений и реакций ее подсистем.

Типовую структуру многоуровневого комплекса управлений можно представить в виде трех основных систем: объекта управления, управляющей системы и командной (координирующей) системы [10,16]. Управляющая система в вертикальном разрезе занимает N уровней, на каждом из которых расположены органы управления (m_ℓ органов для ℓ-го уровня). Органы управления, распсложенные на любом ℓ-м уровне, осуществляют уровневое управление при псмощи вектора $\bar{a}^{(\ell)}$ всеми ниже расположенными уровнями и функциональное управление при помощи коррекций теми органами, с которыми они структурно связаны. В качестве глобальной цели функционирования модели принято достижение наиболее благоприятных для нее режимов функционирования в условиях изменяющейся внешней среды. Задача о координации управлений в иерархических системах заключается в таком согласовании целей командной системы со стратегиями органов управления путем коррекций, чтобы были удовлетворены как интересы $\sum_{i=1}^{\ell} m_i$ органов управления, так и интересы всей системы в целом.

В работах [10,16] был сформулирован принцип динамического поуровневого соглаоования равновесных стратегий органов управления, приведена общая схема процедуры координации, позволяющие свести задачу многоуровневого динамического комплекса управлений большой размерности к последовательности задач малой размерности, и на этой основе была разработана конструктивная процедура анализа состояний многоуровневого комплекса.

Для пояснения основной идеи обозначим решения уравнений оостояния для каждого ℓ-го уровня ради простоты изложения и без учета функциональных управлений как

$$\bar{x}^{(\ell-1)} = V^{(\ell-1)}\left(t, \bar{a}^{(\ell)}, \bar{a}^{(\ell-1)}, \ldots, \bar{a}^{(1)}\right), \qquad (3)$$

тогда оператор преобразования управлений и входных воздействий $\bar{u}(t_0, t)$ на $\Gamma(\ell)$-подоистему можно записать в виде

$$\bar{f}^{(\ell)} = F_x^{(\ell)}\left(t, \bar{x}^{(\ell-1)}, \bar{u}^{(\ell-1)}(t_0, t)\right). \qquad (4)$$

После объединения соотношений (3) и (4) по уровням в вектор и при условии согласования всех управлений их можно записать следующим образом:

$$\bar{x}^*(t) = V^*[\bar{x}(t_0), \bar{a}^*, \bar{u}(t_0, t)] = V^*[\bar{x}(t_0), \bar{u}(t_0, t)], \qquad (5а)$$

$$\bar{f}^*(t) = F^*[\bar{x}(t_0), \bar{a}^*, \bar{u}(t_0, t)] = F^*[\bar{x}(t_0), \bar{u}(t_0, t)], \qquad (5б)$$

где $*$ – символ согласования. Соотношения (5 а), (5 б), задающие модель с определенным в ней оостоянием при согласованных управлениях и решениях уравнений состояния, имеют вид, полностью аналогичный уравнениям состояния в общей форме, приведенным в [7]. В то же время составляющие вектора состояния далеко не всегда доступны для измерения в реальных

объектах, и подобная информация для многоуровневого объекта (модели), описываемого системой дифференциальных уравнений высокого порядка $\sum_{i=1}^{N} m_i$ представляла бы собой значительный объем избыточной информации. Именно поэтому для оценки состояний многоуровневых объектов большое значение имеет наличие установившихся решений в описывающих их системах уравнений для каждого уровня с характеристиками $\Gamma^{(\ell)}(\bar{a}^{(\ell)}, \bar{a}^{(\ell-1)}, \ldots, a^{(1)})$, не зависящими от времени и используемыми органами управления более высоких уровней при выработке своих согласованных стратегий.

Действительно, подобными характеристиками можно воспользоваться для оценки состояний многоуровневой согласованной динамической системы, так как знание их в отсутствие входных воздействий или их зависимости от входных воздействий позволяет определить качество работы системы не только в текущий момент времени, но и в будущем.

Для многоуровневого комплекса управлений, в котором системы уравнений для каждого $(\ell-1)$-го уровня, описывающие соответствующие управляемые подсистемы $\Gamma(\ell-1)$, представляют собой нелинейные колебательные системы, а изменение управляющих воздействий $\bar{a}^{(\ell)}$, регулирующих параметры этих систем уравнений, намного медленнее постоянных времени их решения, указанными характеристиками являются параметры установившихся колебательных решений систем уравнений, т.е. параметры их предельных циклов, на основе которых формируются равновесные стратегии органов управления. При изменении под влиянием разнообразных причин "внутренних", неконтролируемых управляющей и командной системами переменных объекта возникает динамический процесс поуровневого согласования равновесных стратегий органов управления. Согласование экстремизирующих управлений органов сводится к необходимости решения задач теории игр на каждом уровне. Решения игр находятся последовательно для каждого предыдущего уровня, начиная с первого, и подставляются в функции выигрышей каждого последующего уровня, начиная со второго. В результате обеспечивается согласованная структура систем дифференциальных уравнений, описывающих управляемые подсистемы в рассмотренном динамическом комплексе, и на каждом уровне получаются согласованные по уровням колебательные решения, т.е. согласованная по уровням иерархическая система его устойчивых циклов. Знание параметров и окрестностей устойчивых циклов, а также их изменений при определенных входных воздействиях позволяет не только оценить состояние объекта в какой-то момент времени, но и с определенной точностью вместе с входным воздействием спределить его будущее поведение, т.е. произвести адекватную оценку состояния сложного многоуровневого колебательного комплекса. При приведенном методе оценки состояний нет необходимости в количественной модели объекта, достаточно воспользоваться системной не полностью структуризованной моделью. На основе подобной системной модели многоуровневого комплекса нелинейных колебаний возможно, с одной стороны, ввести достаточно строгое формализованное представление о состо-

нии системы [17,18], с другой - развить экспериментальный метод адекватной оценки состояний такого комплекса. В этом случае на основе оценки текущих параметров порождаемых им временных рядов резонансными и другими методами анализа необходимо произвести идентификацию параметров иерархической системы устойчивых циклов исследуемого объекта.

Рассмотренный многоуровневый комплекс нелинейных осцилляторов имеет большое значение для изучения механизмов координации и оценки состояний иерархических биосистем [15].

Параметры различных скрытых колебательных процессов в живых системах характеризуют режимы работы как уровней, так и отдельных органов управления. Состношения же между параметрами отображают механизмы координационных взаимодействий в этих системах. Такой многоуровневый комплекс нелинейных ссцилляторов, с одной стороны, постоянно легко и гибко перестраивается под влиянием внутренних потребностей живой системы, стремясь к оптимизации режимов функционирования ее подсистем, а с другой - может легко адаптирсваться и синхронизоваться с внешними незначительными по энергетической мощности (информационными) циклическими воздействиями [19]. Сказанное подтверждают, в частности, экспериментальные данные по изучению многоуровневого комплекса управлений ритмом и силой сердечных сокращений у человека при различных воздействиях и патологических состояниях [7], а также данные для различных видов животных в эволюционном аспекте [20]. При этом в процессе экспериментов анализу подвергались записи физиологической информации различной длительности (вплоть до непрерывных суточных регистраций) в норме, при различных воздействиях и патологических состояниях человека. Математический анализ ритма сердца при помощи ЭВМ позволил выявить и оценить параметры по крайней мере девяти колебательных составляющих, характеризующих различные уровни регуляции ритма сердца человека. Полученные данные о циклических составляющих ритма сердца позволили сформировать представление об иерархичеокой системе управления ритмом сердца. Каждый уровень иерархической системы характеризуется свойственными ему ритмами с периодами, различающимися, как правило, на порядок [10,20].

Комплексный анализ скрытых колебательных составляющих не только в ритме сердца, но и в ряде других физиологических процессов при разнообразных воздействиях показал, что их параметры являются чувствительными индикаторами сссгояний биосистем и отражают механизмы координационных взаимодействий в этих системах. Эти результаты уже были использованы при разработке критериев ранней диагностики состояний живых организмсв и решении прикладных задач экологической физиологии, сельского хозяйства, здравоохранения, медицины, физиологии труда и спорта [7-9,10,20-22].

Таким образом, возможность обнаружения и слежения одновременно за рядом скрытых колебательных процессов в биологическом объекте при его

нормальном функционировании открывает заманчивые перспективы по изучению механизмов координации во многоуровневых живых оистемах, что имеет большое значение для выяонения механизмов влияния внешних воздействий. Построенные на базе реальных экспериментальных данных координационные модели могут служить в дальнейшем научной основой теории оценок и прогнозирования состояний различных биосистем.

Отсутствие адекватных математических методов иоследования биосистем, базирующихся на широком применении современных вычислительных средств, является одним из наиболее узких мест в решении проблемы выяснения механизмов действия ЭМП на биологические объекты. Наличие циклических явлений в динамике всех уровней организации живых систем имеет огромное значение для их изучения. Разработка эффективных вычислительных методов исследования скрытых колебательных явлений в динамике живых систем может позволить, наконец, проникнуть в область, до сих пор считавшуюся недоступной [23]. В связи с этим необходимыми методологическими принципами для решения проблемы оценки состояний биологических систем при различных внешних воздействиях следует, на наш взгляд, считать I) строгий количественный анализ параметров временной организации биосиотем и в первую очередь параметров скрытых колебательных составляющих в биопроцессах; 2) учет на основе реальных данных и координационных моделей функционально автономных систем, их иерархии и координации в рамках целостной живой системы; 3) биологическую интерпретацию полученных при помощи вычислительных методов и средств данных. Без выполнения приведенных методологических принципов вряд ли можно надеяться на успешное решение проблемы выяснения механизмов биологического дейотвия ЭМП.

Литература

I. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М., I935. 205 с.
2. Биркгофф Д. Динамические сиотемы. М.; Л.: Гостехиздат, I94I. 320 с.
3. Первозванский А.А., Серебрянников М.М. Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука, I965. 244 с.
4. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.:Мир, I97I. Т.I. 3I0 с.
5. Чернышев М.К. Резонансно-поисковые вычислительные методы анализа скрытых колебательных процессов в живых системах. - В кн.: Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем. М.: Наука, I976, с.II-34.
6. Калантар В.А. Способ фильтрации кардиологических временных рядов.- Новости медицинской техники, I98C, вып.2, с.53-56.
7. Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосиотем/ Под ред. Чернышева М.К. и Баевского Р.М. М.: Наука, I976. I86 с.
8. Баевский Р.М., Кудрявцева В.И., Сычев В.А., Чернышев М.К. Применение

резонансно-поисковых методов анализа колебательных составляющих сердечного ритма для оценки и прогнозирования умственного утомления.- В кн.: Биологическая и медицинская кибернетика. М.: Наука, 1974, ч.5.

9. Протасов В.Р., Чернышев М.К. Биоиндикация абиотических полей при помощи ЭКГ рыб. - В кн.: Проблемы сравнительной электрокардиологии. Сыктывкар: Наука, 1979, с.145.
10. Чернышев М.К., Гаджиев М.Ю. Математическое моделирование иерархических систем с приложениями к биологии и экономике. М.: Наука, 1983, 240с.
11. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 675 с.
12. Ходжкин А. Нервный импульс. М.: Наука, 1966. 125 с.
13. Гулько Ф.Б., Коган Б.Я., Райскина М.Е. О возможном применении вычислительных машин для изучения механизмов развития заболевания. - Автоматика и телемеханика, 1967, т. 8, с.104-115.
14. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных сиотемах. М.: Мир, 1979. 490 с.
15. Айберал А.С., Мак-Каллок У.С. Гомеокинез - организационный принцип сложных живых систем. - В кн.: Общие проблемы физиологических механизмов. М.: Наука, 1971, с.55-78.
16. Гаджиев М.Ю., Чернышев М.К. Системный подход к анализу координированных взаимодействий в многоуровневых живых объектах. - В кн.: Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосиотем. М.: Наука, 1976, с.73-87.
17. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории уравления. М.: Наука, 1970. 620 с.
18. Дартау А.А. Понятие "Состояние системы" при математическом моделировании организма. - В кн.: Методы биокибернетического анализа функционального соотояния спортсменов подростков. М.: Ин-т гигиены детей и подростков, 1977, с.41-54.
19. Ковальчук А.В., Чернышев М.К. Многодневные биоритмы физиологических процессов и некоторые вопросы связи организма человека с динамикой изменений внешней среды. - В кн.: Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации функций в живом организме. М.: Наука, 1976, с.112-120.
20. Баевский Р.М., Бондарчук В.И., Чернышев М.К. Временная организация ритма сердца в эволюционном аспекте. - В кн.: Сравнительная электрокардиология. Л.: Наука, 1981, с.204-207.
21. Баевский Р.М. Прогнозирование на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979. 295 с.
22. Чернышев М.К. Применения комплекса вычислительных методов для анализа волновых структур физислогических процессов. - В кн.: Физиологическая кибернетика. М.: Наука, 1981, с.328-330.
23. Гудвин Б. Временная организация клетки. М.: Мир, 1966. 251 о.

3. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И РЕАКЦИЙ ЖИВЫХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

3.I. Изменение электрического поля атмосферы как возможный предвестник землетрясений

Одним из грозных и разрушительных явлений природы на нашей планете является землетрясение, которое предотавляет собой сложный геофизический процесс, характеризующийся (наряду с мощными определяющими механическими факторами) электрическими, тепловыми, акуотическими и другими эффектами. В течение длительного времени в больших объемах пород накапливается огромный запас потенциальной энергии, которая в процессе развития землетряоения трансформируется в разные виды энергии и выделяется из очага при значительных мощностях. Закономерности, известные из физики твердого тела, приводят к выводу, что в дефектных ионных, кристаллических структурах возможны преобраэования механической энергии в электрическую, накопление свободных зарядов и возникновение высоких ЭП. В лабораторных условиях [I] на поверхности стенок трещины, образовавшейся при механическом нагружении или неравнсмерном нагревании твердого диэлектрика, наблюдается возникновение электрического заряда высокой плотнссти, а в образцах щелочно-галоидных кристаллов, подвергнутых пластическому деформированию, зарегистрированы ЭП напряженностью до 3 кВ/см. Сейсмическим процессам в очаге напряжения могут предшествовать различные электрические явления в земной коре и атмосфере. При большой механичеокой энергии в горных породах в районе будущего очага землетрясения наблюдаетоя свечение атмосферы [2-4], изменение ГМП [5,6], повышение напряженности электротеллурического [6,7] и атмосферно-электричеокого полей [6,8,9].

С целью исследования эффекта влияния сейсмических процессов на атмосферно-электрические поля в I977 г. в сейсмически активном районе Дагестанской АССР вблизи Чиркейского водохранилища были начаты непрерывные наблюдения за электрическим состоянием атмосферы. При этом были зарегистрированы изменения ЭП, отличные от изменений поля, которые наблюдались в средних ширстах [I0,II], с амплитудами, превышающими нормальные значения (в среднем I00 $\pm$ 40 В/м) в данных метеорологических условиях в несколько раз. Для надежности измерений электрических характеристик атмосферы были установлены три прибора разного типа:

I) динамический полемер [II], предназначенный для измерения вертикальной составляющей электрического поля атмосферы,

2) измеритель плотности вертикального тока атмосферы, антенна которого представляла собой металлическую оетку площадью I0 м^2, установленную на 0,5 м над поверхностью земли,

3) коллектор с использованием радиоактивного источника (α-излучения), измеряющий атмосферный потенциал относительно земли в точке его установки.

По выбранной методике наблюдений датчики соответствующих приборов,

реагирующие на изменение электрического состояния окружающей среды,устанавливалиоь как рядом, так и в удалении на некоторое расстояние (до 200 м).

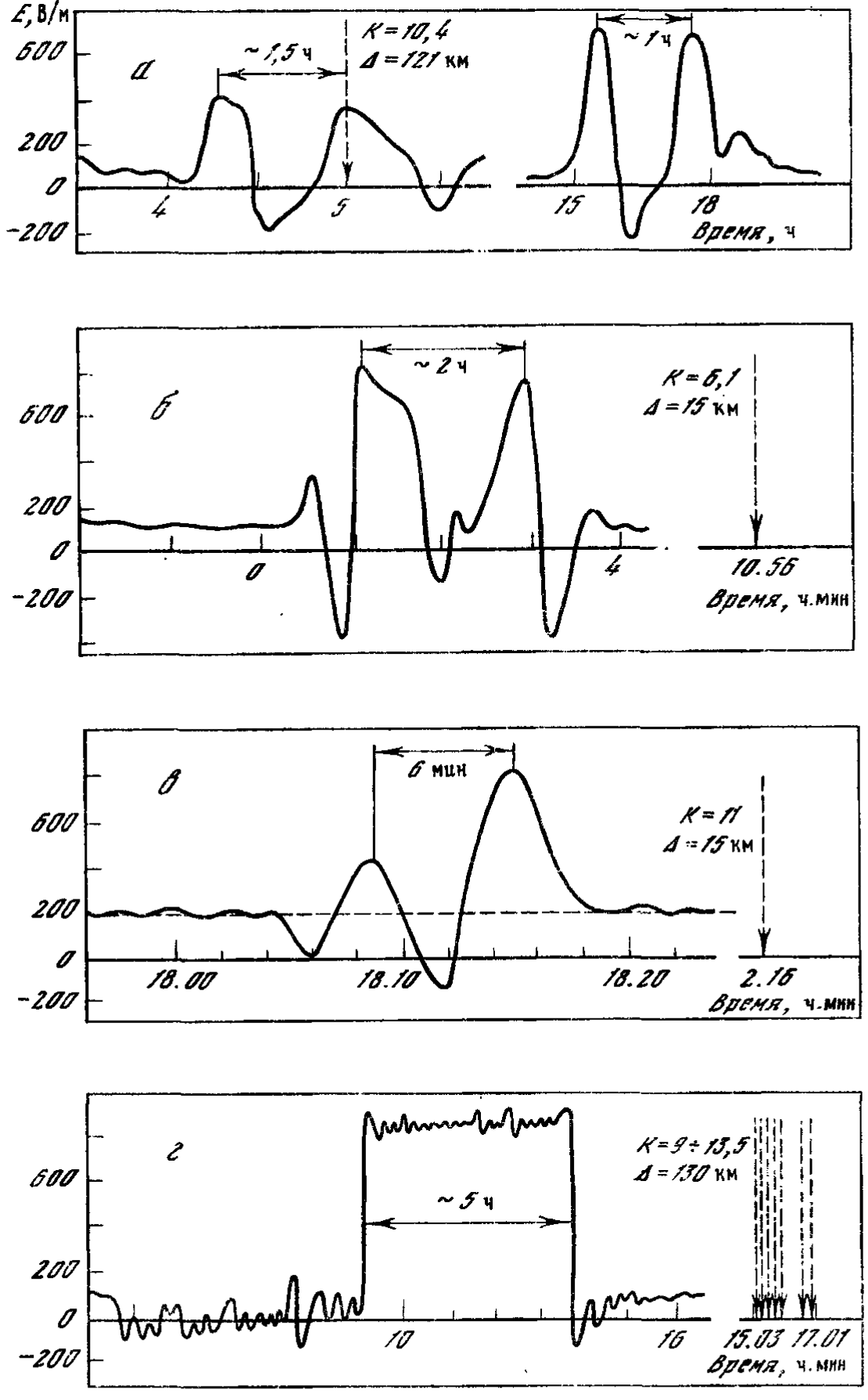
Рис. 8С иллюстрирует два типа наблюдаемых возмущений ЭП при устойчивой метеорологической обстановке во время измерений. Возмущения ЭП проявляются в диапазонах длиннопериодных (несколько часов, рис. 80а,б) и короткопериодных (несколько минут, рис. 80.в,г) колебаний. На этом же рисунке стрелками условно обозначены моменты возникновения сейсмических толчков в районе наблюдений с указанием энергетического класса К и эпицентрального раостояния Δ . Отличительной особенностью наблюдаемых изменений ЭП в данном сейсмическом районе в период подготовки землетрясения являются внезапные возмущения ЭП с крутым фронтом нарастания до высоких значений напряженности (800 В/м)и последующим резким спадом со сменой знака поля на отрицательный и периодами возмущений от нескольких минут до нескольких чассв. Наблюдаемые изменения ЭП появлялись как за несколько часов до моментов возникновения сейсмичеоких толчков, так и после них, что дает основание для предположения о возможной качественной связи между близкими землетрясениями (в радиусе ~ I00 км) и структурой ЭП атмосферы.

Вертикальные составляющие ЭП и тока наблюдаются также и в земной коре [I2,I3]. В Ташкенте в скважине, пробуренной в эпицентре, в продолжение всего срока длившегося землетрясения регистрировали наличие высоких ЭП и разрядов в изоляции кабелей, опущенных в скважину [4].

Подготовка землетрясения сопровождается также повышением напряженности импульсного ЭМП (ИЭМП), увеличением скорости счета импульсов на частотах I2-I50 кГц, лежащих за пределами максимальной амплитуды атмосфериков 6-8 кГц.

В июле I97I г.в районе аномалии ЭП на геологическом разломе в долине реки Катуль около пос. Майма Горно-Алтайской области были проведены синхронные измерения квазиотационарных электротеллурических полей (ЭТП) и скорости счета ИЭМП. В I974-I975 гг. на частоте I2 кГц проведены синхронные измерения ЭТП и ИЭМП на берегу соленого озера Шира в Хакаоии [I4,I5]. Наблюдается параллельное изменение напряженности ЭТП и ИЭМП и удовлетворительное совпадение положения их вечерних и утренних минимумов. Нарастание скорости счета импульсов начинается тем раньше, чем больше энергия предстоящего землетрясения. Установлено, что за сутки до сильного землетрясения скорость счета импульсов проходит через минимум, затем достигает максимума. Землетрясение о интенсивностью больше 5 баллов наотупает после прохождения максимума скорости счета ИЭМП. Перед землетряоением смещается начальная фаза ооновной оолнечно-суточной гармоники полного колебания ИЭМП.

Сложное изменение амплитуды ИЭМП, включающее медленное нарастание, прохождение через минимум и максимум, изменение периода солнечно-суточного колебания Т=24 ч и смещение начальной фазы - таковы прогностичеокие признаки предстоящего землетрясения по наблюдениям ИЭМП.



Р и с. 80. Характерные аномалии электрического поля атмосферы в периоды сейсмической активности

а,б – длиннопериодные возмущения ЭП 18.IX и 25.IX.77 г.соответственно; в – короткопериодные возмущения ЭП на фоне спокойного поля напряженностью 200 В/м 17–18.XII.77 г.; г – продолжительное возмущение ЭП на фоне короткопериодных вариаций 15.XII.77 г.

Учитывая, что в зоне очага будущего землетрясения часть накопленной энергии перед землетрясением различными путями преобразуется в энергию электроотатического поля, можно сделать предположение, что на противоположных поверхностях геологического разлома выступают разноименные электрические заряды, между которыми возникают сильные ЭП. Их действие может наблюдаться и на поверхности Земли. Когда напряженность поля достигает значения электрической прочности среды, то происходит разряд и возникает плазма, в которой протекают процессы образования или распада химических соединений. При накоплении большого заряда возможно образование мощного искрового электрического разряда, взрывное действие которого вызывает сейсмические явления. По указанным причинам в рассматриваемом случае сейсмическим процессам могут предшествовать различные электромагнитные явления, в частности характерные аномалии ЭП атмосферы в условиях хорошей погоды, которые, по-видимому, не связаны ни с атмосферными, ни с космическими факторами. Можно предположить внутриземную природу этих аномалий, принимая их за один из многих предвестников землетрясений.

Литература

I. Stepanow A.W. Über den mechanismus der plastischen deformation. - Phys. Ztschr. Sowjetunion, 1934, Bd. 5, H. 1, S. 706-713.
2. Ходжсон Дж. Землетрясения и строение Земли. М.: Мир, I966. I93 с.
3. Уломов В.И. Внимание! Землетрясение! Ташкент: Фан, I97I, с.I5-I9.
4. Церфас К.Э. Явления атмосферного электричества, предшествующие землетрясениям. - В кн.: Ташкентское землетрясение 26 апреля I966 г. Ташкент: Фан , I974, с.I84.
5. Воробьев А.А. Физические условия залегания глубинного вещества и сейсмические явления. Томск.: Изд-во ТГУ, I974. Ч.I,2. 306 с.
6. Соболев Г.А., Морозов В.Н., Мигунов Н.И. Электротеллурическое поле и сильное землетрясение на Камчатке. - Изв. АН СССР. Физика Земли, I972, №2, с.73-8I.
7. Барсуков О.М., Сорокин О.Н. Изменение кажущегося сопротивления горных пород в Гармском сейсмоактивном районе. - Там же, I973, № I0, с.I00-I03.
8. Предсказание землетрясений: Сб. ст. М.: Мир, I968. 2I3 с.
9. Датченкс Э.А., Уломов В.И., Чернышева С.П. Аномалии электронной плотности ионосферы как возможный предвестник Ташкентского землетрясения. - Докл. АН УзССР, I972, № I2, с.30-32.
I0. Красногорская Н.В., Ремизов В.П. О некоторых результатах измерения вариаций электрического поля Земли. - Докл. ДАН СССР, I973, т.2I2, № 2, с.345-349.
II. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, I972. 323 с.
I2. Краев А.П. Основы геоэлектрики. Л.: Недра, I965. 587 с.

I3. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л.: Недра, I968. 380 с.

I4. Мусаев И.А. Регистрация потенциалов собственной поляризации в скважине, связанных с землетрясением, и природа естественного электрического поля Земли.-Докл.АН СССР,I977,т.236, №5,с.II02-II04.

I5. Воробьев А.А. Физические условия залегания и свойства глубинного вещества. Томск: Изд-во ТГУ, I975. 298 с.

3.2. Живые системы на службе прогноза землетрясений

Разработка проблемы биологического прогноза стихийных бедствий основана на том предположении, что в экстремальных условиях, характеризующихся большими временными градиентами, органическая и неорганическая природа находятся в неравновесном состоянии, и потому происходящие в них процессы подчиняются общим законам неравновесных систем (когда сравнительно малыми силами можно достичь значительных эффектов). Кроме того, именно в период стихийных бедствий (грозы, землетрясения, цунами и т.д.) факторы внешней среды претерпевают резкие кратковременные изменения, часто выходящие за рамки возможностей систем адаптации животных и человека, что, вполне естественно, может вызвать "аномальные" реакции.

Предполагается, что экспериментальные исследования поведения живых систем в период подготовки и развития землетрясений (одновременно с оценкой характерных изменений факторов внешней среды) могут послужить исходным материалом для установления общих закономерностей развития взаимообусловленных событий в экстремальных условиях.

Процессы жизнедеятельности, как известно, подчиняются общим физико-химическим законам, и характер их проявления определяется как свойствами самой системы, так и свойствами окружающей среды. В условиях относительного постоянства внешней среды все живые объекты (и только они) несмотря на отсутствие внешних воздействий способны изменять свое состояние. Освобождающаяся при этом энергия может проявляться в различных формах в виде механической, тепловой, электрической. Таким образом, работа живых систем при любых внешних условиях направлена против равновесия, которое должно было бы наступить при заданных условиях внешней среды и заданном начальном состоянии системы. В отличие от неживой природы неравновесное состояние живых систем сохраняется постоянно, т.е. обладает всеми признаками устойчивости. Изложенные утверждения были положены Э.Бауэром [I] в основу сформулированного им общебиологического принципа "устойчивого неравновесия" (более подробно об этом см. т.2, гл.I, п.I.I).

Возникает вопрос: существуют ли такие состояния в неорганической природе, когда ее "поведение" близко по характеру к жизнедеятельности живых систем?

Полевые и лабораторные эксперименты по разрушению образцов горных пород показывают, что процесс образования разрыва сплошности сред, проявляющийся в больших масштабах как землетрясение, обусловлен ростом и взаимодействием трещин [2], в результате чего в зоне подготовки землетрясения изменяется временной и пространственный ход многих геофизических полей, в том числе и электромагнитных. При достижении определенной концентрации трещин, когда среднее расстояние между ними уменьшается до некоторого порогового уровня, число их и размеры лавинно нарастают. Узкая зона, которая характеризуется повышенной концентрацией трещин, представляет собой поверхность будущего разрыва (землетрясения), развивающегося при разрушении перемычек между большими трещинами [2,3]. Отсюда следует, что процесс подготовки землетрясений характеризуется появлением определенной степени упорядоченности системы трещин, т.е. происходит уменьшение энтропии.

Таким образом, очаг подготовки землетрясения на определенном этапе представляет собой самоорганизующуюся неравновесную систему трещин. В периоды неравновесного состояния и проявляются долгосрочные (месяцы и годы) и краткоорочные (часы и дни) предвестники землетрясений [4]. По-видимому, процессы подготовки и развития землетрясений протекают в основном за счет внутренней энергии Земли. Именно в период землетрясения освобождающаяся свободная энергия Земли проявляется в других ее формах, и "жизнь" неорганической природы нашей планеты протекает как бы по общим законам неравновесных систем с той существенной разницей, что для живых систем состояние неравновесия устойчиво, а для неживой природы – ограничено коротким периодом, после которого снова наступает состояние динамического равновесия.

Большие градиенты изменения высоких механических и электрических напряжений, сопровождающих землетрясения, могут в ряде случаев превышать адаптационные возможности живых систем. В подобных ситуациях у животных могут возникнуть необычные, но характерные реакции, изучение которых может быть положено в основу проблемы биологического прогноза стихийных бедствий, в том числе и землетрясений. Можно ожидать, что в этот период информационные связи между неравновесной системой очага землетрясения и находящимися в состоянии устойчивого неравновесия живыми системами резко возрастут.

Таким образом, в период подготовки землетрясений реакции живых систем непосредственно связаны с изменением физико-химических условий окружающей среды. Поэтому прежде чем перейти к изложению состояния вопроса о поведении животных в этот период, рассмотрим некоторые известные в литературе геофизические условия, предшествующие наступлению землетрясения – микросейомическая активность, акустические колебания, электрические и магнитные поля, выделение газов из почвы, изменения в концентрации ионов воздуха, теллурические токи (особенно для гидробионтов живущих в проводящих водных средах и воспринимающих особые изменения электротоков).

Известно значительное число фактов, подтверждающих существование связи между землетрясениями и вариациями ГМП [5-15]. Обнаруженные изменения МП перед землетрясениями, как правило, весьма малы: 1-10 , редко 15 нТл с небольшим градиентом изменения. Однако зарегистрированы также эффекты резкого изменения МП со сравнительно большой амплитудой. Например, перед Аляскинским землетрясением 1964 г. возмущение составило 100нТл с резким подъемом за 5 мин до толчка [12]. Наблюдаются также слабые колебания МП в период землетрясений. Величина эффекта 0,5-1 нТл, частота колебаний 10 Гц [14]. Установлена некоторая связь между временем появления предвестника и энергетическим классом землетрясения [15]. Следует, однако, отметить, что из-за небольшого уровня изменения сигнала (единицы нанотесл) информация о поведении МП перед землетрясениями не является устойчивой, поскольку ее трудно выделить на уровне помех.

Известны попытки моделирования влияния МП на живые системы. Однако, как правило, в этих исследованиях используются значительно более сильные поля, чем указанные выше. В качестве исключения можно отметить работу [16], где в опытах на кроликах исследовались изменения в системе кровообращения под воздействием МП частотой 8 Гц, интенсивностью 0,02-2 нТл. По данным [17], животные могут чувствовать изменения МП менее 100 нТл и, возможно, менее 10 нТл.

Интересны данные о возмущениях атмосферно-электрического поля, появляющихся перед землетрясениями (см. п.3.1 наст. гл.). Эти возмущения, как правило, характеризуются резким ростом напряженности поля. Сведения об аномальном поведении животных часто появляются вместе со сведениями о свечении атмосферы вблизи эпицентра [18], что может быть следствием наличия высоких ЭП. Свечение атмосферы и аномалии в поведении животных наблюдались [19,20] в 1977 г. перед Карпатским землетрясением - зарегистрировано повышенное число разрядов в атмосфере с частотой 0,5 - 50 кГц и напряженностью вертикальной компоненты до 3 В/м, причем направление поступления сигналов соответствовало направлению на эпицентр землетрясения. (Расстояние от точки наблюдения до эпицентра - 300 км.)

Имеются сообщения [21] об аномальном нарастании интенсивности ИЭМП с частотой 10-25 кГц за три и более часов до землетрясения. За время наблюдений был отмечен случай аномального увеличения интенсивности ИЭМП перед Газлийским землетрясением (8.IV 1976 г., M=7, расстояние от эпицентра 700 км) [22].

Американские ученые [23] измеряли возмущения атмосферно-электрического поля вдоль разлома Сан-Андреас перед небольшими землетрясениями (M= 3÷4) и сравнивали с атмосферриками во время грозы. Отмечена некоторая аналогия поведения животных перед землетрясениями и при грозах. Оказалось, что вариации атмосферно-электрических полей перед землетрясениями (за 3-24 ч до толчка) сходны с вариациями электрического поля в период грозы. Предел изменений поля до $\pm$ 1000 В/м.

В 1965-1967 гг. во время Мацуширского роя землетрясений были выде-

лены дневные вариации атмосферного ЭП и вариации, овязанные с землетрясениями [24]. Амплитуда пульсаций ЭП, появляющихся за несколько часов до толчка, в среднем составляла 10-20% от нормального уровня, но отмечены и 100%-ные изменения атмосферно-электрического поля. За время Мацуширского роя землетрясений было зарегистрировано 34 случая свечения атмосферы продолжительностью несколько десятков секунд в основном в форме соприкасавшейся с земной поверхностью полусферы диаметром от нескольких десятков до нескольких сотен метров [25].

Исследования особенностей поведенческих реакций животных в сейсмоактивных районах ведется, с одной стороны, путем организации массовых наблюдений за животными за счет мобилизации добровольцев среди населения (Китай), с другой - посредством наблюдений за поведенческими реакциями животных в лабораторных условиях (США).

На основе длительных наблюдений Геологическим бюро в Китае составлены и распространены среди населения методические указания, в которых описаны типы аномальных реакций животных перед землетрясениями (биопредвестники). С 1969 г. четыре китайских землетрясения предсказаны на основании наблюдения за аномалиями в поведении животных [26]. Наиболее успешно биопредвестники использованы в предсказании землетрясений в Хайчене (провинция Лаонинг) 4.II 1975 г. (с магнитудой $M \approx 7{,}3$). Долгосрочный прогноз был впервые опубликован в 1970 г. и основывался на геофизических данных об увеличении региональной сейсмичнооти и изменениях уровня грунта. На основе этих работ в июне 1974 г. было предсказано землятрясение с $M = 5 \div 6$, которое должно произойти в течение 1-2 лет. Первые сообщения о систематических аномалиях в поведении животных были получены в середине декабря 1974 г., примерно за 1,5 месяца до толчка: змеи выползали из нор и замерзали на поверхности грунта (факт, обративший на себя внимание населения, так как в это время змеи находятся в спячке); крысы собирались в группы и были так возбуждены, что не боялись людей. Случаи аномального поведения животных наблюдались на территории около 250 км в диаметре, считая от эпицентра. 22 декабря произошел форшок с $M = 4{,}8$ (эпицентр в 70 км от Хайчена). Одновременно приходили сообщения об изменении уровня воды в скважинах, аномалиях в уровнях грунта. За несколько дней до землетрясения появилиоь аномалии в поведении рыб, птиц, домашних животных. В первые дни февраля (за 1-2 дня до толчка) случаи аномального поведения животных резко участились. По совокупности данных землетрясение было предсказано за несколько часов до толчка [26,27].

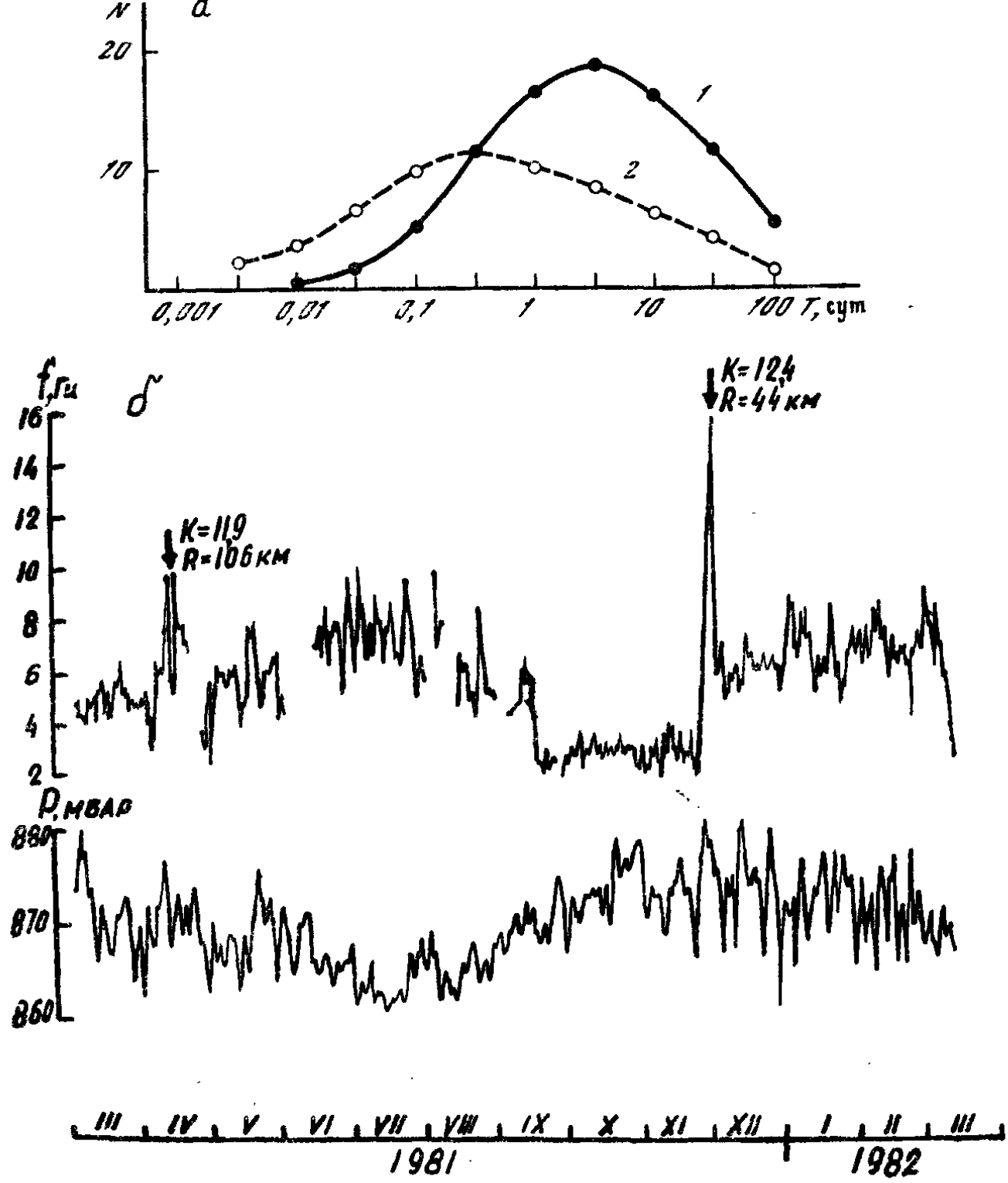
Успешные предсказания землетрясений на основании биопредвестников привлекли внимание исследователей к этой проблеме. Появились новые обобщающие работы. Так, в работе Рикитаки [27] проанализировано 157 случаев аномального поведения животных перед землетрясениями (90 из них приходитоя на рыб, 27-на птиц, 29-на млекопитающих и 11-на рептилий и насекомых). Проведены конкретные наблюдения с указанием ма-

гнитуды землетрясений, времени появления предвестника (от нескольких минут до нескольких месяцев), расстояния от точки наблюдения до эпицентра и характера реакции животного.

Среднее время появления биопредвестников, полученное путем математической обработки всех данных, - 0,4 дня. Расстояние от эпицентра, на котором обнаруживались биопредвестники, как правило, не превышало 300 км (для рыб расстояние иногда достигало 600-700 км). Из данных работы [28] следует, что животные реагируют на сильные землетрясения (в основном M~6), а рыбы чувствуют землетрясения раньше, чем сухопутные животные (рис.8Iа). Осредненные зависимости числа биопредвеотников для обитателей водоемов смещены вправо относительно макоимума для сухопутных животных, т.е. водные обитатели в среднем более заблаговременно чувствуют землетряоения.

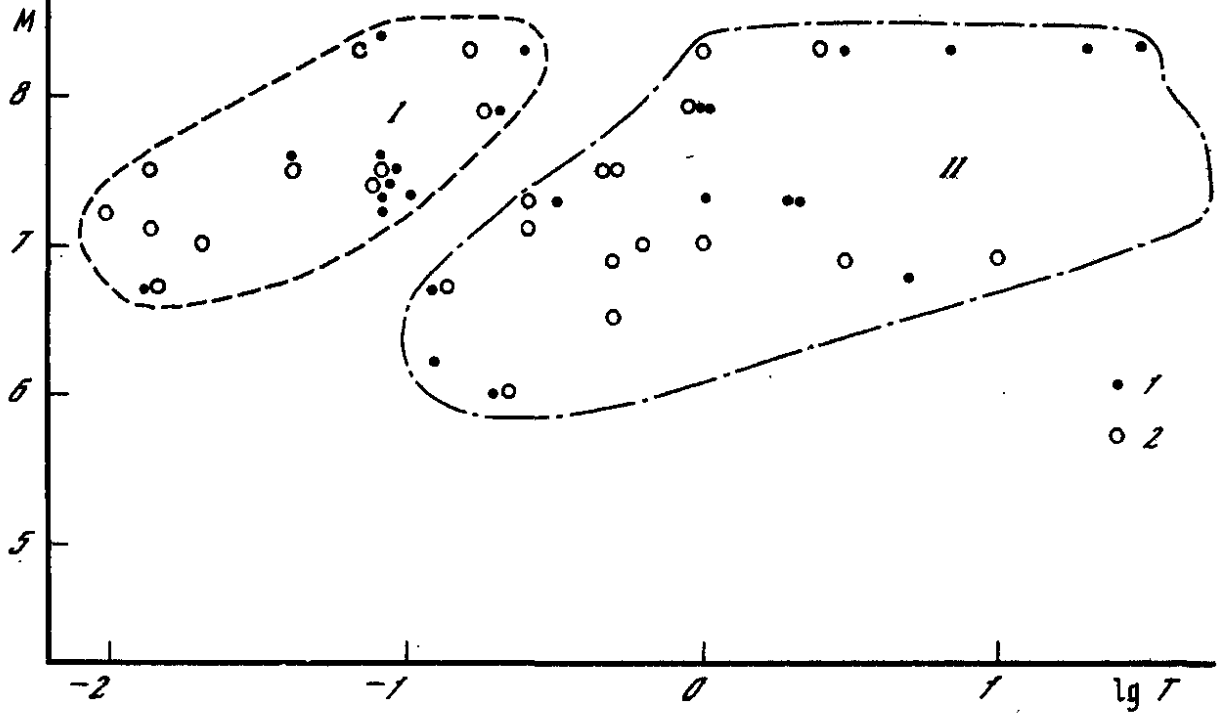
Как известно, восприятие рыбами окружающего мира обладает некоторыми особенностями: развитой хеморецепцией, высокой чувствительностью к электромагнитным полям, уникальной чувствительностью к механическим колебаниям воды. Эти особенности восприятия активно используются ими в процессе жизнедеятельности и отражаются на их поведении. Ряд рыб обладает способностью генерировать электромагнитные поля значительной величины. Нильские слоники (Gnathonemus petersii) не только генерируют ЭМП, но и реагируют на внешние воздейотвия изменением своей электрической активности.

В лаборатории проблем ориентации рыб Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР предпринята попытка оценить возможность использования нильского слоника в качестве индикатора изменения условий, предшествующих землетрясению. Ранее было установлено [29], что при постоянном уровне внешних раздражителей (температура, освещенность и акустический шум) средняя частота генерируемых рыбой импульсов определяется циркадным ритмом, при этом электрическая активность слоника осущественно зависит от внешних электромагнитных полей органического и неорганического происхождения. Например, число генерируемых рыбой электромагнитных импульоов менялось в зависимости от работы технических установок в лабораторных условиях, экранирование биообъекта от электромагнитных полей ослабляло эффект от внешнего воздействия. Эти результаты подтверждают данные работы [30] и согласуются с параметрами электромагнитных возмущений в период землетрясения [3I]. Чувствительность слоника к электромагнитным полям колеблется в диапазоне от единиц герц до десятков килогерц при минимальных напряженностях 50 мкВ/см, при этом наблюдалось закономерное изменение электрической активности нильского слоника при механических, звуковых, электромагнитных воздействиях [30]. Непрерывные инструментальные наблюдения за вариациями электрической активноотн слоника проводились на Гармском геофизическом полигоне Инотитута физики земли АН СССР в Таджикской ССР при помощи прибора видимой записи типа РВЗ-Т (коэффициент деления импульсов I:36).



Р и с. 8I. Зависимость числа N биопредвестников от времени их появления относительно начала землетрясения для обитателей водной (I) и воздушной (2) сред (а) и корреляция среднесуточной частоты f импульсов слоника с атмосферным давлением Р на сейсмостанции "Гарм" (б) (стрелками указаны моменты землетрясений, К- энергетические классы землетрясений, R- расстояние до эпицентра)

На рис.8I,б приведен пример ореднеоуточной частоты импульсов рыбы в сопоставлении о характером изменения этмосферного давления. Прослеживается корреляция атмосферного давления и импульсной активности слоника. Наиболее интересной особенноотью графика является аномальный пик в конце ноября I98Iп, зарегистрированный за четыре дня до на-



Р и с. 82. Распределение времен T появления биопредвестников до начала землетрясения различной магнитуды М

1 - млекопитающие, 2 - птицы; I,II - группы краткосточных и среднесрочных предвестников соответственно

чала землетрясения и достигший максимума в момент землетрясения. Эти предварительные данные послужили основанием для продолжения долговременных наблюдений и расширения зон наблюдений - в настоящее время работы с нильскими слониками ведутся на сейсмостанциях "Гарм" и "Ереван".

Следует отметить, что большинство видов рыб не обладает повышенной электрической активностью, но тем не менее представляет интерес в качестве биоиндикаторов благодаря индивидуальным особенностям и наборам сенсорных систем. Для проведения работ практически с любыми пресноводными видами рыб в лаборатории проблем ориентации рыб ИЭМЭЖ АН СССР разработана методика, позволяющая проводить долговременную регистрацию двигательной активности рыб в лабораторных бассейнах. Метод основан на ближней телеметрии сигналов специально сконструированного датчика, которые воспринимаются при помощи пары электродов, помещенных в воду. Регистрируемый сигнал полностью отражает характер двигательной активности рыбы (медленные перемещения, дыхательные движения и т.п.). Усиленные сигналы записываются на бумажную ленту или переводятся в импульсную форму и регистрируются счетчиком импульсов. В последнем случае критерием двигательной активности является число импульсов в единицу времени. В настоящее время разработанная аппаратура установлена для проведения длительных наблюдений за двигательной активностью рыб на сейсмостанциях "Кишинев", "Ашхабад", "Ереван". Проводятся лабораторные исследования по корреляции двигательной активности рыб с искуственно заданными внешними воздействиями; предварительные результаты экспериментов на некоторых видах рыб (вьюновые

Таблица 22.

Разделение биспредвестников землетрясений на две группы

Время появления биопредвестников	Магнитуда землетрясений	Разновидности млекопитающих	Разновидности птиц
		Группа I	
0,25–0,5 ч	7,I	Рогатый скот, собаки	Голуби, птицы, содержащиеся в клетках, аисты
I ч	7,55	Собаки	Домашние птицы
2–2,5 ч	7,8	Лошади, собаки, крысы, рогатый скот, животные в зоопарке, свиньи	Чайки, вороны, лебеди в зоопарке
4–6 ч	8,I	Собаки	Домашние птицы
		Группа II	
3 ч	6,45	Олени, кошки, мыши, обезьяны, крысы	Домашние птицы
5–8 ч	6,65	Собаки, животные в зоопарке, олени	Птицы в зоопарке, домашние птицы, вороны
I2–I5 ч	6,9	–	Птицы
I сут	7,65	Крысы, кошки, рогатый скот,	Воробьи, фазаны, голуби, чайки
2–3 сут	7,6	Свиньи, крысы, кошки	Воробьи, фазаны, коршуны
5–I0 сут	7,55	Крысы	Домашние птицы
I–I,5 мес	7,8	Крысы	–

и карповые) показали пригодность метода для длительной регистрации поведения рыб в уловиях геофизических полигонов.

На рис.82 изображена зависимость от магнитуды землетрясения времён появления предвестников для птиц и млекопитающих. Генеральная совокупность графически разделяется на две группы, представленные в табл. 22. Из анализа данных таблицы и рис.82, оледует, что при наблюдениях за млекопитающими и птицами намечается разделение биопредвестников на краткосрочные предвестники (группа I, время опережения от нескольких минут до 6 часов) и среднесрочные предвестники (группа II, время опережения от 3ч до I,5 месяцев), которое носит неслучайный характер. В группы статистичеоки эакономерно объединяются биопредвестники разных категорий животных. В группу I входят млекопитающие (8I% - ссбаки, рогатый скот, лсшади, I9% - остальные животные) и птицы (45% домашние птицы (куры, утки и т.п.), а 55% - дикие птицы). В группу II также входят животные (9I% - животные, в числе которых преобладают дикие, и 9% - домашние: собаки, рогатый скот, лошади) и птицы (I9% - домашние, 8I% - дикие). Лошади, рогатый скот, собаки, как правило, "предчувствуют" землетрясение не более, чем за 6 ч. Дикие и часть домашних животных (ксшки, свиньи) предчувствуют землетрясения в орединем за более длительный срок, изменяющийся от 3 ч до I,5 мео. Отчетливо проявляется тенденция увеличения времени опережения биопредвестников при переходе от домашних к диким животным. Чем больше магнитуда землетрясения, тем длительнее опережение.

В пооледние годы появились работы пс выяонению механизмов аномального пведения животных перед землетрясениями. Подтвердилась, в частности, важная роль нервной оистемы в характере реакций птиц на изменение внешней среды. Интересно сообщение об экспериментах, проводимых оо I00 голубями, у 50 из которых нерв в ноге был отъединен от ЦНС. Наблюдалось, что перед слабым землетрясениями здсровые голуби проявляли беспокойство и взлетали, а птицы с изолированными нервами вели себя как обычно.

Итак,многочисленный экспериментальный материал о реакциях животных на экстремальные внешние воздействия овидетельствует о том, что биопредвестники могут являться дополнительным фактором, который следует учитывать в решении актуальной комплексной проблемы прогноза землетрясений. К настоящему времени накопленс большое чиоло эмпирических фактов, позволяющих отавить вопрос о целесообразности проведения в Советском Союзе модельных экспериментов по выяснению влиячия изменений геофизических полей, обусловленных процессами подготовки землетрясений, на поведение животных.

Литература

I. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.; Л.: ВИЭМ, I935. 205 с.
2. Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. Основы физики очага и предвестники землетрясений. - В кн.; Физика очага землетрясений. М.: Наука, I975, с.6–27.

3. Мячкин В.И. Процессы подготовки землетрясений. М.: Наука,1978.232 с.
4. Рикитаки Т. Предсказание землетрясений, М.: Мир, 1979. 388 с.
5. Abdullabekov K.N., Bezuglaya L.S., Golovkov V.P., Skovorodkin Yu.P. On the possibility of using magnetic methods to study tectonic processes. - Tectonophysics, 1972, vol. 13, N 3/4, p. 257-262.
6. Breiner S. Piesomagnetic effect of the time of local Earthquakes.- Nature, 1964, vol. 202, N 4934, p. 790-791.
7. Бернштейн В.А. Линейный пьезомагнитный эффект в другой среде.-Докл. АН СССР, 1973, т.213, № 4, с.833-836.
8. Breinar S., Kovach L. Local magnetic effect associated with displacement along the Andreas fault. - Tectonophysics, 1968, vol.6, N 1, p. 69-73.
9. Сковородкин Ю.П. Магнитные исследования в эпицентральной зоне.-В кн.: Магнетизм горных пород и палеомагнетизм. М.: ИФЗ АН СССР, 1969, с.47-48.
10. Голсвков В.П. Аномальные изменения геомагнитного поля в сейсмоактивном районе. - Геомагнетизм и аэрономия, 1969, т.9, № 6,с.1123-1124.
11. Катс И. Изменения геомагнитного поля, сопровождающие землетрясения. - В кн.: Предсказания землетрясений. М.: Мир, 1968, с.136-137.
12. Moore G.M. Magnetic disturbance preceeding the 1964 Alaska Earthquake. - Nature, 1964, vol. 203, N 4944, p. 508-509.
13. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х. Вариации геомагнитного поля, связанные с упругими напряжениями в земной коре сейсмоактивных районов.Ташкент: Фан, 1975. 128 с.
14. Соболев Г.А., Белов С.В., Мигунов Н.И. Магнитные эффекты, сопровождающие сильные землетрясения на Камчатке. - Геомагнетизм и аэрономия, 1974, т.14, № 2, с.380-382.
15. Зубков С.И., Мигунов Н.И. О времени возникновения электромагнитных предвестников землетрясений. - Там же, 1975, т.15, № 6,с.1070-1074.
16. Темурьянц Н.А. Влияние магнитных полей сверхнизкой частоты и малой напряженности на лейкоциты периферической крови. - В кн.: Реакция биологических систем на слабые поля. М.:Изд-во АН СССР,1971,с.43-45.
17. Keeton W.T. Responces of animals to magnetic stimuli. - In: Conf. I Abnormal Animal Behav. Prior to Earthquakes. Menlo Park (Cal.), 1976, p. 157-175.
18. Darr J.S. Earthquakes lights: A review of observations and present theories. - Bull. Ssismol. Soc. Amer., 1973, vol. 63, N 6, p. 2177-2187.
19. Hedervari P. Earthquakes in Romania Berita Direct Geologi. - Geosurvey Newslatter, 1977, vol. 9, N 23, p. 821-833.
20. Садовский М.А., Соболев Г.А. Мигунов Н.И. Изменение естественного излучения радиоволн при сильном землетрясении в Карпатах.- Докл. АН СССР, 1979, т.244, № 2, с.316-319.
21. Султанходжаев А.Н., Азизов Г.Ю., Закиров Т. и др. Гидрогеосейсмо-

логические исследования в Восточной Фергане. Ташкент: Фан, 1978, с.177-184.
22. Bufe C., Nanevicz J. Atmospheric electric field observations animal behaviour and earthquakes. - In: Conf. I Abnormal Animal Behav. prior to Earthquakes. Menlo Park (Cal.), 1976, p. 95-106.
23. Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Аронов Е.Л. - О высокочастотном электромагнитном излучении при сейсмической активности. - Докл.АН СССР, 1979, т.248, № 5, с.1077-1081.
24. Derr J.S. Earthquakes lights. - Earthquake Inform. Bull., 1977, vol. 9, N 3, p. 18-21.
25. Lee W.H.K., Ando Mkautz W.H. Supplementary materials to a summary of the literature of unusual animal behaviour prior to earthquakes. Menlo Park (Cal.), 1976, p. 295-321.
26. Allen C.R. The role of animal behaviour in the chinese earthquake-prediction program. - In: Conf. I Abnormal Behav. Prior to Earthquakes. Menlo Park (Cal.), 1976, p. 7-9.
27. Rikitake T. Biosystem behaviour as an earthquake precursor.- Tectonophysics, 1978, N 1/2, p. 1-20.
28. Lee W.H.K., Ando MKautz W.H. A summary of the literature of unusual animal behaviour prior to earthquakes. - In: Conference I Abnormal Animal Behavior Prior to Earthquakes. Menlo Park (Cal.), 1976, p. 15-83.
29. Протасов В.Р., Барон В.Д., Дружкин Л.А., Чистякова О.Ю. Нильский слоник (Gnathonemus petersii) - индикатор внешних воздействий. - ДАН СССР, 1981, т. 260, №1, с.248-251.
30. Harder H., Schief A., Uplemann H. Zur Empfindlichkeit des schwachelektrischen Fische Gnathonemus petersii gegenuber elektrichen Feldern. - Zeitsch. vergl. Physiol., 1967, 54, N 1, S. 89-108.
31. Электромагнитные предвестники землетрясений. М: Наука, 1982. 88 с.

3.3. Роль электромагнитного поля в изучении внутреннего строения Земли и методы интерпретации электромагнитных аномалий

Вариации естественного электромагнитного поля Земли, обусловленные процессами, происходящими в верхних слоях атмосферы, позволяют получить важную информацию о распределении электропроводности внутри Земли, которая отражает геотермическое и геохимическое состояние земных недр. Большинство методов изучения электрической проводимости Земли основано на явлении электромагнитной индукции. Первичные источники вариаций ЭМП, представляющие собой вихревые токовые системы, локализованные в ионосфере, индуцируют в проводящей Земле вторичные токи, интенсивность и конфигурация которых определяется электропроводностью земных недр. Наблюдаемое на поверхности Земли переменное ЭМП представляет собой совме-

стный эффект этих двух токовых систем и, следовательно, отражает особенности геоэлектрического строения Земли.

Исследование электромагнитных вариаций с целью изучения внутреннего строения Земли получило широкое развитие после фундаментальных работ А.Н. Тихонова [1] и Л. Каньяра [2], заложивших основы магнитотеллурических методов разведки. В этих работах была предложена сравнительно простая модель электромагнитной индукции в Земле, в которой внешнее поле описывалось полем плоской волны, вертикально падающей на горизонтально-слоистую Землю. В рамках такой модели легко устанавливаются аналитические связи между сопротивлениями и толщинами различных горизонтальных слоев Земли. Одним из основных определяемых параметров является импеданс Z, равный отношению взаимно ортогональных горизонтальных компонент электрического и магнитного полей:

$$Z = E_x / H_y = -E_y / H_x \quad . \qquad (1)$$

Для измерения импеданса на земной поверхности располагают взаимно перпендикулярно два магнитометра и две пары заземленных электродов, соединенных электроизмерительными линиями. Посредством этой аппаратуры наблюдаются вариации ЭМП в широком диапазоне периодов T – от долей секунд до нескольких суток, затем по формуле (1) определяется импеданс, а по нему – кажущееся (среднее) сопротивление ρ_T пород в исследуемом районе:

$$\rho_T = \frac{T}{2\pi\mu_0} |Z|^2 \quad , \qquad (2)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

В силу скин-эффекта электромагнитные волны различной частоты проникают в проводящую Землю на различную глубину, поэтому кривые зависимости ρ_T от T отражают изменение сопротивления пород с глубиной. Сопоставляя наблюденные кривые ρ_T с модельными, можно определить параметры всех слоев, слагающих разрез сверху донизу, т.е. осуществить магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) Земли. При этом согласно теореме единственности, доказанной А.Н. Тихоновым, параметры разреза определяются однозначно [3]. Предложенная модель, как показали многолетние экспериментальные исследования, оказалась чрезвычайно плодотворной и явилась основной моделью теории МТЗ [1-8].

Метод МТЗ получил широкое распространение в СССР и за рубежом. Он применяется для поиска месторождений нефти и газа и изучения глубинной электропроводности в европейской части СССР, на Кавказе, в Туркмении, Таджикистане, Прибайкалье, Восточной Сибири, на Камчатке и Сахалине. Данные МТЗ широко используются при построении тектонических карт. Эти данные позволили обнаружить глубинные проводящие слои в земной коре и верхней мантии, которые связываются с температурными, химическими и фазовыми изменениями состава горных пород на больших глу-

бинах. Вместе с тем развитие глубинных магнитотеллурических зондирований потребовало учета пространственной неоднородности первичного поля. Такой учет может быть осуществлен, как это показано в работе [3] и др., путем перехода от анализа наблюдаемых компонент ЭМП к их пространственным спектрам. При этом, однако, уже недостаточно измерять поля в одной точке (как это имело место в случае плоской волны), а необходимы профильные наблюдения на достаточно больших территориях.

Дальнейшее развитие теории и практики МТЗ показало, что горизонтальные неоднородности геоэлектрического разреза также оказывают существенное влияние на результаты зондирований, и даже большее, чем неоднородности первичного поля. Это потребовало разработки соответствующей теории искажений кривых МТЗ [5,6], позволяющей учитывать искажающее влияние горизонтальных неоднородностей на результаты наблюдений. В то же время выполнение площадных (или профильных) наблюдений вариаций ЭМП Земли дает возможность выделять составляющие поля, обусловленные горизонтальными геоэлектрическими неоднородностями (электромагнитные аномалии), и проводить их геологическую интерпретацию. Эту задачу решают методы магнитотеллурического и магнитовариационного профилирования, получившие развитие в последние десять лет [7-10].

Основы теории интерпретации электромагнитных аномалий заложены в работах [8-12]. В рамках этой теории интерпретация электромагнитных аномалий осуществляется в два этапа [11,12].

Первый этап - анализ наблюденного поля - заключается в разделении ЭМП на различные части по признакам, связанным с расположением возбудителей поля и геоэлектрических неоднородностей. Поле, наблюдаемое на поверхности Земли, обусловлено двумя токовыми системами: ионосферными токами, возбуждающими первичное (или внешнее) поле, и земными (теллурическими) токами, создающими вторичное (внутреннее) поле. Таким образом, полное ЭМП есть сумма внешних и внутренних полей. Разделение поля на внешнюю и внутреннюю части - одна из первых задач анализа. В то же время полное поле можно представить и как сумму нормального и аномального полей (здесь нормальным называется поле, возбуждаемое ионосферными токами в горизонтально-слоистой Земле, а аномальным - поле, возникающее за счет горизонтальных геоэлектрических неоднородностей). Выделение электромагнитных аномалий - также одна из задач анализа. Наконец, чрезвычайно важным является выяснение природы электромагнитных аномалий. Как известно, аномалии ЭМП в соответствии с природой вызывающих их неоднороднородностей подразделяются на поверхностные и глубинные. Поверхностными называются аномалии, связанные с неоднородностью приповерхностных слоев Земли (осадочного чехла, морей, океанов). Глубинные аномалии обусловлены действием проводящих зон в земной коре и верхней мантии. Разделение электромагнитных аномалий на поверхностные и глубинные также является одной из центральных задач анализа.

Методы решения перечисленных выше задач были заложены еще Гауссом

и получили развитие в работах [9–13]. Большая часть этих методов основана на интегральных преобразованиях поля (например, преобразовании Фурье [14;15]). Основная практичеокая трудноотъ реализации названных методов связана о необходимостью анализа поля на ограниченных территориях (полигонах, где проведены измерения), тем не менее имеется уже целый ряд примеров успешного применения этих методов при интерпретации электромагнитных аномалий [12].

Второй этап интерпретации электромагнитных аномалий – решение обратных задач. Иоследование обратных задач геоэлектрики для неоднородных сред получило развитие лишь в оамое последнее время. Однако уже имеется целый ряд эффективных методов решения этих задач, которые можно разделить на две группы: I) изучение геоэлектрической отруктуры приповерхностного слоя (осадочного чехла); 2) исследование глубинных геоэлектрнчеоких неоднородностей (проводящих включений в земной коре и мантии, неровностей глубинных геоэлектрических границ). Применение методов как первой, так и второй группы предполагает предварительное проведение анализа поля (выделение аномальной части и ее разделение на поверхностную и глубинную составляющие).

Метсды изучения геоэлектричеокой структуры приповерхностного слоя получили развитие в работах [8,11,12,16] и др. В этих работах ооадочный чехол аппроксимируетоя либо бесконечнс тонкой проводящей пленкой, либо горизонтально неоднородным слоем конечной толщины. При этом на пленках иопользуются приближенные граничные условия Прайоа-Шейнмана [8,16], а на тонких слоях-обобщенные граничные условия Тихонова-Дмитриева [12,17]. Для того чтобы интерпретируемые аномалии были чисто поверхностными, выбираются столь выоокие частоты, что действием глубинных неоднороднсотей можно пренебречь. Ооновным определяемым параметром являетоя величина интегральной проводимости осадочного чехла. Эта величина находится путем решения интегральных уравнений типа Фредгольма I рода, которые в двумерных моделях сводятся к проотым квадратурам. На оонове опиоанной методики проинтерпретированы Калифорнийская аномалия ГМП в США [10,16], Копетдагокая аномалия в СССР [18] и ряд других.

Исследованию глубинных геоэлектрических неоднороднооотей предшествует определение нормального глубинного разреза и выделение глубинных электромагнитных аномалий. С этой целью выбираются настолько низкие частоты, что глубинные аномалии выражены доотаточно полно. При интерпретации глубинных аномалий широко применяются методы, основанные на принципе подбора с использованием известных решений для тел простой формы и результатов конечно-разностного моделирования. Эти методы были развиты в работах [8–10] и др. В последние годы в геоэлектрике начинают создаваться программы автоматизированного подбора адекватных моделей [19,20]. Эти методы, несомненно, позволят повысить эффективность интерпретации электромагнитных аномалий.

Наряду с метсдами подбора в настоящее время все более широко раз-

вываются методы интерпретации, основанные на идее аналитического продолжения ЭМП в сторону источников [21]. Эта возможность основана на том факте, что в областях однородности среды поле описывается аналитическими функциями и, следовательно, предотавимо в виде сходящихся степенных рядов. При помощи этих рядов можно продолжить поле всюду вплоть до его особых точек. На практике задача аналитического продолжения сводится к интегральным преобразованиям поля. В частности, в плоской модели, допускающей применение фурье-преобразования, пересчет с одного горизонтального уровня на другой осуществляется путем простого умножения спектральных плотностей поля на гиперболические функции, зависящие ст параметров нормальнсго разреза. Целью аналитичеокого продолжения является обнаружение особых точек, линий и поверхностей поля, распределение которых отражает геометрию тел с избытсчной электропроводиостью (например, особые линии совпадают с ребрами проводящих включений). Важно отметить, что положение этих особых точек по внешнему полю определяется однозначно.

Другой спсоб интерпретации аналитически продолженных значений поля оонован на использсвании особеннсотей поляризации магнитного и электрического полей на псверхности идеальных прсводниксв и изолятсров. Так, например, поскольку на поверхности цилиндрического идеального проводника нормальная компонента МП равна нулю, то должно происходить слияние векторных линий вещественной и мнимой чаотей поля. Аналогичнс, на псверхнооти изолятора, где нормальная компонента ЭП равна нулю, сливаются векторные линии вещественной и мнимой частей ЭП. Обнаружение таких зон дает простой способ определения формы глубинных геоэлектрических границ [8,19,22].

В заключение необходимо отметить, что отличительной особенностью изучения строения Земли магнитотеллурическими и магнитовариацисннымн метсдами является наряду с относительной простотой и портативнсстью иопользуемой аппаратуры большой диапазон глубинноети исследований (от остен метров до сотен километров), спределяемый частстой изучаемых вариаций. При этом электромагнитные метсды позволяют получить такую информацию о строении земных недр - их геотермичеоком и геохимичеоком состоянии, которая другим методам недоступна.

Литература

1. Тихонов А.Н. Об определении электрических характериотик глубинных слоев земной коры.-Докл. АН СССР, 1950, т.73, № 2, с.295-297.
2. Cagniard L. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. - Gephysics,1953, vol.18, N2, p.605-635.
3. Тихонсв А.Н. Математическая основа электромагнитного зондирования. - Журн.вычисл. математики и мат.физики, 1965, т.5, № 3, с.207-211.
4. Бердичевский М.Н., Ваньян Л.Л., Файнберг Э.Б. О теоретических оснсвах использования электромагнитных вариаций для изучения электропроводности Земли. - Геомагнетизм и аэрономия, 1969, т.10, № 3.

5. Дмитриев В.И., Бердичевский М.Н., Кокотушкин Г.А. Альбом палеток для магнитотеллуричеокого зондирования в несднородных средах. М.: Из-вс МГУ, I975. Ч.4. I00 с.
6. Berdichevski M.N., Dmitriev V.I. Basic principles of interpretation of magnetotelluric sounding curves. - In: Geoelectric and Geothermic studies / Ed. Adam A. Akad. Kiado. Bp., 1976, p.165-221.
7. Бердичевский М.Н. Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, I968. 254 с.
8. Рокитянский И.И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наук.думка,I975. 279 с.
9. Рикитаки Т. Электрсмагнетизм и внутреннее строение Земли. Л.:Недра, I968. 322 с.
I0. Schmucker U. Anomalies of geomagnetic variations in the Southwestern United Ststes. - Bull.Scripps.Inst.Oceanogr.Cal.,1970,vol.13
II. Жданов М.С., Бердичевский М.Н. Методы интерпретации аномалий переменного электрсмагнитного поля Земли. - В кн.: Электромагнитные зондирования. М.: Изд-во МГУ, I976, с.30-34.
I2. Бердичевский М.Н., Жданов М.С. Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра, I98I. 327 с.
I3. Янсвский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-вс ЛГУ, I964. Ч.I. 445 с.
I4. Жданов М.С. Разделение переменных электромагнитных полей Земли.- Изв. АН СССР. Физика Земли, I973, № 8, о.43-54.
I5. Бердичевский М.Н., Жданов М.С., Жданова О.Н. О всзможнсти разделения аномалий переменнсго геомагнитного поля на поверхностные и глубинные части. - Геомагнетизм и аэрономия, I974, т.I4, № I,
I6. Sohmucker U. Interpretation of induction anomalies above nonuniform surface layers. - Geophysics, 1971, vol.36, N 1, p. 156-165.
I7. Жданов М.С., Бердичевский М.Н., Жданова О.Н. О поверхностных аномалиях переменного электромагнитного поля Земли.-Геомагнетизм и аэрономия, I975, т.I5, № 3, с.532-536.
I8. Авагимов А.А., Жданова О.Н. Аномалия переменного геомагнитного поля в Средней Азии.-Геомагнетизм и аэрономия, I978, т.I8, № 2,с.375-376.
19. Schmucker V., Weidelt P. New analysis of geomagnetic variation data in Nothern Germany. - In: Third worshop on electromagnetic induction in the Earth Sopron, 1976, p.57.
20. Жданов М.С., Варенцов И.М. Интерпретация локальных геомагнитных аномалий методом стягивающихся поверхностей. - Геология и геофизика, I980, № I2, с.57-62.
2I. Жданов М.С., Варенцов И.М., Голубев Н.Г. Определение положения гсзлектрических неоднорсдностей методами аналитического продолжения переменных геомагнитных полей. - Геология и геофизика, I978, № 7.
22. Билинский А.И., Жданов М.С., Шилова А.М. К методике интерпретации аномалий переменногс электромагнитнсго поля Земли. - В кн.:Физико-механические поля в деформируемых средах. Киев: Науксва думка, I978, с.I40-I45.

ГЛАВА IУ. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ

I. Векторный потенциал электромагнитного поля

В данном разделе рассмотрим проблему "реальности" векторного потенциала (ВП). Она затрагивает ряд кардинальных положений физики: концепцию близкодействия, принцип эквивалентности и т.п. На основе представлений, являющихся обобщением идеи градиентного преобразования ВП, развивается теория калибровочных полей, которая, как надеются, даст возможность описать единым образом всю иерархию существующих в природе взаимодействий - сильного, слабого, электромагнитного, гравитационного. Прояснение сущности и роли потенциалов важно и для биологии, поскольку будет способствовать дальнейшему продвижению в понимании фундаментальных механизмов биологического дейотвия ЭМП и возможных путей прямого влияния космофизических ЭМП на биосферу.

ВП применяется для решения задач электродинамики с конца XIX века. Однако на него смотрели как на чисто математическую абстракцию. Эта точка зрения была подвергнута пересмотру в известной статье Аароноса и Бома [I]. Для того чтобы легче разобраться в существе проблемы, напомним сначала некоторые сведения из электродинамики и квантовой механики.

МП характеризуется индукцией $\vec{B}$, которая определяет действующие в нем силы. МП можно также задать с помощью ВП $\vec{A}$, который связан с $\vec{B}$ соотношением

$$\vec{B} = rot\,\vec{A} \qquad (I)$$

(см., например, [2, с. 280]). Сходным образом, как известно, связана с потенциалом φ напряженность ЭП ($\vec{E} = -grad\,\varphi$). В теории поля $\vec{A}$ и φ рассматривают как компоненты четырехмерного потенциала A_μ (см., например, [3, с. 256]). Ввиду дифференциального характера соотношения (I) равенство $\vec{A}$ нулю в какой- либо точке не влечет за собой равенство нулю $\vec{B}$.

Одно и тоже поле $\vec{B}$ можно описать множеством полей $\vec{A}$. Дейотвительно, величина $\vec{B}$ не изменится, если к $\vec{A}$ прибавить произвольное безвихревое (т.е. являющееся градиентом произвольной скалярной функции $\varkappa$) поле ($rot\,grad\,\varkappa = 0$). Переход от одной величины $\vec{A}$ к другой, отличающейоя лишь градиентом, носит название калибровочного (градиентного) преобразования. Чтобы исключить многозначность, необходимо задать величину дивергенции $\vec{A}$ (она характеризует наличие источников и стоков по-

тенциала, а ее выбор называется калибровкой) и значение $\vec{A}$ на какой-либо границе или на больших расстояниях (см., например, [2, с. 282]). В магнитостатике обычно принимают $div\,\vec{A} = 0$ (кулоновская калибровка). Кроме того, положим $\vec{A}(\infty) = 0$.

Нам придется в ряде случаев находить $\vec{A}$ по заданному распределению $\vec{B}$, т.е. решать задачу, обратную (I). В кулоновской калибровке и при условии $\vec{A}(\infty) = 0$ она эквивалентна задаче об определении $\vec{B}$ по заданному распределению плотности тока $\vec{J}$. Это позволяет использовать при нахождении $\vec{A}$ по $\vec{B}$ известные картины $\vec{B}$ ($\vec{J}$), подбирая для заданного распределения $\vec{B}$ (x, y, z) подобную конфигурацию плотности тока $\vec{J}$ (x, y, z) и заменяя в соответствующей ей картине поля $\vec{B}$ на $\vec{A}$. Справедлив и эквивалент закона Био-Савара:

$$d\vec{A} = \frac{1}{4\pi} \frac{\vec{B} \times \vec{r}}{|r|^3} dl\, ds. \qquad (2)$$

Здесь $\vec{r}$ – радиус-вектор, проведенный в данную точку из соответствующего элемента трубки магнитной индукции, dl и ds – длина и поперечное сечение этого элемента.

По теореме Стокса циркуляция $\vec{A}$ (т.е. $\oint_L \vec{A} \cdot d\vec{l}$, где L – некоторый контур) равна магнитному потоку через незамкнутую поверхность, ограниченную этим контуром. Величина циркуляции при калибровочном преобразовании не меняется.

ВП является "сместителем фазы" ψ волновой функции Ψ, с помощью которой описывается состояние квантовомеханической системы. Набег фазы при движении частицы с зарядом q из точки I в точку 2 равен

$$\Delta\psi = \frac{q}{c\hbar} \int_{1-2} \vec{A} \cdot d\vec{l}, \qquad (3)$$

где c – скорость света, $\hbar$ – постоянная Планка.

Известно, что фаза волновой функции определяется с точностью до произвольной постоянной. Подобная неоднозначность, как принято считать, не отражается на физических результатах. Эта точка зрения основывается на том, что во все выражения, имеющие непосредственный физический смысл, входит произведение Ψ на комплексно ей сопряженную Ψ^*, в результате чего фазовые множители $e^{i\gamma}$ и $e^{-i\gamma}$ взаимно сокращаются [4, с. 20].

При калибровочном преобразовании $\vec{A}$ фаза ψ волновой функции находящейся в поле заряженной частицы изменяется. Это продиктовано необходимостью сохранения инвариантности уравнений движения [4, с. 521; 5, с. 66]

Справедливо и обратное – если изменить "руками" фазу волновой функции заряженной частицы, то изменится и ВП поля, в котором она находится.

Бом и Аронов обратили внимание на то, что в квантовой механике некоторые эффекты непосредственно определяются величиной циркуляции, не зависящей от распределения МП [1, 6 – 9]. Ими, например, рассматри-

валась интерференция электронов, проходящих два отверстия в экране, между которыми расположен длинный соленоид пренебрежимо малого сечения. Вне соленоида МП практически отсутствует (т.е. область является безсиловой), однако ВП отличен от нуля. Поскольку он идет по кругу относительно оси соленоида, набег фазы "справа" и "слева" различен, и интерференционная картина должна смещаться в зависимости от магнитного потока, хотя в той области, где имеется МП, волновая функция электрона пренебрежимо мала.

В работе [1] отмечалось, что существуют две возможности для объяснения подобного результата. Первая - считать, что за взаимодействие ответственно поле ВП - единственное поле, имеющееся там, где движутся частицы,- и тем самым принять его за физическую "реальность". Вторая - говорить о нелокальном действии МП, что, однако, является разрывом с существующими концепциями поля. Интересно, что Эренберг и Сидэй десятью годами ранее [10] рассмотрели ту же задачу, но не сделали, по замечанию Е.Л.Фейнберга [11], "столь далеко идущих выводов об основах квантовой электродинамики". Сам эффект позднее получил наименование эффекта Аароноза-Бома.

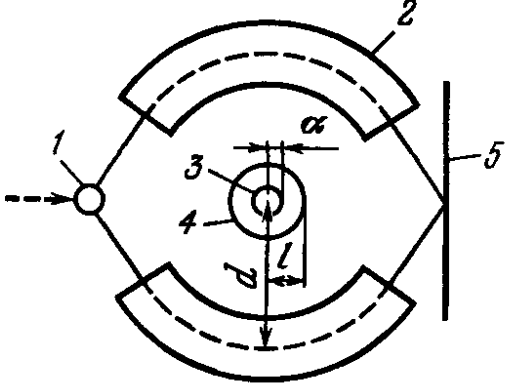
Сразу же после опубликования работы [1] было высказано мнение, что если бы эффект Аароноза-Бома существовал, то это не позволило бы наблюдать сколько-нибудь четкие картины интерференции электронов при наличии даже слабых осциллирующих МП [12]. Между тем в выполненных незадолго до этого экоперимептах Мартона с сотр. интерференция электронов регистрировалась именно в таких условиях. Однако затем Вернер и Брил в работе [13], как считалось, показали, что фазовый сдвиг, обусловленный эффектом Аароноза-Бома при движении частиц во "внешнем" МП, в данном случае компенсируется смещением, вызванным силой Лоренца. Таким образом, наличие интерференционной картины в экспериментах Мартона с сотр. как раз и свидетельствовало о том, что эффект Аароноза-Бома существует[1]. Позднее сказалось, что теоретический анализ Вернера и Брила неполон и требует существенного уточнения [16]. Однако к этому времени существование эффекта Аароноза-Бома было продемонстрировано прямыми экспериментами.

Работа [1] вызвала появление большого числа теоретических статей, причем дискуссия вышла за рамки вопроса об "особой роли" потенциалов в квантовой механике. Остановимся на наиболее важных работах, посвященных теоретической интерпретации эффекта Аароноза-Бома (среди обзорных работ отметим [11, 17]).

Фейнберг [11] указал, что эффект, подобный эффекту Аароноза-Бома, возникает и при классическом описании. Его суть заключается в том, что движущийся электрон индуцирует в соленоиде ток. Квантовая картина отли-

---

[1] Полемику с трактовкой эффекта Аароноза-Бома в [3] и в ряде других работ см. в статьях [14, 15].



Р и с. 83. Схема опыта по интерференции

I - бипризма; 2 - призмы (их роль могут играть тонкие кристаллические пластинки); 3 - соленоид; 4 - диэлектрик; 5 - экран

чается от классической тем, что частота волновой функции зависит от энергии взаимодействия, а положение электрона не определено. Хотя взаимодействие можно записать через ВП соленоида, это не дает оснований говорить об "особой роли" потенциалов. К сходным идеям пришел впоследствии Бойер [15, 18]. Близки по духу к работам [11, 15, 18] работы, объясняющие эффект влиянием МП соленоида на ту часть волнового пакета, которая в него проникает (обзор ранней дискуссии на эту тему см., например, в [17]; содержание последних препринтов см. в [19]).

Для того чтобы исключить возможность такой интерпретации, предложим модификацию опыта Аронова-Бома, при которой электрон за время t_n пролета в интерферометре не успеет провзаимодействовать с током. Окружим соленоид слоем диэлектрика (рис. 83) с диэлектрической проницаемостью ε. Будем считать, что электрон ускоряется непосредственно перед бипризмой за время $t \ll t_n$. Соленоид "почувствует" старт электрона через время t_c

$$t_c \geq \frac{1}{c}\left[(d-l)+(l-a)\sqrt{\varepsilon}\right] \qquad (4)$$

(обозначения см. на рис. 83).

Время пролета $t_n \approx \frac{k d}{v}$, где v - скорость электрона, k - геометрический фактор, зависящий от конструкции интерферометра ($\geq \pi$).

Если

$$\sqrt{\varepsilon} > \frac{c}{v}\,\frac{k d}{l-a}, \qquad (5)$$

то $t_c > t_n$.

Чтобы на формирование интерференционной картины не повлияло излучение Вавилова-Черенкова, которое может возникнуть в диэлектрическом слое, вероятность испускания кванта должна быть мала. Вычисления, на которых мы не можем здесь останавливаться, приводят к следующему условию

$$m\alpha\,\frac{l}{d}\,\frac{1}{\beta} \ll 1, \qquad (6)$$

где $m \sim 2 - 5\pi^2$, α - постоянная тонкой структуры, $\beta = v/c$.

Условие (5) совместно с (6) в широкой области параметров.

Итак, в предложенной модификации эксперимента взаимодействие электрона с током в соленоиде будет происходить позже, чем сформируется интер-

ференционная картина. Однако эффект Аароноза-Бома должен наблюдаться по-прежнему, так как величина циркуляции ВП от присутствия диэлектрического слоя не меняется. Эксперимент является не только мысленным - он допускает реальную постановку.

В ряде работ принцип локальности пытаются сохранить, переходя к гейзенберговским уравнениям движения, содержащим только напряженность МП. Однако, если среднеквадратичный размер волнового пакета (квантово-механического аналога частицы) больше, чем расстояние от центра пакета до области действия сил, то и при таком подходе последние все равно сказываются на движении, даже если в этой области волновая функция пренебрежимо мала (см., например, [20]).

О локальности в традиционном смысле здесь говорить также трудно, поскольку размеры пакета принципиально не ограничены. На наличие в квантовой механике подобных ситуаций (когерентные корреляции на макроскопически больших расстояниях) обращал внимание еще Эйнштейн [21] (различные подходы к парадоксу Эйнштейна-Подольского-Розена см., например, в [22 - 25]). Этим же вопросам посвящены работы [26, 27], где анализируются ситуации, при которых нельзя исключить взаимодействие даже между отдаленными объектами, и делаются выводы о "принципиальной неразрывности мира" 2).

Определенным методическим недостатком работы [1] и последующих является то, что соленоид принимают бесконечно длинным. Это обстоятельство неоднократно вызывало критику (см., например, [30]). В связи с этим привлекает внимание работа [31], где рассматривается интерференция на тороидальном соленоиде, вне которого МП строго равно нулю. Получен тот же результат - электроны "чувствуют" магнитный поток в торе 3).

С помощью бессилового ВП можно управлять энергетическим потоком. Для случая тока, текущего в сверхпроводнике, это было экспериментально подтверждено в классических опытах Мерсеро с сотр.[33] 4). В случае движения заряженных частиц в вакууме такая возможность становится особенно очевидной, если представить себе, что в плоскости интерференционной картины установлена полупрозрачная решетка, имеющая шаг, равный ее периоду. Тогда в зависимости от силы тока в соленоиде будет меняться число заряженных частиц, проходящих сквозь эту решетку. ВП может повлиять и

---

2) Необычное приложение этих идей можно найти в работе [28], посвященной анализу "перцептивного канала информации"; интересны также ссылки на работы Бома в биологической литературе (например, [29]).

3) Эффект Аароноза-Бома в тороиде рассмотрен также в [32]. Авторам [30,32] работа [31], по-видимому, осталась неизвестной.

4) Опыты [33] в книге Триггса [34] отнесены к "ключевым экспериментам физики XX столетия". Эффект Аароноза-Бома в сверхпроводниках иногда называют эффектом Мерсеро (см., например, [35]).

на систему не тождественных, но взаимодействующих частиц. Пусть, например, в интерферометре одновременно появляются электроны и позитроны, обладающие достаточно близкой энергией. Пространственная картина их аннигиляции на лету, сопровождаемой испусканием жестких квантов, будет в определенной степени соответствовать пространственному ходу интерференционной картины. Следовательно, если менять ток в соленоиде, расположенном между щелей, то картина аннигиляции будет меняться, причем с шагом, вдвое меньшим шага изменения картины интерференции. Таким образом, с помощью бессилового ВП в данном случае можно управлять не только электронным и позитронным потоками, но также потоком жестких квантов и их пространственным распределением.

Среди работ, наиболее убедительно подтверждающих эффект Аронова-Бома, необходимо отметить опыты по интерференции куперовских пар в сверхпроводнике [33]. Весьма надежно эффект Аронова-Бома продемонстрирован и в экспериментах по интерференции электронных волн (например, [36-38] и особенно [39], где использована филигранная экспериментальная техника).

Некоторые из этих опытов рассмотрены в работе [40]. Различные варианты постановки новых экспериментов предложены в работах [41, 42].

Особняком стоят статьи [43, 44], в которых отрицается существование эффекта Аронова-Бома [5]. Ограничимся некоторыми замечаниями. Так, часть выводов этих работ основана на использовании нестоксовского ВП (он приравнен нулю вне соленоида и имеет сингулярность в начале координат). Между тем известно, что стоксовский характер ВП диктуется рядом принципиальных соображений (см. работу [10], в которой особо подчеркивалось, что если МП присутствует где-либо в пространстве, то ВП нельзя обратить в нуль везде, где этого поля нет). Не упоминаются опыты по интерференции куперовских пар. Как было указано в [45], в пользу корректности лучших экспериментов с электронными интерферометрами свидетельствует близость найденных в них значений $\frac{e}{c\hbar}$ к общепринятым. Подробный разбор работ [43,44] содержится в ответе Бома и Хайли [46], а также в ряде других работ (например, [32]).

Итак, в настоящее время существование эффекта Аронова-Бома как в экспериментальном, так и в теоретическом плане не вызывает особых сомнений (он излагается даже в ряде лекционных курсов [3, 47,48]. Некоторые итоги недавней дискуссии подведены в статьях [49 - 51]. Неоднократно обсуждались модификации опыта Аронова-Бома в случае неэлектромагнитных взаимодействий (например, для прямого обнаружения поля изоспина [52]). Трактовка эффекта Аронова-Бома на основе теории расслоенного пространства и калибровочных полей дана в работе [53]. Как известно, идея о том, что ВП является коэффициентом связности пространства, восходит к Г. Вейлю [54, 55].

---

[5] Мы не затрагиваем здесь более ранней дискуссии, частично отраженной в [6 - 9, 11, 17].

Аронов и Кармн в работе [56] развили концепцию о "реальности" ВП. Они утверждают, чтс, во-первых, ВП можно трактовать геометрически как величину, овязанную с переходом от одной движущейоя оистемы координат к другой, а, во-вторых, в квантовой механике принцип эквивалентнооти сводится не тслько к эквивалентности "реальных" сил и оил инерции, но требует эквивалентности их потенциалов. Авторы работ [57,58] развили эту точку зрения и показали, что в ее пользу свидетельствуют результаты некоторых хорошо известных экоперимснтов.

Точка зрения на ВП как на "физическую реальность" поддерживаетоя в работах Конопинского [52] и Калкина [60.61]. По их мнению, ВП (а также окалярный потенциал φ) следует раосматривать как фундаментальное понятие не только в квантовой, но и в классической электродинамике.

В дсполнение к их аргументации подчеркнем, что ВП не менее реален, чем изменение поляризации при переходе от однсй системы отсчета к другой. Дейотвительно, пусть электрон покоитоя, а движется соленоид. Напряженнооть злектрического поля E в этой системе, как и в исходной, попрежнему равна нулю[6]. Но $\vec{E}=-grad\varphi-\frac{d\vec{A}}{dt}$ (φ – потенциал, возникающий вследствие поляризации), т.е. члены в правой части должны взаимно компенсировать друг друга. Поскольку поляризацию, обусловленную переходом к другой системе отсчета, принято считать реальной, логично считать реальным и ВП[7].

Возникает вопрос – ограничена ли реальность ВП теми полями, для которых в рассматриваемой облаоти (не во всем пространстве !) $\oint_L \vec{A}\,d\vec{l}$ или производные $\vec{A}$ отличны от нуля.

К ответу "нет, не ограничена" подталкивают не только некоторые из приведенных ранее соображений. Свидетельотвует в его пользу, например, и одвиг фазы заряженной частицы, находящейся в поле ВП, при калибровочнсм преобразовании. Подобная связь диктуется рядом принципиальных требований [5, 63]. В ее наличии некоторые исследователи усматривают принцип относительнсоти в зарядовом пространстве: локальному изменению фазы соответотвует появление дополнительного ЭМП и обратно, причем каждая пара решений опионвает одну и ту же физическую ситуацию (см., например, [54]). Следовательно, нельзя, основываясь на возможности калибровочного преобразования ВП, говорить о том, что последний не является реальным. Дело оботоит оовсем наоборот, поокольку любое изменение "руками" изначально существовавшего в данной задаче ВП (в какой калибровке – это другой вопрос) требует изменения фаз заряженных частиц, чтобы физическая картина осталась неизменной. Таким образом, калибровочная инвариантнооть, по нашему мнению, не отвергает, а скорее подтверждает реальнсоть поля ВП.

---

6) Пример, рассмотренный в [11] с несколько других позиций.

7) Ряд принципиальных вопросов электродинамики с привлечением ВП обсуждается в дискуссионнои работе [62].

1/2 22. Зак. 1895

Заметным вкладом в выяснение вопроса о локальной значимости ВП явилась работа [64]. В ней утверждается, что существуют квантово-механические системы, поведение которых определяется локальным значением ВП (или, по крайней мере, его квантовым распределением). В частности, в одном из мысленных экспериментов, рассматриваемых в этой работе, в качестве источника ЭМП взят вращающийся бесконечно длинный заряженный цилиндр. МП, обусловленное током переноса, возникающим при вращении, присутствует лишь внутри цилиндра подобно тому, как обстоит дело о МП бесконечно длинного соленоида. ЭП цилиндра экранировано. Таким образом, вне экрана имеется только поле ВП.

Оказывается, однако, что при движении заряженной частицы в этой бессиловой области будут иметь место квантовые (и в принципе измеримые) корреляции между частицей и цилиндром, которые могут свидетельствовать о локальном присутствии ВП. Кстати, эта работа в определенной мере снимает один из аргументов против реальности ВП (высказываемый, например, в [20]), состоящий в том, что, поскольку не существует способов локального измерения $\vec{A}$, описание эффекта Аронова-Бома с его помощью внутренне противоречиво.

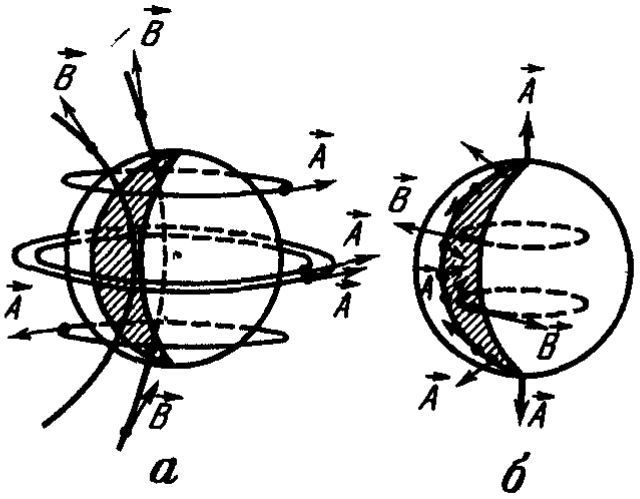
Проблему физической "реальности" локальных значений ВП нельзя обсуждать без привлечения соображений о величине ВП, обусловленного космофизическими источниками. Оказывается, что наличие естественного фона ВП необходимо учитывать в целом ряде теоретических построений.

Будем решать эту задачу, исходя из связи между ВП и индукцией естественных МП. Поле ВП, создаваемое земными источниками, связано как с дипольным МП (или, как его иначе называют, полоидальным МП), так и с гипотетическим тороидальным ("скрытым") МП динамо-теории происхождения ГМП [65,66]. Скрытое поле может иметь довольно сложную конфигурацию. Мы возьмем в качестве модели скрытого поля одно из простейших решений динамо-теории, в котором силовые линии МП представляют собой концентрические окружности, расположенные в жидком ядре Земли, причем направления скрытого МП в северном и южном полушариях противоположны. Скрытое поле не дает вклада в МП вне ядра, однако вклад в ВП остается (рис. 84). Поле Солнца включает в себя как общее поле, так и скрытое поле, которое расположено под солнечной поверхностью в сравнительно тонком слое (см., например, [67]).

Для наших целей продолжение общего МП в межпланетное пространство при низкой солнечной активности можно принять за дипольное, а при ее повышении - за радиальное. За главную компоненту секторной структуры примем диполь, ось которого лежит в плоскости экватора. В действительности структура солнечного МП сложнее [68].

При расчетах можно было бы воспользоваться тем, что ВП полоидального поля тороидален, а тороидального - полоидален [69]. Однако здесь мы прибегнем к более наглядному способу.

Р и с. 84. Схематическое изображение картины МП и ВП для полоидального (а) и тороидального (скрытого) (б) полей.



ВП диполя, как известно (см., например, [2, с. 290]), равен

$$\vec{A} = \frac{\vec{m} \times \vec{r}}{r^3}, \qquad (7)$$

где $\vec{m}$ - магнитный момент. В экваториальной плоскости диполя ВП равен $\frac{m}{r^2}$. Он спадает медленнее, чем магнитная индукция (для диполя как r^{-2} и r^{-3} соответственно).

ВП радиального МП в экваториальной плоокости (он направлен так же, как и ВП диполя, т.е. по кругу) удобно найти по теореме Стокоа. Считая, что магнитный поток радиального МП равен Φ, имеем

$$A = \frac{\Phi}{2\pi r}. \qquad (8)$$

Если принять в первом приближении, что при повышении солнечной активности магнитный поток лишь перераспределяется, не меняя своей величины, то отношение ВП радиального МП к дипольному равно $\frac{r}{r^*}$, где r^* - радиус сферы, на которой задан магнитный поток диполя. Как видим, переотройка поля приводит к значительному изменению ВП. Так, ВП Солнца на орбите Земли меняется более чем в 200 раз.

Перейдем теперь к вычислению ВП скрытого поля. Компоненты ВП трубки-кольца магнитной индукции (система координат цилиндрическая) в дипольном приближении равны

$$A_z = \frac{B\,dS}{2\pi} \frac{\pi a^2}{(\rho^2+z^2)^{3/2}} \left(1 - 3\frac{z^2}{\rho^2+z^2}\right),$$

$$A_\rho = \frac{B\,dS}{2\pi} \pi a^2 \frac{3\rho z}{(\rho^2+z^2)^{5/2}},$$

где a - радиус трубки-кольца, dS - площадь ее поперечного сечения, B - величина магнитной индукции скрытого поля[8].

Это выражение эквивалентно известной формуле [70, 71] для МП кольца с током.

---

[8] В нашем случае $\rho^2 + z^2 \geqslant 4a^2$ и дипольное приближение применимо.

Ограничимся вычислением ВП на геомагнитном экваторе и полюсах. Учтем, что в принятой модели скрытое МП зависит от полярного угла как $\sin 2\theta$. После интегрирования имеем для экватора

$$A_\rho \approx -\frac{1}{5} B r_c \left(\frac{r_c}{\rho}\right)^4, \qquad A_z = 0$$

для полюсов

$$A_\rho = 0, \qquad A_z \approx \frac{2}{5} B r_c \left(\frac{r_c}{z}\right)^4,$$

где r_c - радиус области скрытого поля.

Если скрытое поле простирается лишь на некоторую глубину h, то его ВП может быть получен из приведенных выше формул как разность значений ВП при r_c и ($r_c - h$) соответственно. Заметим, что ввиду сильной зависимости ВП окрытого поля от r_c его величину в основном определяют периферические облаоти.

Обсудим теперь, как оценить ВП, связанный с более крупномасштабными полями, нежели земные и солнечные. Необходимость в этом обусловлена тем, что, поскольку ВП медленно спадает с расстоянием, вклад со стороны подобных полей оказывается значительным.

Крупномасштабная структура галактического МП, как очитают, является спиральной. При любых разумных предположениях относительно числа „рукавов" Галактики и их протяженности вклад в ВП тех областей, которые по галактическим масштабам достаточяо далеко отстоят от Солнца, сравнительно невелик. Важно лишь локальное МП, оно имеет довольно сложную структуру [72]. Величина $\vec{B}$ составляет в среднем несколько десятых нанотеслы. При оценках $\vec{A}$ существенна компонента, перпендикулярная лучу зрения ($\vec{B}_\perp$), поскольку $\vec{B}_\parallel$ дает нулевой вклад в точке наблюдения.

Не исключено, что помимо спирального поля существует МП, перпендикулярное галактической плоскости, вблизи которой находится Солнечная система. Если оно является хаотическим, то величина ВП зависит от характерного раэмера области (ℓ), где поле меняет знак. Действительно, поскольку число нескомпенсированных областей по порядку величины должно составлять $\sqrt{(R/\ell)^2} = R/\ell$, где R - расстояние от центра Галактики до Солнца, по теореме Стокса имеем

$$A_{гм} = \bar{B}\pi\ell^2 \frac{R}{2\pi R\ell} = \frac{\bar{B}}{2}\ell,$$

где $\bar{B}$ - средняя величина МП, перпендикулярного галактической плоскоо-ти. Если же перпендикулярное поле носит регулярный характер, то ℓ необходимо заменить на R.

Проще обстоит дело с гипотетическим метагалактическим МП ($B \sim 10 - 100$ фТл). В пределах наблюдаемого горизонта $\sim 10^3$ Мпк его, по-видимому, можно считать достаточно однородным ввиду изотропности и однородности соответствующей области Вселенной. Поэтому вклады симметричных областей компенсируют друг друга, и суммарная величина $\vec{A}$ в первом прибли-

Таблица 23. Значение векторного потенциала на поверхности Земли от естественных источников МП

Источник		ВП, Вб/м	Источник		ВП, Вб/м
Дипольное поле Земли	ГЭ ГП	2.10^{2} –	Экваториальный диполь		2 – 5
Скрытое поле Земли	ГЭ ГП	10^{2}–2.10^{3} 2.10^{2}–4.10^{3}	Скрытое поле Солнца	А Б	10^{-2} – 10^{-1} 2.10^{-2}–2.10^{-1}
Общее поле Солнца	РС ДС	$(2-4).10^{3}$ $(1-2).10^{1}$	Галактичеокое МП	ГР ПК ПМ	10^{4} – 10^{6} 2.10^{7} 3.10^{4}

Примечание: ГЭ – геомагнитный экватор; ГП – геомагнитный полюс; РС – радиальная структура; ДС – дипольная структура; ГР – ВП рукавов Галактики; ПК – ВП крупномасштабного поля, перпендикулярного плоскости Галактики (~0,1 пТл); ПМ – ВП мелкомасштабного поля, перпендикулярного плоскости Галактики ($\ell \sim 20$ пк); магнитная индукция скрытого поля Земли ~ 2,5 – 50 мТл; магнитная индукция скрытого поля Солнца ~ 0,03 – 0,3 Тл; А – $\frac{h}{r_c} = 0{,}1$; Б – $\frac{h}{r_c} = 0{,}2$; магнитный поток общего поля Солнца $\Phi = (2-4).10^{15}$ Вб; магнитный поток поля экваториального диполя $\Phi = (0{,}4-1)\cdot 10^{15}$ Вб.

жении должна быть равна нулю. Этот результат не зависит от величины наблюдаемого горизонта. Таким образом, в случае ВП не возникает проблем типа известных в космологии гравитационного и фотометрического парадоксов.

В последнее время появились серьезные сомнения в существовании крупномасштабного метагалактического МП (см., например, [73]).

В табл. 23 приведены результаты оценок величины ВП от различных естественных источников. Из нее можно сделать ряд важных выводов.

Прежде всего отметим, что ВП оказывается весьма большим, даже если ограничиться лишь солнечно-земными источниками. Это несомненно необходимо учитывать при любых трактовках "реальности" ВП. Набег фазы заряженных частиц на 2π происходит в подобных полях на расстояниях, много меньших характерных ядерных (.например, комптоновской длины волны протона). Таким образом, фазовая функция быстро осциллирует. Скорость набега фазы заряженных частиц даже в нерелятивистском случае велика и нередко превосходит c. Следовательно, квантово-механичеокие решения, в которых учтен лишь собственный ВП задачи, в принципе справедливы только при усреднении. Набег фазы частицы может происходить и в том случае, когда она покоится относительно локальных источников ВП, участвуя тем не менее в макроскопическом переносном движении относительно естест-

венных источников ВП. Таким образом, ВП естественных источников играет роль некоего "скрытого параметра". Вследствие векторного, вернее, тензорного характера ВП, наш мир оказывается весьма анизотропным.

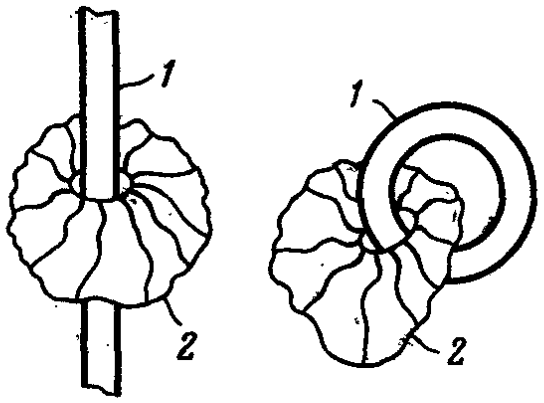
Несомненно, наличие естественного "моря ВП" необходимо учитывать, как мы уже отмечали выше, в некоторых трактовках его "реальности" (например, в качестве "потенциального импульса" по Конопинскому и Калкину). С другой стороны, поскольку в большинстве случаев в экспериментах регистрируются усредненные значения , создается впечатление, что ВП естественных источников не оказывается на каких-либо физических процессов. Однако это впечатление обманчиво. Можно указать на физические ситуации, в которых наличие "моря ВП" не безразлично. Так, к ним следует отнести те случаи, когда характер протекания явления определяется интегралом от ВП по незамкнутому контуру. В качестве экзотического примера упомянем интерференцию двух когерентных пучков частиц (как и в случае световых пучков, нас интересует собственно интерференция, а не выяснение того, какому пучку принадлежит та или другая частица). При приведенных выше значениях ВП естественных источников наблюдение интерференционной картины без их компенсации будет являться исключительно сложной задачей. "Море ВП" должно сказываться также на тех явлениях, которые нелинейно зависят от ВП. Подчеркнем, что, хотя мы говорим на языке ВП, все можно изложить и в рамках других теоретических концепций, например, нелокальной теории.

Если сравнивать величины ВП от различных естественных источников, то наибольший вклад вносит МП Галактики. Следующий по величине вклад дает общее поле Солнца и ГМП (дипольное и скрытое). Таким образом, в рамках сделанных допущений на протекание тех или иных явлений могут влиять процессы, происходящие как на Солнце, так и в земных глубинах. Они в свою очередь могут зависеть от возмущений со стороны Солнца, планет и т.д. ВП Солнца весьма сильно изменяется при переходе от дипольной структуры к радиальной, т.е. при повышении солнечной активности, и становится сравнимым с ВП Земли (или даже превосходит его). Отметим, что величина ВП Солнца вблизи его поверхности сравнима с величиной галактического ВП.

Если придерживаться точки зрения работы [74], где утверждается, что ВП может оказывать влияние на ход ядерных процессов, это обстоятельство является весьма важным. Заметим, что отсюда следует далеко идущий вывод о зависимости скорости соответствующих процессов от положения тела во Вселенной.

Секторная структура, представляемая в первом приближении полем экваториального диполя, ведет к осцилляциям ВП с периодом, определяемым прохождением границ сектора. Это - третий по величине источник естественного ВП. К осцилляциям (в том числе с 27-дневным периодом) приводит также возможная асимметрия полей Солнца и наличие петель, являющихся результатом прорыва скрытого поля в межпланетное пространство. ВП собственно скрытого поля дает пренебрежимый вклад в общую вели-

Р и с. 85. Схема опыта по исследованию влияния величины циркуляции ВП на биологичеокий объект
I - соленоид; 2 - биологический объект



чину ВП. Однако если скрытые поля северного и южного полушарий не полностью симметричны, то ВП оказывается заметно бсльшим. К этому же приводит допущение о наличии внутри Солнца мощного МП с конфигурацией типа тороидальной (петлевой).

По-видимому, в некоторых случаях характер протекания физического процесса может определять скорость изменения ВП по координатам. На первом месте здесь стоит скорость изменения по координате ВП Земли, на втором - Солнца (они могут быть получены делением соответствующих ВП на характерное расстояние). Что касается окорости изменения по координатам ВП Галактики, то она на несколько порядков ниже.

Не имея возможности более подробно рассматривать здесь физические аспекты этой проблемы, обсудим теперь, к каким следствиям ведет предположение о возможной биологической роли ВП, учитывая, в частности, вопросы биологического действия МП, влияния солнечной активности на биосферу и "дистантных" биологических связей [62, 75, 76].

Можно ожидать, что реакция биологического объекта (или системы) прежде всего будет зависеть от величины циркуляции $\vec{A}$. В большинстве случаев поля $\vec{A}$ и $\vec{B}$ должны действовать совместно, так как отличие циркуляции ст нуля подразумевает наличие магнитного потока внутри облаоти. Это затрудняет анализ (в интересующем нас плане) имеющихся магнитобиологических данных, а также предъявляет специфические требования к эксперименту (см. [76]).

Наиболее целесообразна постановка специальных экспериментов, в которых МП было бы локализовано так, как это делается в опытах по квантовой интерференции (объект располагается вокруг длинного соленоида и т.д.). Разумеется, необходимость локализации магнитного потока ограничивает выбор биологических объектов и предъявляет определенные требования к магнитным системам. Чтобы уменьшить поля рассеяния, выгодно использовать соленоиды и магниты с конфигурацией типа тороидальной. Биологический аналог эффекта Аароноза-Бома может быть обнаружен по реакции объекта на величину магнитного потока в области локализации, т.е. на силу тока в соленоиде или намагниченность ферромагнитного материала (рис. 85). Аналогично можно было бы выделить действие $\vec{A}$ через среду, в которой расположены объекты.

Необходимо остановиться на двух возможных источниках артефактов. Во-первых, скорость изменения МП должна быть мала, чтобы устранить возможное влияние на объект индуцируемых при этом ЭП. Во-вторых, если справедливо, что на некоторые биологические процессы влияют колебания ГМП, то при использовании в экспериментах систем, выполненных из ферромагнитных материалов, необходимо стремиться свести к минимуму вызываемые ими искажения ГМП, обращая внимание на ориентацию системы и расположение биологических объектов или принимая другие меры. Заметим, что в большинстве магнитобиологических экспериментов, выполненных на системах с магнитопроводами, эта предосторожность не соблюдалась.

А если допустить, что реакция биологического объекта может определяться непосредственно ВП, а не только величиной его циркуляции? Тогда открывается возможность понимания ряда явлений, которые не находят удовлетворительного объяснения. Действительно, в этом случае результирующий эффект будет обусловлен сложным сочетанием факторов. Например, должна иметь место неоднозначная, а в связи с этим плохо воспроизводимая реакция на изменение $\vec{B}$, так как одним и тем же локальным ее значениям могут соответствовать совершенно различные (и с разной предысторией) изменения $\vec{A}$. Кроме того, объект будет реагировать и на "скрытые" перестройки МП, при которых $\vec{B}$ локально в данный момент времени не меняется. Но поскольку в реальных условиях большинство "скрытых" перестроек естественного МП все же приводит к последующему локальному изменению $\vec{B}$ (хотя и с определенной задержкой, зависящей от многих факторов), то реакция объекта в некоторых случаях должна как бы предвосхищать это изменение, что, как утверждают, также наблюдается (эффект Чижевского - Вельховера [77]). Допуская возможность влияния ВП на биологические объекты, можно объяснить и некоторые другие особенности космофизических связей, а также биологического действия ЭМП.

Итак, величина и направление ВП на поверхности Земли изменяются при изменении ГМП, а также МП Солнца, включая его продолжение в межпланетном пространстве. Имеется связь с галактическим МП, что представляет несомненный интерес, учитывая, в частности, данные, приведенные в работе [78]. Время цикла галактического ВП должно совпадать по порядку величины со временем обращения Солнца вокруг центра Галактики (~200 млн. лет, что меньше времени эволюции). В рамках высказанных предположений очевидным образом можно учесть зависимость тех или иных явлений от солнечных циклов, от состояния дипольного и гипотетического тороидального полей Земли и т.д. Интересен вопрос, имеет ли значение для развития и существования биосферы наличие собственного поля ВП планеты и его соотношение с другими полями ВП. Все это дает основание считать, что если действительно подтвердится биологическая значимость ВП, то откроются дополнительные возможности для объяснения ряда явлений, в том числе космофизических влияний на биосферу.

Разумеется, кроме принципиальной неясности о[illegible]логической "реаль-

ности" ВП, существует много других неясностей. Так, широтный ход ВП сравним с его изменением под действием перестроек МП. С другой стороны, возможно, что именно поэтому перестройки МП являются „спусковым" механизмом некоторых явлений в биосфере. По-видимому, велик галактический вклад в ВП. Трудно привлечь для объяснения некоторых сторон солнечно-земных связей ВП скрытого поля Солнца. Однако если некоторые эффекты связаны с величиной $grad|\vec{A}|$, то эти неясности разрешимы.

Подчеркнем, что на приведенные оценки ВП следует смотреть как на весьма ориентировочные, которые могут серьезно измениться при уточнении наших знаний о космофизических МП, особенно галактическом.

Экспериментальная проверка возможности "прямого" действия ВП связана с рядом принципиальных вопросов.

Если предположить, что ожидаемая реакция зависит от абсолютной величины ВП, то в эксперименте необходимо создавать поля, сравнимые о полями естественных источников ВП (экранировать ВП нельзя). Решение подобных задач связано с очень большими трудностями, так как требует создания установок, находящихся на пределе современных технических возможностей. Например, для того чтобы компенсировать ВП $\sim 10^2$ Вб/м при индукции внутри соленоида 10 Тл, последний должен иметь диаметр около 40 м. Это сравнимо с проектными параметрами сверхпроводящего соленоида-накопителя, предназначенного для покрытия пиковых нагрузок всей энергосистемы США. Стоит упомянуть, что для создания соленоида-компенсатора с ферромагнитным магнитопроводом необходимо такое количество стали, которое составляет заметную долю ее выплавки за всю историю человечества. Привлекает внимание возможность использования импульсных магнитных систем, в том числе разового действия. Однако здесь также имеются трудности, обусловленные рядом обстоятельств, например, возникающими при их работе ЭП. Еще более сложной задачей является компенсация ВП естественных источников по всем трем осям.

Другой принципиально отличный путь состоит в использовании естественных изменений поля ВП, т.е. сводится к исследованиям проявлений широтных и долготных эффектов, эффектов вблизи аномалий и к постановке экспериментов на космических аппаратах в околоземном и межпланетном пространствах.

Так, на расстоянии порядка 100 тыс.км от Земли величина ВП ее дипольного и скрытого полей будет составлять $\sim 0{,}4\%$ и $\sim 0{,}02\%$ соответственно от их значений на поверхности. Схожие изменения будет претерпевать ВП Солнца на борту космического аппарата в межпланетном пространстве.

Если же ожидаемая реакция является осциллирующей функцией ВП или зависит от скорости его изменения по координатам, то тогда магнитные системы для постановки экспериментов будут иметь разумные характеристики и представлять обычные лабораторные установки.

О требованиях к [illegible]ойствам для исследования возможного влияния циркуляции ВП на биологический объект мы говорили выше.

Как отмечалось ранее [75, 76], и положительный, и отрицательный ответы на вопросы о существовании биологических эффектов, охожих о эффектом Ааронова-Бома, и о возможности "прямого" воздействия ВП имеют большое значение, поскольку речь идет о фундаментальных механизмах действия МП.

Литература

1. Aharonov Y., Bohm D. Significance of electromagnetic potentials in the quantum theory. Phys. Rev., 1959, vol.N3, p. 485-491.
2. Фейнман Р.,Лейтон Р.,Сендс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир. Т.5. Электричество и магнетизм. 1977. 300 с.
3. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике.М.: Мир. Т.6. Электродинамика. 1977. 347 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука,1974. 752 с.
5. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Введение в теорию квантовых полей. М.: Наука, 1976. 479 с.
6. Aharonov Y., Bohm D. Further consideration on electromagnetic potentials in the quantum theory. - Phys. Rev., 1961, vol. 123, N 4, p. 1511-1524.
7. Aharonov Y., Bohm D. Remarks on the possibility of quantum electrodinamics without potentials. - Ibid., 1962, vol. 125, N 6, p. 2192-2195.
8. Aharonov Y., Bohm D. Further discussion on the role of electromagnetic potentials in the quantum theory. - Ibid., 1963, vol.130, N 4, p. 1625-1632.
9. Bohm D., Phillipidis C. A reply to Janossy's treatment of the Aharonov-Bohm effect and the many body problem. - Acta Phys. Hung., 1971, vol. 30, N 2, p. 221-226.
10. Ehrenberg W., Siday R.E. The refractive index in electron optics and the principles of dinamics. - Proc. Phys. Soc. London, 1949, vol. B 62, p. 8-21.
11. Фейнберг Е.Л. Об "особой роли" электромагнитных потенциалов в квантовой механике. - УФН, 1962, т. 78, № 1, с. 53 - 64.
12. Mendelcwitz H. Post-deadline paper unpublished. January Am. Phys. Soc. meeting. N.Y., 1960 (изложение работы см. в [13,16]).
13. Werner F., Brill D. Significance of eleotromagnatic potentials in the quantum thaory in the interpretation of electron interferometer fringle observations. - Phys. Rev. Lett., 1960, vol. 4, N 7, p. 344-347.
14. Boyer T.H. Misinterpretation of the Aharonov-Bohm effect. - Am. J. Phys., 1972, vol. 40, N 1, p. 56-59.
15. Boyer T.H. Classical eleotromagnetio interaction of a charged particle with a constant-current solenoid. - Phys. Rev. D, 1973, vol. 8, N 6, p. 1667-1679.

16. Greanberg D.M.,Overhauser A.W. Coherence effects in neutron diffraction and gravity experiments. - Rev. Mod. Phys., 1979, vol. 51, N 1, p. 43-78.
17. Erlichson H. Aharonov-Bohm effect - quantum effect on charged particles in field-free region. - Am. J. Phys., 1970, vol. 38, N 2, p. 162-173.
18. Boyer T.H. Classical alectromagnetic deflection and lag effects associated with quantum interference pattern shifts: consideration related to the Aharonov-Bohm effect. - Phys. Rev. D, 1973, vol. 8, N 6, p. 1679-1693.
19. Bocchieri P., Loinger A. Charge in multiply connected spaces. - Nuovo Cimento. A, 1981, vol. 66, N 2, p. 164-172.
20. Вайнштейн А.И., Соколов В.В. Эффект Ааронова-Бома и принцип локальности в квантовой механике. - ЯФ, 1975, т.22, № 3, с. 618-620.
21. Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли очитать квантово-механическое описание физической реальности полным ? - В кн.: Эйнштейн А. Собр. науч. тр. М.: Наука, 1966, т. 3, с. 604-611.
22. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир. Т. 8-9. Квантовая механика, 1978. 524 с.
23. Липкин Г. Квантовая механика. М.: Мир, 1977. 592 с.
24. Silleri F. Generalized EPR-paradox. - Found. Phys., 1982, vol. 12, N 7, p. 645-659.
25. Franson J. Extension of the EPR-paradox and Bell's theorem. - Phys. Rev. D, 1982, vol. 26, p. 787-800.
26. Bohm D. Quantum theory as an indication of a new order in physics. Pt A. - Found. Phys., 1971, vol. 1, N 4, p. 359-381; Pt B. - Ibid., 1973, vol. 3, N 2, p. 139-168.
27. Bohm D., Hiley B.J. On the intuitive understanding of nonlocality as implied by quantum theory. - Found. Phys., 1975, vol. 5, N 1, p. 93-109.
28. Puthoff H., Targ R. A perceptual channel for information transfer over kilometer distances. - Proc. IEEE,1976, vol. 64, N 3, p. 329-354. (Пер.: Путтофф Х., Тарг Р. - ТИИЭР, 1976, т. 64, № 3, с. 329-354).
29. Прибрам К. Языки мозга. М.: Прогресс, 1975. 422 с.
30. Roy S.M. Condition for nonexistence of Aharonov-Bohm effect. - Phys. Rev. Let., 1980, vol. 44, N 3, p. 111-114.
31. Любошиц В.Л., Смородинский Я.А. Эффект Ааронова-Бома на тороидальном соленоиде. - ЖЭТФ, 1978, т. 75, № 1 (7), с. 40-45.
32. Rothe H.J. Comment on the theory of the Aharonov-Bohm effect. - Nuovo Cimento A, 1981, vol. 62, N 1, p. 54-67.
33. Jaklevio R.C., Lambe J., Mercereau J.E., Silver A.H. Macroscopic quantum interference in superconductors. - Phys. Rev. A, 1965, vol. 140, N 5, p. 1628-1637.

34. Тригг Дж. Физика XX столетия: ключевые эксперименты. М.: Мир, 1978. 376 с.
35. Солимар Л. Туннельный эффект в сверхпроводниках и его применение. М.: Мир, 1974. 428 с.
36. Boersch H., Hamisch H., Grohmann K., Wohlleben D. Experimenteller Nachweis der Phasenverschiebung von Elektronenwellen durch das magnetische Vektorpotential. - Zeit. f. Phys., 1961, Bd. 165, S. 79-93.
37. Boersch H., Hamisch H., Grohmann K. Experimenteller Nachweis der Phasenverschiebung von Elektronenwellen durch das magnetische Vektorpotential. II. - Ibid., 1962, Bd. 169, N 2, S. 263-272.
38. Bayh W. Messung der Kontinuierlichen Phasenschiebung von Elektronenwellen im kraftfeldreien Raum durch das magnetische Vektorpotential einer Wolfram-Wendel. - Ibid., 1962, Bd. 169, N 4, S. 462-510.
39. Tonomura A., Umazaki H., Matsuda T., Osakabe N., Endo J., Sugita Y. Is magnetic flux quantizad in a torcidal ferromagnet? - Phys. Rev. Let., 1983, vol. 51, N 5, p. 300-303.
40. Буккель В. Сверхпроводимость. М.: Мир, 1975. 366 с.
41. Matteucci G., Pozzi G. Two further experiments on eleotron interferenoe. - Am. J. Phys., 1976, vol. 46, N 6, p. 619-623.
42. Li M.C. Bohm-Aharonov experiment without an electron microscopa. - Phys. Rev. A, 1978, N 2, p. 773-775.
43. Bocchieri P., Loinger A. Nonexistence of the Aharonov-Bohm effect. - Nuovo Cimento A, 1978, vol. 47, N 4, p. 475-482.
44. Bocchieri P., Loinger A., Siragusa G. Nonexistence of the Aharonov-Bohm effacts. - Ibid., 1979, vol. 51, N 1, p. 1-17.
45. Woodilla J., Schwarz H. Experiments verifying the Aharonov-Bohm effect. - Am. J. Phys., 1971, vol. 39, N 1, p. 111-112.
46. Bohm D., Hiley B. On the Aharonov-Bohm effect. - Nuovo Cimento A, 1979, vol. 52, N 3, p. 295-308.
47. Baym G. Lectures on quantum mechanics. N.Y.; Amsterdam; Benjamin, 1969, p. 594.
48. Sakurai J.J. Advanced quantum mechanios. Reading (Mass.), 1967, p. 336.
49. Greenberger D.M. Reality and significsnce of the Aharonov-Bohm effect. - Phys. Rev. D, 1981, vol. 23, N 6, p. 1460-1462.
50. Klein U. Comment on "Condition for nonexistence of Aharonov-Bohm effect". - Ibid., p. 1463-1465.
51. Lipkin H.J. Fringing fields and criticisms on the Aharonov-Bohm effect. - Ibid., p. 1466-1468.
52. Wu T.T., Jang C.N. Concept of nonintegrable phase factors and global formulation of gauge fields. - Phys. Rev. D, 1975, vol.12, N 12, p. 3845-3857.

53. Бернстейн Г., Филипс Э. Расслоения и квантовая теория.- УФН, 1982, т. 136, № 4, с. 665-692.
54. Славнов А.А., Фадеев Л.Д. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. М.: Наука, 1978, с. 11-14.
55. Коноплева Н.П., Попов В.Н. Калибровочные поля. М.: Атомиздат, 1980. 239 с.
56. **Aharonov Y., Carmi G. Quantum aspects of the equivalence principle. - Found. Phys., 1973, vol. 3, N 4, p. 493-498.**
57. **Harris J.H., Semon M.D. A review of the Aharonov-Carmi throught experiment concerning the inertial and electromagnetic vector potentials. - Ibid., 1980, vol. 10, N 1/2, p. 151-160.**
58. **Semon M. Experimental verification of an Aharonov-Bohm effect in rotating reference frames. -Ibid., 1982, vol. 12, N 1, p. 49-58.**
59. **Konopinski E.J. What the electromagnetic vector potential describes. - Am. J. Phys., 1978, vol. 46, p. 499-502.**
60. **Calkin M.G. Linear momentum of quasistatic electromagnetic fields. - Ibid., 1966, vol. 34, N 10, p. 921-925.**
61. **Calkin M.G. Comment on "What VP Describes". - Ibid., 1979, vol. 47, N 1, p. 118.**
62. Авраменко Р.Ф., Грачев Л.П., Николаев В.И. Проблемы современной электродинамики и биоэнергетики. - В кн.: Электропунктура и проблемы информационно-энергетической регуляции деятельности человека. М.: Мин. уг. пром., 1976, с. 186-214.
63. Богуш А.А., Мороз Л.Г. Введение в теорию классических полей. Минск: Наука и техника, 1968. 386 с.
64. **Aharonov Y., Carmi G. Quantum-related reference frames and the local physical significance of potentials. - Ibid., 1974, vol.4, N 1, p. 75-81.**
65. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 591 с.
66. Рикитаки Т. Электромагнетизм и внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1968. 331 с.
67. Проблемы солнечной активности. М.: Мир, 1979. 268 с.
68. **Altschuler M.D., Trottev D.E., Newkirk G. The large-scale solar magnetic field. - Solar Phys., 1974, vol. 39, p. 3-21.**
69. Моффат Г. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. М.: Мир, 1980. 340 с.
70. Смайт В. Электростатика и электродинамика. М.: Изд-во иностр. лит. 1954. 270 с.
71. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.Электродинамика сплошных сред. М.: Гоотехтеориздат, 1957, с. 164-165.
72. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Физика межзвездной среды. М.: Наука, 1979. 591 с.
73. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975, с. 128, 420, 530.

74. Бауров Ю.А., Бабаев Ю.Н., Аблеков В.К. О неоднозначности скорости распространения электромагнитного поля. - ДАН, 1982, т. 262, № 1, с. 68-70.
75. Труханов К.А. О возможной роли эффекта Ааронова-Бома в биологическом действии магнитного поля. - В кн.: Физико-математические и биологические основы действия ЭМП и ионизация воздуха. М.: Наука, 1975, т. 1, с. 151-152.
76. Труханов К.А. О возможной роли эффекта Ааронова-Бома в биологическом действии магнитного поля. - Космическая биология и медицина, 1978, т. 12, № 3, с. 82-83.
77. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 367 с.
78. Пиккарди Дж. Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 96 с.

2. Зарядовый эквивалент и его возможная роль в генерации электрического поля биологическими системами

Любая электродинамическая система состоит из совокупности покоящихся или движущихся зарядов противоположных знаков. Такая совокупность создает во внешнем пространстве электрические и магнитные поля, связанные уравнениями Максвелла. Измерение именно этих полей и является задачей экспериментальной техники как в области электрофизики, так и в области электробиологии.

Покажем, что электронейтральная совокупность зарядов противоположных знаков может создать при некоторых условиях внешнее электрическое поле монопольного характера. Пусть в пространстве вдоль некоторой произвольной замкнутой кривой располагаются с одинаковой погонной плотностью равные по величине неподвижные положительные и отрицательные заряды. Приведем в движение, например, отрицательные заряды вдоль неподвижных положительных зарядов со скоростью $\vec{v}$.Тогда в непосредственной близости от произвольного элемента Δl помимо магнитного поля $\vec{B}$,обусловленного движением зарядов именно в этом элементе,возникнет и электрическое поле $\vec{E}$.

Действительно,двигаясь вдоль Δl с некоторой скоростью $\vec{u}$, наблюдатель обнаружит такую систему координат,в которой будет присутствовать только поле $\vec{B}$,так как в этой системе оба сорта зарядов будут создавать порознь равные и противоположные по знаку электрические поля,т.е. напряженность суммарного электрического поля будет равна нулю.Эта система должна двигаться со скоростью $v/2$.

Следовательно,возвратившись в исходную систему координат,где положительные заряды покоятся,измерительный прибор зарегистрирует электрическое поле,направленное по нормали к выделенному элементу $\vec{E}=\frac{1}{c}[\vec{v}\vec{B}]$. Магнитное поле $\vec{B}=\frac{1}{c}[\vec{v}\vec{E}]$,где $\vec{E}$ -электрическое поле,создаваемое толь-

ко движущимися отрицательными зарядами. Подставляя выражение для $\vec{B}$ в формулу для $\vec{E}$, получим величину напряженности электрического поля

$$E = \frac{1}{2c^2}\left|\left[\vec{v}\left[\vec{v}\cdot\vec{E}_{0-}\right]\right]\right| = \frac{1}{2}E_{0-}\frac{v^2}{c^2}$$

Дадим также и релятивистскую интерпретацию рассматриваемого явления. Допустим как и ранее, что в какой-то момент времени имеются две пространственные цепочки положительных e_+ и отрицательных e_- электрических зарядов, распределенных вдоль некоторой пространственной замкнутой кривой с одинаковой плотностью. При этом пусть средние расстояния между положительными и отрицательными зарядами будут равны. Такая совокупность зарядов не будет создавать суммарного внешнего электрического поля E_0, так как поля этих зарядов будут взаимно компенсироваться:

$$E_0 = E_{0-} + E_{0+} = 0.$$

Далее, заставим двигаться заряды e_- с постоянной скоростью v вдоль цепочки e_+. Ввиду релятивистского сокращения расстояния между движущимися e_--зарядами в системе координат, связанной с зарядами e_+, будут восприниматься измерительными приборами укороченными в $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ раз, где c – скорость света. В результате наблюдаемая концентрация зарядов e_- будет увеличенной в $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ раз на всей длине цепочки покоящихся зарядов e_+. Это приведет к тому, что суммарное поле от всей совокупности зарядов уже будет не равно нулю:

$$E = E_- + E_{0+} = E_{0-}\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \neq 0.$$

Появится нескомпенсированное "избыточное" поле, равное E. При малых скоростях движения $v \ll c$ с хорошей степенью точности $E = \frac{1}{2}E_{0-}\frac{v^2}{c^2}$.

Проинтегрировав векторное поле $\vec{E}$ по поверхности S, окружающей рассматриваемую цепочку, придем к выводу, что поток вектора $\vec{E}$ через поверхность S отличен от нуля:

$$\oint_S (\vec{E}\,d\vec{S}) = \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\oint(\vec{E}_{0-}\,d\vec{S}) \neq 0.$$

Этому потоку можно сопоставить некоторое число Q, названное по аналогии с электричеоким зарядом "зарядовым эквивалентом". В рассматриваемом случае

$$Q = \frac{1}{4\pi}\oint_S (\vec{E}\,d\vec{S}) = \frac{1}{2}q_-\frac{v^2}{c^2}.$$

Здесь использовано, что $\oint_S(\vec{E}_0\,d\vec{S}) = 4\pi q_-$, где q_- равно полному числу отрицательных зарядов, движущихся со скоростью v.

Подчеркнем, что возникновение зарядового эквивалента (ЗЭ) является прямым следствием закона сохранения электрического заряда [I].

Ввиду квадратичной зависимости Q от скорости движения v знак ЗЭ не зависит от направления движения e_- вдоль цепи и от её ориентации в пространстве. Если в течение опыта скорость меняется со временем, необходимо усреднение v^2 по времени, и такое усреднение также дает отличное от нуля значение Q : $\bar{Q} = \frac{1}{2} q_- \frac{\overline{v^2}}{c^2}$.

В случае движения множества зарядов e_- с различными скоростями полное среднее $\bar{Q}$ можно найти, использовав выражение

$$\bar{Q} = \sum \frac{1}{2c^2} \int_{q_i} \bar{v}_i^2 \, dq_i ,$$

где суммирование надо проводить по всем сортам заряженных частиц. Так как энергия w_i каждой заряженной частицы, имеющей массу m_i, равна $m_i v^2/2$, то последнее выражение можно представить также в таком виде:

$$\bar{Q} = \frac{1}{c^2} \sum \frac{1}{m_i} \int_{q_i} \bar{w}_i \, dq_i .$$

Простейшими физическими системами, в которых экспериментально обнаружена генерация ЗЭ, являются проводники и, в частности, сверхпроводники [I-3]. При возбуждении тока в электронных проводниках их потенциал относительно Земли менялся и имел отрицательный знак в соответствии со знаком носителей тока. Величина ЗЭ достигала 10^{-12}К, что требовало достаточно чувствительной аппаратуры и тщательного избавления от фоновых помех. Так как ионная решетка проводника не меняла энергии, то ЗЭ определялся по формуле

$$\Delta Q = \left(\frac{\Delta W}{m_e c^2}\right) q_- .$$

Изменение ЗЭ приводит к изменению суммарного электрического поля E вне системы. Если во внешнем пространстве имеются свободные заряды, то под влиянием поля E эти заряды создадут токи утечки, в резу-

---

I) Для вычисления полного заряда в замкнутой цепи необходимо учесть релятивистское сокращение расстояний для зарядов обоих знаков порознь, т.е. $Q_0 = \int \rho_+ dV_+ + \int \rho_- dV = Q_{0+} + Q_{0-} = const$. Если до начала движения $Q_{0+} = -Q_{0-}$, то полный заряд системы по-прежнему останется равным нулю независимо от скоростей этих зарядов. Если же требуется вычислить величину ЗЭ цепи, то необходимо суммировать результирующую плотность наблюдаемых на опыте положительных и отрицательных зарядов по одному и тому же объему dV, относительно которого эти заряды движутся с разными скоростями: $Q = \int (\rho_+ + \rho_-) dV = Q_+ + Q_- \neq Q_0$. Лишь в единственной системе dQ ЗЭ элемента цепи равен нулю (если $\rho_{0+} = -\rho_{0-}$). В этой системе $|\vec{V}_+| = |\vec{V}_-|$ и суммарная концентрация зарядов обращается в нуль. Лишь в этой системе данный элемент не будет создавать внешнего электрического поля.

льтате чего система обязательно нейтрализуется. В итоге ее суммарный заряд и внешнее электрическое поле E_G окомпенсируются до нуля:

$$G = Q + q = 0, \qquad E_G = E_Q + E_q = 0.$$

В связи с этим требуется хорошая электрическая изоляция исследуемого объекта от Земли и аппаратура с большим входным сопротивлением, чтобы время утечки заряда было значительно больше постоянной времени измерительных приборов.

Если после нейтрализации системы достаточно быстро уменьшить энергию движущихся зарядов, например, прекратить ток в проводящей цепи, то ЗЭ обратится в нуль, поле зарядов q окажется не скомпенсированным и прибор обнаружит потенциал системы, противоположный начальному. Спустя некоторое время этот заряд q также стечет и система придет в свое исходное состояние. Подробная теория явления изложена в [1, 4-6].

Перечислим основные свойства зарядового эквивалента.

1. Так как поле ЗЭ подчиняется принципу суперпозиции, зарядовый эквивалент является величиной аддитивной. ЗЭ системы исследуемых тел равен алгебраической сумме ЗЭ, генерируемых каждой из частей системы порознь. Для возникновения ЗЭ не обязательно наличие стационарных во времени цепей. Простое хаотическое движение заряженных частиц при больших их количествах в макросистемах может быть в каждый момент времени представлено в виде меняющихся по конфигурации, распадающихся и возникающих вновь контуров тока, что в силу аддитивности ЗЭ должно приводить к отличному от нуля среднему во времени ЗЭ системы.

2. Изменение ЗЭ любой физической системы линейно зависит от изменения энергий входящих в систему заряженных частиц.

3. Электрическое поле ЗЭ действует на внешние электрические заряды, окружающие систему, точно так же, как и поле обычного электрического заряда.

4. Электрическое поле суммарного отличного от нуля ЗЭ не может быть заэкранировано проводящими экранами. Клетка Фарадея, внутри которой размещается система электрических зарядов, находящихся в движении, как известно, в принципе экранирует любые поля дипольного или мультипольного характера так же, как и поля электромагнитного излучения. Поле же ЗЭ клеткой не экранируется. В связи с этим поле ЗЭ на больших расстояниях r от объекта спадает обратно пропорционально квадрату r, т.е. как $1/r^2$ (в отличие от поля излучения, спадающего как $1/r$).

Далее рассмотрим электрические поля, генерируемые различными живыми организмами в процессе их жизнедеятельности, под углом зрения возможного участия ЗЭ в их генерации.

Электрическое поле клетки

В дальнейшем мы будем исходить из физической концепции о природе электрического поля, которое создает одиночная клетка или целостный

организм. Это значит, что любой живой объект может быть предотавлен в первом приближении как некое оложное динамическое образование, ооотоящее из разнозаряженных частиц - электронов, протонов, свободных радикалов, ионизованных органических и неорганических молекул и т.п. Физико-химические превращения, протекающие в клетках организма, оопровождаются изменением энергии движения заряженных частиц, в первую очередь электронов, переходящих о одного энергетического уровня на другой. Вследствие этого каждая клетка должна генерировать электричеокое поле вне себя, в том числе и поле ЗЭ. Другими словами, поле, генерируемое различными частями клетки, должно иметь кроме дипольных и мультипольных компонент еще и монопольную компоненту, соответствующую полю ЗЭ, пропорциональную изменению средних энергий заряженных чаотиц. Следовательно, потенциал клетки, обусловленный, в чаотноети, полем ЗЭ, может изменятьоя о изменением интенсивности биохимических реакций, протекающих в клетке. Последнее предположение основано на том, что в протоплазме клетки, как в любом электролите, имеются свободные ионы, которые должны очень быстро нейтрализовывать возникающие при этих реакциях дипольные и мультипольные моменты молекул, хаотически распределенные внутри клетки. Именно благодаря этому различные точки протоплазмы клетки имеют одинаковый потенциал [7]. Изменение жизнедеятельности клетки под влиянием различных раздражителей может приводить к изменению потенциала протоплазмы. Так,изменение потенциала протоплазмы жгутиконосца [7], по воей вероятности, обусловлено автоколебательными энергетическими процеооами, связанными с ритмичеокими движениями его жгутика.

Обычно в живой клетке потенциал протоплазмы отрицателен. Однако у изолированных растительных клеток морской водоросли протоплазма имеет положительный потенциал. Такое исключение о точки зрения теории ЗЭ может быть объяснено тем, что при биохимических реакциях, протекающих в клетках этой водоросли, изменение энергии положительно заряженных частиц превалирует над измеиением энергии отрицательных частиц. Знак и величина протоплазматического потенциала клеток должны зависеть от особенностей течения биохимических реакций в данной клетке. Такие универоальные процеоы, присущие воему живому, как ассимиляция и диооимиляция, по-видимому, должны сопровождатьоя изменением знака потенциала клетки в том или ином направлении в зависимости от преобладания одного процеоа над другим.

С другой стороны, согласно основным представлениям мембранной теории электрические процессы в клетке связаны о возникновением положительных и отрицательных зарядов на противоположных сторонах мембраны. Так как электрофизиологические процесоы происходят внутри мембраны и в непосредственной близости от нее, количества положительных и отрицательных зарядов на обеих ее сторонах равны. Поэтому мембрана с физичеокой точки зрения предотавляет собой двойной электрический слой. Но такой слой не может создать электрическое поле как внутри клетки, так и вне ее. Элек-

трические поля, генерируемые клеткой, должны тождественно обращаться в нуль во всех точках внешнего пространства независимо от интеноивности метаболизма клетки. Таким образом, как в протоплазматической, так и в мембранной теории заведомо исключается возможность генерации электричеокого поля вне клетки на расстояниях, значительно превышающих размеры клетки (тем более толщину мембраны). В частности, исключается какое-либо электрическое взаимодействие между отдельными клетками на расстояниях, значительно превышающих размеры этих клеток.

Как уже отмечалось, поле ЭЭ, как и поле электрического заряда, проникает через любые проводящие экраны. Это поле убывает с расстоянием как $1/r^2$. В естественных условиях клетка живет в ореде, обладающей большей или меньшей проводимостью. В среде под влиянием поля ЭЭ возникает ток заряжённых частиц такой, что притекающие к клетке заряды нейтрализуют поле ЭЭ во внешнем пространотве. Однако ввиду большого омического сопротивления мембраны поле в самой мембране не нейтрализуетоя как внешними свободными зарядами, так и зарядами протоплазмы. Ввиду того, что мембраны клеток и клеточных органелл (например, митохондрии) находятся в области наиболее сильных полей ЭЭ, влияние этих полей должно сказываться на функции мембран органелл и оамих клеток.

Потенциал клетки должен зависеть от величины ЭЭ Q и заряда q, находящегооя в данный момент времени внутри нее. Величина же последнего находитоя в прямой завиоимости от сопротивления мембраны в предшествующие моменты времени – чем ниже сопротивление мембраны, тем больше нейтрализующих зарядов q проникает в клетку в единицу времени и тем ее потенциал становится ниже. В случае, если ЭЭ не уравновешивает большего по величине и противоположного по знаку притекшего заряда q, должна наступить инверсия полярности мембраны. Спустя некоторое время заряд q также стечет через мембрану. В итоге клетка придет в свое иоходное или новое стабильное состояние, при котором будет поддерживатьоя некоторая разность потенциалов от ЭЭ и притекшего к данному времени в клетку заряда, обеспечивая так называемое предсуществование потенциала.

Если проводимость среды достаточно велика, то напряжение U на мембране как на двойном электрическом слое определяется полным зарядом $G = Q + q$ внутри клетки. При $U \neq 0$ через мембрану ввиду ее конечного сопротивления R течет ток $i = -\frac{dq}{dt}$ заряда проводимости q. Зная емкость C мембраны, на основании закона Ома получаем

$$-\frac{dq}{dt} = \frac{Q+q}{RC}.$$

Это приводит к дифференциальному уравнению для заряда q:

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{\tau} = \frac{1}{\tau}\int_{-\infty}^{t} J_Q\, dt,$$

где $\tau = RC$, а $J_Q = -\frac{dQ}{dt}$ характеризует скороть генерации ЭЭ, завися-

щую от интенсивности биохимических реакций в клетке. Для точного решения уравнения необходимо знание зависимости τ и J_Q от времени t.

Пусть в первом приближении в некоторый момент времени J_Q меняется скачком от J_{Q_0} до J_Q и далее остается постоянным. Допустим также, что свойства мембраны в течение времени измерения не меняются или меняются незначительно. Практически эти условия реализуются при фотосинтезе кратковременно освещаемых частей листа растения /8/. Тогда можно положить $\tau = const$ и $J_Q = const$. Решение уравнения при этих условиях будет: $q = q_0 - (G_0 + J_Q\tau)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + J_Q t$. Полный заряд клетки будет зависеть от времени следующим образом:

$$G = G_0 - (G_0 + J_Q\tau)\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

Зависимость напряжения на мембране будет описываться уравнением

$$U = U_0 + (U_k - U_0)\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right).$$

При $t = 0$ напряжение равно начальному напряжению U_0. При $t \to \infty$ напряжение стремится к $U_k = -J_Q R$. При стабилизации напряжения на мембране суммарный заряд G остаётся постоянным. При этом ток проводимости через мембрану уравновешивает "ток" ЭЭ, "втекающий" в клетку:

$$i_q = \frac{dQ}{dt} = -J_Q.$$

Электрическое поле растений

Любая растительная ткань может быть представлена в виде совокупности отдельных клеток, разделенных межклеточником, обладающим конечной электрической проводимостью. Клетки растения ограничены мембранами, на которых фиксируются разности потенциалов, зависящие от уровня физиологической активности каждой данной клетки. В связи с этим, как уже отмечалось выше, никакая из клеток в состоянии покоя не смогла бы создать внешнего электрического поля. Разность потенциалов между референтным электродом и измерительным микроэлектродом должна была бы зависеть только от того, введен ли последний внутрь какой-то клетки или находится в межклеточнике. При введении электрода внутрь клетки разность потенциалов зависела бы только от физиологической активности данной клетки. При введении микроэлектрода в межклеточник разности потенциалов не должно было бы наблюдаться ввиду большой электропроводности последнего.

Однако в эксперименте дело обстоит совершенно по-другому. Если локально повредить небольшую часть изолированного листа растения и прикладывать контактный электрод к различным местам некротированного участка, даже не вводя микроэлектрод внутрь клеток, то прибор обнаруживает разность потенциалов между этими местами и референтным электродом на всей площади листа /8/. При одновременном снятии напряжения

с нескольких контактных электродов, расположенных в разных местах листа, обнаруживается напряжение, плавно уменьшающееся с удалением контактного электрода от поврежденного участка. Сразу вслед за некрозом ткани регистрируются разности потенциалов даже между теми электродами, между которыми клетки листа остались невредимыми.

Подобное одновременное изменение демаркационных разностей потенциалов между различными электродами, в том числе и значительно удаленными от поврежденного участка, может быть просто объяснено в рамках теории зарядового эквивалента. При локальном повреждении листа резко изменяетоя ЭЭ этого участка. Появляетоя разбаланс между ЭЭ Q и зарядом q. Суммарный заряд G, имеющий тот или иной знак, создает радиальное поле, со скоростью света распространяющееся вдоль листа. Под влиянием этого поля электроны проводимости устремляются к поврежденному участку, что вызывает изменение его потенциала. Надо отметить, что если входное сопротивление прибора сравнимо или меньше шунтирующего сопротивления межклеточника между измерительными электродами, нейтрализация поврежденного участка будет происходить в основном за счет движения электронов во входной цепи прибора.

Попытки объяснения наблюдаемой разности потенциалов между отдельными участками растений при помощи так называемых метаболичеоких градиентов с физической точки зрения также неудовлетворительны. Поскольку поле клетки по мембранной теории все сосредоточено внутри мембраны, то пространственные перемещения контактного электрода по поверхности листа в принципе не могут обнаружить какой-либо разности потенциалов, независимо от того, к какой клетке прикасается измерительный прибор. Уровень метаболизма должен сказываться только на величине поля внутри двойного слоя мембраны данной клетки.

Особенно выпукло обсуждаемое противоречие проявляется в экспериментах с фотосинтезом в растениях. В литературе [7] справедливо отмечается, что в опытах с локальным освещением листа, когда имеется четкая граница между освещенной частью и тенью, разность потенциалов между референтным электродом и электродом, приложенным к освещенным и теневым участкам, плавно падает с увеличением расстояния вплоть до участков, значительно удаленных от границы света и тени. Зависимость потенциалов точек листа от раоотояния между измерительными электродами не согласуется с зависимостью уровня метаболизма разных клеток лиота от этого расстояния. Клетки освещенной части, в которых наблюдаются интенсивные реакции фотоointеза, создают внешние электрические поля на значительном от себя расстоянии.

С точки зрения теории ЭЭ электрогенерация при фотосинтезе происходит таким образом. В начальный момент начинаетоя избыточная по сравнению с предыдущим временем генерация ЭЭ в освещенной части листа. Это приводит к возникновению поля во всех точках листа – разумеетоя, и в затененных точках. Соответственно изменяются разности потенциалов между всеми измерительными электродами. Чем дальше измери-

тельный прибор измеряет потенциал от освещенной части, тем меньший потенциал он обнаруживает. После истечения времени адаптации новая разность потенциалов определяется динамическим равновесием между возникающим ЭЭ и притекающим к клетке зарядом проводимости. При прекращении освещения возникший ЭЭ постепенно уравновешивается притекшим зарядом и потенциал освещенных ранее клеток спадает до "теневого" уровня.

Большинство зеленых листьев реагирует негативно на оовещенноть. Некоторые же растения, например, элодея, обнаруживают положительную полярность. Это может служить указанием на то, что реакции фотосинтеза в этих растениях качеотвенно отличаются - их энергетический выход в смысле генерации ЭЭ имеет противоположный характер.

Аналогичным образом может быть объяснено возникновение потенциалов метаболического градиента и в других известных случаях, так же как и возникновение потенциалов возбуждения при воздействии на клетки растений электрических, химических, механических и других агентов.

Электрическое поле рыб

Особый интерес в рассматриваемом аспекте представляют электрические поля живых организмов, средой обитания которых является морская вода, в частности, рыб. Дело в том, что морская вода является хорошим проводником электрического тока. Электрическое поле рыб должно было бы быть надежно заэкранировано уже толщей воды порядка размеров каждой особи. Особенно сильно экранирующее действие воды сказывается на электромагнитном излучении. Поэтому если электромагнитный канал связи существует при взаимной передаче информации между живыми организмами, то весьма вероятно, что электрическое поле, генерируемое ими, должно обладать монопольной (продольной) компонентой.

Эксперименты, обсуждаемые в [9], указывают на сам факт наличия электрического поля на большом удалении от погруженных в воду рыб, а организованное поведение сообщества рыб подтверждает наличие электрического канала связи между особями. Скорость распространения информации между организмами в отдельных случаях нельзя объяснить ни зрительным каналом связи, ни звуковым, ни хеморецепцией. Более того, измерения падения величины поля с расстоянием показали, что оно меняется с расстоянием от рыбы как $1/r^2$ (но не как $1/r$). При изменении направления измерительной антенны максимум интенсивности приема поля падает на радиальное направление антенны в отличие от поперечного поля электромагнитной волны. Именно последнее обстоятельотво является причиной проникновения поля рыб на большие расстояния, значительно превышающие размеры особей.

Если одной из причин возникновения электрического поля, генерируемого рыбами, является генерация ЭЭ клетками рыб, то перечисленные свойства поля находят естественное объяснение. Из известных в настоящее время полей только поле ЭЭ и поле электрического заряда способны

проникать через проводящую среду. Однако электрический заряд рыбы ввиду закона сохранения заряда не может меняться без приложения внешнего напряжения. Внешних же источников напряжения, приложенных между клетками рыбы и любой точкой среды, нет. Поэтому остается, по-видимому, единственная возможность - это генерация переменного во времени ЭП клетками рыб.

Электрическое поле других живых организмов или их органов

К настоящему времени накопилось очень большое количество сведений о том, что все известные живые организмы независимо от уровня их организации генерируют электрические поля как внутри себя, так и во внешнем пространстве. Известно, например, что в изолированной мышце животного регистрируется разность потенциалов между электродом, введенным внутрь мышцы, и электродом, приложенным к её поверхности. При этом обычно делается вывод, что внутренняя часть мышцы заряжена отрицательно, а ее поверхность - положительно. Одновременно неявно предполагается и сопровождается соответствующими иллюстрациями то, что сумма отрицательных зарядов внутри мышцы равна сумме положительных зарядов на ее поверхности. При этом не оговаривается, заземлена ли была в опыте поверхность мышцы или нет. Фактически делается неявное предположение о существовании некоего гипотетического "механизма", выталкивающего отрицательные заряды изнутри мышцы на ее поверхность. Такой вывод, вообще говоря, совершенно не обоснован. Дело состоит в том, что измеряется разность потенциалов между точками на ее поверхности и точками внутри мышцы. Известно, что равномерно заряженный электрическими зарядами диэлектрический шар, предварительно изолированный от Земли, также имеет разность потенциалов между центром и поверхностью, хотя на ней по условию и нет никаких положительных зарядов. Если разрезать мышцу на кусочки (то же самое можно сделать и с диэлектрическим шаром) и измерить разности потенциалов между центрами любых кусочков и их поверхностями, то они будут иметь тот же знак. Обычно проводимые измерения проводятся на неизолированной от Земли мышце - не принимается во внимание качество изоляции подставки, на которой находится препарированная мышца. При плохой изоляции естественно, что потенциал мышцы относительно Земли выравнивается до нуля и алгебраическая сумма зарядов в мышце и на поверхности за счет токов утечки обращается в нуль. При хорошей изоляции подставки ($>10^{12}$ Ом) указанная сумма зарядов, вообще говоря, не обязательно должна равняться нулю при достаточно большом времени релаксации установки.

Самое же замечательное состоит в том, что отрицательный заряд внутри мышцы все время восстанавливается. Ток проводимости всегда течет в одном направлении от поверхности к середине мышцы, но никогда, вплоть до полного отмирания, внутренний заряд не компенсируется притекающим через толщу мышцы зарядом противоположного знака. Аналогичная ситуация, очевидно, существует и в одиночной клетке. Для поддер-

жания поотоянства количества отрицательного заряда в клетке необходимо наличие сторонней электродвижущей силы в мембране клетки, обеспечивающей переноо отрицательных зарядов через мембрану против электрического поля. Эту роль, в частности, должен выполнять "активный насос" мембраны. Но каждый "насос" клетки работает только на данную клетку, создавая поле только внутри мембраны данной клетки. Для объяснения разности потенциалов, возникающей между отдельными частями мышцы, пришлось бы вводить еще один не менее гипотетический "насос", так как каких-либо внешних источников напряжения к мышце не приложено.

В рамках ЭЭ объяснение постоянной разности потенциалов в изолированной мышце – следующее: однородная мышца состоит из одинаковых клеток, в которых происходят биохимические реакции, хотя и затухающие во времени. Соответственно этому все клетки генерируют ЭЭ одного знака. Суммарный заряд G , отличный от нуля и равный $Q+q$, создает внешнее поле, убывающее по модулю в направлении от поверхности мышцы к ее середине. Потенциал этого поля и измеряется прибором в описанных опытах. Если мышца изолирована от Земли, то суммарный заряд мышцы не равен нулю. Если же она контактирует с Землей, сумма зарядов в ее объеме и на поверхности равна нулю.

Каждый орган животного ввиду аддитивности ЭЭ и q должен давать свой вклад в общее поле вне организма независимо от частоты изменения ЭЭ и от глубины, на которой находится этот орган, так как остальные ткани организма, несмотря на свою довольно высокую электропроводность, не в состоянии заэкранировать поле ЭЭ, имеющее продольную компоненту. Работающая сердечная мышца животного должна создавать пульсирующую разность потенциалов между клеткой Фарадея, внутри которой находится исследуемое животное, и Землей. Фиксируя в динамике эту разность потенциалов, можно получать информацию о работе сердца, дополнительную к той, которую дают применяемые в настоящее время традиционные способы.

Любое резкое изменение в энергетическом баланое клеток организма должно вызывать всплеск поля ЭЭ во внешнем пространстве. Например, если очень быстро вызвать гибель животного, то это должно привести к соответствующему изменению потенциала клетки Фарадея, внутри которой помещено исследуемое животное.

Особенно любопытны, на наш взгляд, могли бы быть измерения поля ЭЭ при эмоциональных стрессах животных, когда наблюдается максимальная мобилизация воех жизненных сил организма. Биопотенциалы клеток мозга человека при различных его эмоциональных переживаниях в сумме также должны создавать поле ЭЭ, которое в связи с этим может быть использовано в целях исследования и диагностики каких-либо патологических изменений в деятельности ЦНС. Такое преимущество методики измерения ЭЭ, как, например, принципиальная помехозашищенность входных цепей измерительной аппаратурн, может выдвинуть эту методику в ряд наиболее доступных и точных методов диагностики патологий животных и человека.

Последние опубликованные экспериментальные данные подтверждают изложенную в настоящей работе теорию электрогенеза. Измерение эквипотенциальных поверхностей человека указывает на присутствие меняющейся во времени монопольной составляющей в генерируемом человеком внешнем электрическом поле (см. т.I, п.3.2). При гибели подопытной крысы, помещенной в изолированную камеру Фарадея, потенциал последней относительно заземленного экрана изменяется на несколько милливольт и в дальнейшем падает до 0 за счет сопротивления утечки [10].

Проведенный в настоящей статье анализ собственных физических данных и ряда электробиологических данных других авторов приводит к выводу о том, что одним из возможных механизмов генерации электрического поля живыми организмами может явиться эффект генерации зарядового эквивалента в клетках организмов независимо от уровня их организации. Привлечение внимания иоследователей к теории генерации ЭЭ биосистемами может оказатьоя весьма плодотворным для биологической и медицинской практики.

Литература

1. Докучаев В.И. Тесретическое исследование и интерпретация некоторых вопросов, связанных с движением электромагнитной энергии, на основе теории относительности: Дис.... канд. физ.-мат. наук. М.: МОПИ, 1970. 144с.
2. Гончаров И.Н. Установка для проверки эффекта воэникновения зарядового эквивалента: Препринт Р13-697, Дубна: ОИЯИ, 1972. 8с.
3. Edwards W., Kenyon C., Lemon D. Continuing investigation into possible electric fields arising from steady conduction currents. - Phys. Rev. D, 1976, vol. 14, N 4, p. 922-938.
4. Докучаев В.И. Об эффекте возникновения "избыточного" заряда. - Радиоэлектроника летательных аппаратов, 1970, №1, с.86-87.
5. Докучаев В.И. Явление униполярной индукции и эффект возникновения эквивалентного электрического заряда. В кн.: Униполярные электрические машины: Докл. конф. М.: Информэлектро, 1970, с.117-121.
6. Докучаев В.И. Электричеокое поле зарядового эквивалента, генерируемое живым организмом. - В кн.: Физико-математические и биологичеокие проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха: Матер. Всесоюзного научн.-техн. симпоз., Ялта, 25-27 ноября 1975, М.: Наука, 1975, т.I, с.123-124.
7. Коган А.Б. Электрофизиология. М.: Выошая школа, 1969. 368с.
8. Буреш Я., Петрань М., Захар И. Электрофизиологические методы исследования. М.: Наука, 1962. 720с.
9. Протаоов В.Р. Биоэлектрические поля в жизни рыб. М.: Наука, 1972. 228с.
10. Докучаев В.И., Смирнов И.В. О метрологии измерений квазистационарных полей биологического происхождения. - В кн.: Проблемы метрологичеокого обеспечения измерений параметров олучайных полей и сигналов биологических объектов: Тез. докл. М.: ВНИИОФИ, 1982, с.5-7.

24. Зак. 1895

3. Постановка исследований наличия связи между сенсорно-разобщенными биообъектами

Мнения как отечественных, так и зарубежных специалистов в основном сходятся на том, что научных оснований априорно отрицать возможность ощуществования явления овязи между сенсорно разобщенными биообъектами нет [1,2], однако известные результаты экспериментов в этой области не отвечают требованиям, предъявляемым к достоверности научных фактов, и прежде всего потому, что применяемые экспериментальные методики не обеспечивают воспроизводимости результатов. Сомнения усиливаются еще и трудностью обоснования возможнооти существования явления связи между сенсорно разобщенными биообъектами с позиций современных представлений о передаче информации при помощи известных в настоящее время физических полей.

В данной работе излагается принципиально новая постановка и методика исследований наличия связи между сенсорно-разобщенными биообъектами и обсуждается информационно-физическая трактовка этого явления.

Эффект биосвязи, если он действительно существует, имеет общебиологическую значимсстъ и, следовательно, должен проявляться (по крайней мере в экстремальных условиях) у раэличных биологических объектов, в том числе и у животных. Сущность предлагаемого подхода заключается в электрофизиологической стимуляции заданного состояния одной группы биообъектов и объективной оценке реакции другой группы. Метсдика разработана применительно к кроликам.

Поотановке серии опытов, описываемых в данной работе, предшествовал более чем двухлетний этап предварительных исследований, направленных на решение основных методичеоких вопросов: выбор спооооба отимуляции поведенческого состояния кролика-индуктора (И), способа автоматической регистрации функционального состояния кролика-перципиента (П), алгоритма классификации функциональных состояний кролика-П; выбор схемы эксперимента, обеспечивающей однозначную трактовку результатов и возможность оценки их статиотической значимооти. При решении наиболее принципиальных вопросов методики использовались как априорные ооображения, так и результаты большого числа специально поставленных опытов оо слабыми звуковыми раздражителями, с неспецифическим раздражителем в виде постоянного магнитного поля, а также с предполагаемым раздражителем в виде змоционального оигнала кролика-И, удаленного на расстояние 5,40,800,3000 и 7000 м.

В итоге для стимуляции поведенчеокого состояния кролика-И был выбран метод раздражения переменным электрическим током латеральных ядер переднего гипоталамуса. Такой метод позволяет достаточно надежно и просто вызывать реакцию настораживания и сопутствующие ей ориентировочную и поисковую реакции, причем только во время действия раздражителя, что принципиально важно. В качестве автоматически регистрируемого информативного параметра функционального соотояния кролика-П была выбрана текущая средняя частота нулей (переходов через нулевой

уровень) электроэнцефалограммы проекционных соматосенсорных зон коры обоих полушарий. Были разработаны и другие аспекты методики и получены превари тельные результаты, отатистически значимо подтвердившие наличио влияния кролика-И на кролика-П при различных расстояниях между ними. После этого с целью более надежной проверки разработанной методики была проведена специальная (контрольная) серия опытов, описание которых дается ниже.

В опытах использовались кролики в возрасте от восьми месяцев до трех лет, содержавшиеся в одном виварии в индивидуальных клетках. Подготовка животных состояла в операциях по введению и закреплению электродов. Крсликам-И активные электроды вводились в группу латеральных ядер переднего гипоталамуса по общепринятой методике [3,4]. Материалом для погруженных электродов служила изолированная по всей длине нихромовая проволока диаметром 0,2 мм. Кроликам-П электроды вводились на глубину I,5 мм от наружной поверхности кости черепа, от брегмы - на 2 мм, от сагитального шва - на 3мм. Применялись серебряные либо позолоченные медные электроды диаметром I мм. Индифферентный электрод закреплялся строго по сагитальному шву спереди лямбды на расстоянии до I5 мм.

Эксперимент проводился в период с 5 октября по I6 ноября I967 г. Ставилось обычно по два опыта: первый - "утренний" - начинался в 9-I0 ч, второй - "вечерний" - в I4-I5 ч, примерно через 2 ч после окончания первого. Примерно за 40 мин до начала первого опыта из вивария брали семерых кроликов-П и помещали трех из них в одну, а остальных четырех в другую звукоизолированые камеры, расположенные в соседних комнатах в одном здании с виварием. Камеры обеопечивали ослабление внешнего звукового поля на 40-45 дБ и имели электростатический экран (медная сетка). Кролики размещались в индивидуальных клетках (ящиках) подвешенных на жестких растяжках внутри каждой из камер. В течение всего опыта при помощи специальной аппаратуры автоматически измерялся и один раз в 30 с регистрировался в цифровом коде информативный параметр электроэнцефалограммы (ЭЭГ) каждого кролика-П. Цифропечатающее устройство типа ЦПМ находилось вблизи от камер с кроликами-П, вследствие чего в начале каждого цикла действовал звуковой раздражитель. Одновременно с переносом кроликов-П в рабочие камеры из вивария увозили несколько (обычно трех) кроликов на "передающий" пункт, расположенный в семи километрах от "приемного" пункта.

Каждый опыт включал по I5 заранее назначенных временных интервалов - циклов длительностью от I0 до I4 мин. Любой цикл мог быть либо активным, либо пассивным, т.е. с раздражением кроликов-П либо без него. Во время активных циклов производилось раздражение электрическим током латеральных ядер переднего гипоталамуса (частота 50 Гц, напряжение I,5-2,5 В, межэлектродное сопротивление I5-40 кОм, ток порядка 0,I мА). Электрические стимулы подавались периодически через 2-5 с в течение первых 30 с каждого активного цикла. При этом у кроликов-И

появлялась реакция настораживания и сопутствующие ей реакции ориентировки и поиска. Появление требуемой реакции контролировалось экспериментатором визуально. Реакция характеризовалась тем, что кролик сначала поднимал голову, уши, прислушивался, затем мог менять позу; менялась сомато-вегетатика: дыхание учащалось, зрачки расширялись; отмечались комплексы ориентировочных движений с обнюхиванием, прислушиванием и т.п.

Программа подачи воздействий с равновероятным чередованием активных и пассивных циклов задавалась по закону случайных чисел на передающем пункте и заносилась в протокол.

На приемном пункте было известно время начала каждого цикла, но неизвестно, какие циклы являются активными. Предполагалось, что в случае выполнения проверяемой гипотезы функциональное состояние кроликов-П в активные и пассивные циклы различается, что так или иначе должно отражаться в регистрируемом параметре ЭЭГ и обеспечивать возможность правильной классификации циклов (на активные и пассивные) более чем в половине случаев. При выполнении нулевой гипотезы (отсутствие связи) в принятой схеме эксперимента вероятность правильной классификации равна 0,5 (p=0,5), вследствие чего в среднем правильные классификации возможны лишь в половине случаев. По увеличению числа правильных классификаций относительно среднего уровня можно судить о вероятности нулевой гипотезы. Исходя из этого в качестве объективной характеристики результата эксперимента было принято число правильных классификаций s из общего числа классифицированных циклов n. Уровень значимости β_0 критерия проверки нулевой гипотезы определялся обычным образом: $\beta_0 = F(s \geq s_1, n_1)$, где s_1, n_1 – значения, полученные в эксперименте; $F(s \geq s_1, n_1)$ – функция распределения случайной величины s (вероятность неравенства $s \geq s_1$) в случае нулевой гипотезы.

Можно показать, что если процедура назначения программы "передач" либо алгоритм классификации циклов реализует схему независимых испытаний (схему Бернулли) с вероятностями исходов $p = q = 0{,}5$, то в случае выполнения нулевой гипотезы (исходы классификации не зависят от программы передач) распределение $F(s \geq s_1, n_1)$ является биномиальным с $p = q = 0{,}5$. Описанная методика эксперимента обеспечивала приближенное выполнение по крайней мере одного из названных условий, что дало основание принять для расчета уровня значимости нулевой гипотезы формулу биномиального распределения [5]:

$$\beta_0 = \sum_{s=s_1}^{n_1} \binom{n_1}{s} p^s q^{n_1-s} = 2^{-n_1} \sum_{s=s_1}^{n_1} \binom{n_1}{s}. \qquad (1)$$

Использовался также критерий χ^2 согласованности статистического распределения (s, $n-s$) и теоретического ($n/2$, $n/2$), ожидаемого

в случае нулевой гипотезы /5/:

$$\chi^2 = n^{-1}(2S-n)^2, \qquad \gamma = 1,$$

где γ - числс степеней свободы. Уровень значимости критерия χ^2 проверки нулевой гипотезы находился по соответствующим таблицам и практически совпадал с уровнем значимости, определявшимся по формуле (I). В качестве весьма наглядного параметра результата рассчитывалось, кроме того, стандартизованное отклонение u_0 числа правильных классификаций S от среднего значения $\bar{S}$, ожидаемогс в случае нулевой гипотезы: $u_0 = (S-\bar{S})\sigma^{-1}$, где $\bar{S} = pn$, $\sigma = (npq)^{1/2}$. Чем больше u_0, тем менее вероятна нулевая гипотеза. Заметим, что при $\gamma = 1$ $\chi^2 = u_0^2$.

Для классификации циклов был использован алгоритм I.0, основанный на учете одновременно двух разных классификационных признаков, и два частных алгоритма (0.I и 0.2), основанных на дифференциальном учете каждого из этих признаков. После проведения кснтрольной серии опытов была сделана попытка найти дополнительные классификационные признаки. В результате были сформулированы: частный алгсритм 0.3, основанный на использсвании признака повышения взаимной корреляции функциональных состояний кроликов-П под влиянием предполагаемого эмоционального сигнала, алгсритм 2.0, основанный на совместном испсльзовании алгсритмов I.0 и 0.3, и алгсритм 3.0, основанный на совместном использовании алгоритмов 0.I и 0.3.

Частный алгоритм 0.I основан на использовании признака изменения количества цугов регистрируемой последовательности под влиянием предполагаемого эмоционального сигнала. Как уже стмечалось, на "приемном" пункте у каждого из кроликов-П автоматически измерялся и через каждые 30 с регистрировался параметр $f_{\nu k}[j]$ - число нулей электрсэнцефалграммы ν -гс кролика в течение j -й (от начала k -го цикла) полминуты ($\nu = I, \ldots, m$; $k = I, \ldots, \tau$, где m - числс кроликов-П, участвующих в опыте, а τ - сбщее числс циклов в опыте). Наличие цуга определялось условием постоянства знака приращения $f_{\nu k}[j]$ при трех и более посдедовательных значениях аргумента j . Алгоритм состоит из:

I) определения количества цугов $N'_{\nu k}$ в первых десяти полуминутах ($j = I, \ldots, I0$) и количества цугов $N''_{\nu k}$ в следующих десяти полуминутах ($j = II, \ldots, 20$) k -гс цикла;

2) принятия частных решений $R_{\nu k}$ ($\nu = I, \ldots, m$; $k = I, \ldots, \tau$) по каждому из кроликов-П: $R_{\nu k} = I$, если $N'_{\nu k} \neq N''_{\nu(k-1)}$, $R_{\nu k} = 0$, если $N'_{\nu k} = N''_{\nu(k-1)}$;

3) принятия окончательных решений: $\xi_k = I$ (k -й цикл активный), если $R_k > h$; $\xi_k = 0$ (k -й цикл пассивный), если $R_k \leq h$, где $R_k = \sum_{\nu=1}^{m} R_{\nu k}$, $h = 0{,}6m$ - порог, выбранный из условия симметрии решений, т.е. приблизительно одинакового числа решений $\xi_k = I$ и $\xi_k = 0$.

Частный алгоритм 0.2 основан на использовании признака изменения длительности $\tau'_{\nu k}$ наибольшего цуга, возникающего в начале цикла ($j = I, \ldots, 5$), по сравнению с длительностью $\tau''_{\nu k}$ наибольшего цуга, закан-

чивающегося в конце того же цикла (j = I6, ..., 20). Алгоритм состоит из следующих операций:

I) определение длительностей $\tau'_{\nu\kappa}$ и $\tau''_{\nu\kappa}$;

2) определение суммарных длительностей в начале и в конце пяти последовательных циклов:

$$T'_{\nu\beta} = \sum_{\kappa=5\beta+1}^{5\beta+5} \tau'_{\nu\kappa} \quad , \quad T''_{\nu\beta} = \sum_{\kappa=5\beta+1}^{5\beta+5} \tau''_{\nu\kappa} \quad ,$$

где $\beta+1$ – номер пятерки циклов ($\beta+1$ = I, 2, 3);

3) принятие частных решений $\tilde{R}_{\nu\kappa}$ (ν =I,..., μ; $5\beta<\kappa\leq 5\beta+5$) по каждому из кроликов-П в соответствии с логикой: а) при $T'_{\nu\beta}>T''_{\nu\beta}$ $\tilde{R}_{\nu\kappa}$=I, если $\tau'_{\nu\kappa}>\tau''_{\nu\kappa}$, и $\tilde{R}_{\nu\kappa}$=0, если $\tau'_{\nu\kappa}\leq\tau''_{\nu\kappa}$, б) при $T'_{\nu\beta}<T''_{\nu\beta}$ $\tilde{R}_{\nu\kappa}$=I, если $\tau'_{\nu\kappa}<\tau''_{\nu\kappa}$, и $\tilde{R}_{\nu\kappa}$=0, если $\tau'_{\nu\kappa}\geq\tau''_{\nu\kappa}$, в) при $T'_{\nu\beta}=T''_{\nu\beta}$ отказ от решений по данной пятерке циклов;

4) принятие окончательных решений по κ-му циклу: ξ_κ =I (κ-й цикл активный), если $\tilde{R}_\kappa>h$; ξ_κ=0 (κ-й цикл пассивный), если $\tilde{R}_\kappa<h$; "отказ от решения по κ-му циклу", если $\tilde{R}_\kappa=h$, где $\tilde{R}_\kappa=\sum_{\nu=1}^{\mu}\tilde{R}_{\nu\kappa}$, $h=\mu/2$ – порог, заданный из условия симметрии решений.

При формулировке данного алгоритма классификации циклов предполагалось, что, во-первых, реакция кролика-П в начале активного цикла проявляется иначе, чем в конце; во-вторых, характер реакции на предполагаемый эмоциональный раздражитель может меняться, но приблизительно сохраняется в течение ограниченного отрезка времени, который ориентировочно был принят равным пяти последовательным циклам опыта. Алгоритм является адаптивным в том смысле, что учитывает возможность противоположных реакций – увеличения длительности цуга ($\tau'_{\nu\kappa}>\tau''_{\nu\kappa}$) либо его уменьшения ($\tau'_{\nu\kappa}<\tau''_{\nu\kappa}$) в зависимости от исходного состояния кролика и включает операцию определения знака реакции путем сравнения $T'_{\nu\kappa}$ и $T''_{\nu\kappa}$.

Обобщенный алгоритм I.0 основан на учете одновременно двух признаков регистрируемой последовательности, использованных в алгоритмах 0.I и 0.2. При этом вначале осуществляются описанные выше операции по определению $R_{\nu\kappa}$ и $\tilde{R}_{\nu\kappa}$, после чего принимаются частные решения $\rho_{\nu\kappa}$ (ν= =I,..., m ; κ=I,..., τ) по каждому кролику-П: $\rho_{\nu\kappa}$ =I, если $R_{\nu\kappa}=\tilde{R}_{\nu\kappa}=$ =I, $\rho_{\nu\kappa}$=0, если $R_{\nu\kappa}=\tilde{R}_{\nu\kappa}$=0, "отказ от решения", если $R_{\nu\kappa}\neq\tilde{R}_{\nu\kappa}$ (в случае, когда решение $\tilde{R}_{\nu\kappa}$ отоутствует, полагается $\rho_{\nu\kappa}=R_{\nu\kappa}$). Окончательное решение относительно κ-го цикла принимается по двухпороговой схеме: ξ_κ=I (κ-й цикл активный), если $\rho_\kappa>h_2$, ξ_κ=0 (κ-й цикл пассивный), если $\rho_\kappa\leq h_1$, "отказ от решения по κ-му циклу", если $h_1<\rho_\kappa\leq h_2$, где $\rho_\kappa=\sum_{\nu=1}^{m}\rho_{\nu\kappa}$ и $h_2=(m+1)/2$, $h_1=m/2$ – пороги, заданные из условия симметрии решений.

Частный алгоритм 0.3 основан на использовании признака повышения взаимной корреляции функциональных состояний кроликов-П под влиянием

предполагаемого эмоционального сигнала. Алгоритм 0.3 состоит из следующих операций над регистрируемой последовательностью $f_{\nu\kappa}[j]$:

I) определение разности четвертого порядка (выделение верхних частот регистрируемой последовательности) при помощи рекуррентной формулы

$$\Delta^i f_{\nu\kappa}[j] = \Delta^{i-1} f_{\nu\kappa}[j+1] - \Delta^{i-1} f_{\nu\kappa}[j], \quad i = 1, \ldots, 4;$$

2) центрирование $\mathcal{S}_{\nu\kappa}[j] = \Delta^4 f_{\nu\kappa}[j] - 40^{-1} \sum_{j=1}^{40} \Delta^4 f_{\nu\kappa}[j]$;

3) оценка взаимной корреляции последовательностей $\mathcal{S}_{\nu\kappa}[j]$ и $\mathcal{S}_{\mu\kappa}[j \pm \ell]$ $(\nu, \mu = 1, \ldots, m;\ \nu \neq \mu;\ \ell = 0, \ldots 4)$:

$$R^{\kappa}_{\nu\mu}[\ell] = \alpha_\nu[0]\,\alpha_\mu[\ell] \sum_{j=1}^{10} \mathcal{S}_{\nu\kappa}[j]\,\mathcal{S}_{\mu\kappa}[j+\ell],$$

$$R^{\kappa}_{\nu\mu}[-\ell] = \alpha_\nu[\ell]\,\alpha_\mu[0] \sum_{j=1}^{10} \mathcal{S}_{\mu\kappa}[j+\ell]\,\mathcal{S}_{\nu\kappa}[j],$$

где

$$\alpha_\nu[\ell] = \left(\sum_{j=1}^{10} \mathcal{S}^2_{\nu\kappa}[j+\ell] \right)^{-\frac{1}{2}};$$

4) выбор наибольшего значения по ℓ из $|R^{\kappa}_{\nu\mu}[\pm\ell]|$:

$$|R^{\kappa}_{\nu\mu}[\ell_{max}]| \geqslant |R^{\kappa}_{\nu\mu}[\pm\ell]|, \quad \ell = 0, \ldots, 4;$$

5) вычисление среднего значения $|R^{\kappa}_{\nu\mu}[\ell_{max}]|$ в κ-м цикле:

$$\bar{R}_\kappa = \frac{2}{m(m-1)} \sum_{\nu=2}^{m} \sum_{\mu=1}^{\nu-1} |R^{\kappa}_{\nu\mu}[\ell_{max}]|, \quad m = 7;$$

6) вычисление среднего $\bar{R}_\kappa$ за опыт: $\bar{\bar{R}} = z^{-1} \sum_{\kappa=1}^{z} \bar{R}_\kappa$;

7) принятие решения: "цикл активный", если $\bar{R}_\kappa > \bar{\bar{R}}$; "цикл пассивный", если $\bar{R}_\kappa \leqslant \bar{\bar{R}}$.

Обобщенный алгоритм 2.0 заключается в совместном использовании алгоритмов I.0 и 0.3 путем принятия решения в соответствии с одинаковым (совпадающим) исходом классификации по этим двум алгоритмам и отказа от решения во всех остальных случаях.

Обобщенный алгоритм 3.0 заключается в совместном использовании алгоритмов 0.I и 0.3 путем принятия решения в соответствии с одинаковыми исходами классификации по этим двум алгоритмам и отказа от решения в случае противоположных исходов.

Серия из 36 опытов, проведенных и обработанных по изложенной методике, включала всего 535 циклов. Результаты сопоставления исходов класоификации циклов на активные и пассивные с программой "передач" даны в табл.24 и 25.

Из таблиц видно, что число совпадений исходов классификаций с программой значительно больше половины общего числа классифицированных циклов. Вероятность случайности полученного превышения, определяемая уровнем значимости β_0, очень мала, что дает основание принять аль-

Таблица 24. Результаты сопоставления исходов классификации циклов с программой подачи воздействий

Харктеристика	Алгоритм					
	I.0	2.0	3.0	0.I	0.2	0.3
Общее чиоло циклов	535	535	535	535	535	535
Число отказов от классификации	II6	3I2	264	0	7I	0
Число циклов, которые были классифицированы	4I9	223	27I	535	464	535
Число совпадений исходов классификации с программой	259	I58	I82	308	266	32I
Число несовпадений исходов классификации с программой	I60	65	89	227	I98	2I4

Таблица 25. Значения основных параметров результата контрольного эксперимента

Алгоритм	Параметр				
	n	S	S/n	u_o	β_o
I.0	4I9 (2I9)	259 (I32)	0,6I8 (0,603)	4,83	$7 \cdot I0^{-7}$
2.0	223 (II6)	I58 (80)	0,708 (0,690)	6,22	$I \cdot I0^{-9}$
3.0	27I (I35)	I82 (89)	0,672 (0,660)	5,70	$I \cdot I0^{-8}$
0.I	535 (277)	308 (I6I)	0,575 (0,580)	3,52	$2 \cdot I0^{-4}$
0,2	464 (244)	266 (I37)	0,574 (0,562)	3,I4	$8 \cdot I0^{-4}$
0.3	535 (277)	32I (I57)	0,600 (0,567)	4,62	$2 \cdot I0^{-6}$

Примечание: n - число классификационных циклов, S - число совпадений исходов классификации с программой (в скобках даны значения параметров только для активных циклов); β_o - уровень значимости критерия проверки нулевой гипотезы.

Таблица 26. Результаты, полученные в предположении независимости частных решений, принимаемых по отдельным кроликам-П

Алгоритм	Параметр				
	n	s	s/n	u_0	β_0
I.0	I999	III5	0,558	5,I9	$3 \cdot I0^{-7}$
0.I	3542	I888	0,533	3,93	$4 \cdot I0^{-5}$
0.2	3I24	I654	0,529	3,24	$6 \cdot I0^{-4}$

тернативную гипотезу, т.е. гипотезу о наличии связи между кроликами, удаленными друг от друга на расстояние 7 км.

Заметим, что при рассмотрении частных решений по каждому из кроликов-П (алгоритмы 0.I; 0.2 и I.0) в предположении их независимости результат не только не ухудшается, но даже оказывается еще более значимым (табл.26). Последнее, по-видимому, является лишь следствием приближенности исходного предположения о независимости между частными решениями.

Определенный интерес может представлять соотношение между числом "положительных" и "отрицательных" опытов. Будем i-й опыт считать положительным, если $s_i \geqslant 0{,}6\, n_i$, и отрицательным, если $s_i \leqslant 0{,}4\, n_i$, где n_i - число циклов, классифицированных в этом опыте, s_i - число правильно опознанных циклов. Пусть s' - число положительных и s'' - число отрицательных опытов. Очевидно, что в случае нулевой гипотезы оба исхода равновероятны, и поэтому средние значения s' и s'' должны быть одинаковыми. Статистически значимое превышение s' над s'' является свидетельством в пользу альтернативной гипотезы. Уровень значимости критерия проверки нулевой гипотезы β_0 рассчитывается по формуле (I), в которой теперь уже следует принимать $s \to s'$, $n \to n' = s' + s''$. Результаты, полученные для контрольной серии опытов, приведены в табл. 27.

Небольшое ухудшение уровня значимости по сравнению с приведенным в табл.25 объясняется тем, что объединение всех исходов одного опыта в один исход представляет собой нелинейную операцию и, следовательно, связано с некоторой потерей полезной информации. Тем не менее оценки, приведенные в табл. 27, представляют самостоятельный интерес, так как их определение не связано с предположением о полной независимости между элементами программы передач либо между результатами классификации циклов; достаточно предположения о независимости программы либо решений от опыта к опыту. Из табл. 27 видно, что число положительных опытов достигает более 90% (критерий 0,3) от общего числа классифицированных опытов, что само по себе выглядит весьма убедительно.

Заметим, что наряду с приведенными выше итоговыми таблицами результатов имеются подробные таблицы исходов классификации каждого отдель-

Таблица 27. Статистика числа опытов с положительным исходом

Алгоритм	Параметр				
	n'	S'	S/n'	u_0	β_0
I.0	29	25	0,865	3,9	$5 \cdot I0^{-5}$
2.0	28	25	0,895	4,2	$I \cdot I0^{-5}$
3.0	3I	28	0,875	4,2	$I \cdot I0^{-5}$
0.I	27	22	0,8I5	3,3	$5 \cdot I0^{-4}$
0.2	2I	I7	0,8I0	2,8	$2 \cdot I0^{-3}$
0.3	26	24	0,923	4,3	$I \cdot I0^{-5}$

Примечание: S' – число опытов с положительным исходом, $(n' - S')$ – число опытов с отрицательным исходом.

ного цикла всех опытов по всем применявшимся алгоритмам. Наличие таких таблиц обеспечивает возможность выборочной (а если требуется, и полной) проверки правильности полученных результатов на основе использования имеющегося первичного материала, который для каждого опыта представлен протоколом передающего пункта с программой передач, протоколом приемного пункта и лентой с автоматически отпечатанными значениями информативного параметра ЭЭГ всех кроликов-II, участвовавших в опытах.

Таким образом, основной итог проведенных исследований состоит, как нам представляется, в том, что разработана объективная экспериментальная методика, которая может быть использована для воспроизведения в независимых экспериментах изложенных выше результатов, статистически значимо подтверждающих наличие связи между двумя группами кроликов, удаленных друг от друга на значительное расстояние. Именно экспериментально-методическая сторона вопроса составляет содержание данной работы, и мы здесь не касаемся ряда смежных аспектов, в том числе и вопроса о возможной физической природе канала связи между биообъектами. Заметим лишь, что в настоящее время, по-видимому, нет достаточных оснований априорно исключать даже простейшую гипотезу о физической природе этого канала – электромагнитную гипотезу.

Дело в том, что для передачи малых объемов информации в условиях реальных шумов требуется излучение электромагнитного сигнала очень малой мощности. Оценку требуемой мощности излучаемого сигнала легко получить, исходя из теоремы Шеннона [6] о максимальной пропускной способности канала связи при наличии шума, которая математически записывается в виде соотношения $C = W \log_2 (1 + PN^{-1})$ и при малом отноше-

нии сигнала к шуму ($PN^{-1} \ll 1$) может быть представлена следующим образом:

$$C \approx W(\ln 2)^{-1} PN^{-1}, \qquad (2)$$

где C - максимальная скорость передачи информации, измеряемая в битах в секунду, W - ширина полосы частот канала, P - средняя мощность сигнала на входе приемника, N - мощность шума на входе приемника в полосе частот W, причем шум предполагается белым гауссовым.

Если сигнал имеет электромагнитную волновую природу, то мощность сигнала на входе приемника может быть определена произведением

$$P = \Pi S, \qquad (3)$$

в котором S - так называемая площадь приема электромагнитной волны [7], а Π - плотность потока мощности электромагнитной волны (вектор Пойнтинга), причем в случае ненаправленного излучения в условиях свободного пространства

$$\Pi = P_\Sigma (4\pi r^2)^{-1}, \qquad (4)$$

где P_Σ - мощность сигнала, излучаемого передатчиком, r - расстояние от излучателя до приемника.

Мощность шума (N) на входе приемника, обусловленного принципиально неустранимыми источниками шума, можно представить следующим образом:

$$N = (\beta + \alpha) S W, \qquad (5)$$

где $\alpha = kTS^{-1}$, kT - спектральная плотность внутреннего теплового шума, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура входных элементов приемной системы, β - спектральная плотность потока мощности внешнего шума, определяемая выражением [7]

$$\beta = k T_я \, 4\pi \lambda^{-2}, \qquad (6)$$

в котором λ - длина электромагнитной волны в свободном пространстве, $T_я$ - так называемая яркостная температура внешних источников шума, среднестатистические значения которой для различных диапазонов волн известны [7]. Заметим, что параметр α в формуле (5) обычно мал по сравнению с β, так как $T_я \gg T$, а S^{-1} и $4\pi\lambda^{-2}$ соизмеримы, совпадая ($S^{-1} = 4\pi\lambda^{-2}$) в предельном случае [7].

На основании соотношений (2) - (6), пренебрегая в (5) значением α по сравнению с β, приходим к следующему выражению, связывающему

мощность излучаемого электромагнитного сигнала с параметрами канала передачи информации:

$$P_{\Sigma} \approx (\ln 2)(4\pi)^2 k T_{\text{я}} C r^2 \lambda^{-2} . \qquad (7)$$

Отсюда легко видеть, что для передачи информации с малой скоростью необходимая мощность излучаемого электромагнитного сигнала оказывается весьма незначительной даже при больших расстояниях между передатчиком и приемником. Например, при расстоянии семь километров ($r = 7 \cdot 10^3$ м) для передачи информации со скоростью один бит в секунду ($C = 1$ бит/с) в диапазоне волн порядка тридцати метров ($\lambda = 30$ м, $T_{\text{я}} \approx 10^5$ град) необходимая мощность излучаемого сигнала согласно (7) составляет примерно 10^{-11} Вт, а в диапазоне волн порядка трехсот метров ($\lambda = 300$ м, $T_{\text{я}} \approx 10^6$ град) необходимая мощность излучаемого сигнала оказывается еще меньшей и составляет всего 10^{-12} Вт. Сигналы такой малой мощности без знания кода трудно обнаружить даже в непосредственной близости от излучающего их объекта, но если код известен, то, согласно (7), те же самые ничтожные мощности излучаемых сигналов оказываются достаточными для передачи информации от передатчика к приемнику при весьма большом расстоянии между ними. Это показывает, насколько скрытым может быть электромагнитный канал связи для наблюдателя, не располагающего кодом передачи. Этим мы и ограничим небольшой экскурс за пределы основной темы данной работы.

Литература

1. БСЭ. 3-е изд. 1975, т.19, с.192.
2. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. М.: Наука, 1975, с.19.
3. Мещерский Р.М. Стереотаксический метод. М.: Медицинская литература, 1961. 203 с.
4. Фифкова Е., Маршалл Дж. Стереотаксический атлас мозга кошки, кролика, крысы. - В кн.: Электрофизиологические методы исследования. М.: Изд-во иностр. лит., 1962, с.84-426.
5. Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975, 646 с.
6. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики. М.: Изд-во иностр. лит., 1963, 447 с.
7. Антенны. Пер. под ред. Ю.К.Муравьева. М.: Мир, 1966. 373с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

ВВЕДЕНИЕ 5

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ I2

ГЛАВА I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ И ИХ ПРИРОДА I5

I. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ I5

I.I. Солнце как источник электромагнитного и корпускулярного излучений. Б.М.Владимирский I5

I.2. Солнечная активность и циркуляционные процессы в тропосфере. К.Ф.Угарова, Н.Л.Павлова, Р.Ш.Калантадзе ... 25

I.3. Вариации космических лучей в биосфере. Л.И.Мирошниченко 33

I.4. Геомагнитные поля и их вариации. Н.П.Бенькова, А.Д.Шевнин 40

I.5. Электрические поля атмосферы Земли и их природа. Н.В.Красногорская, Л.А.Похмельных 54

I.6. Электромагнитное поле атмосферы Земли инфранизкочастотного диапазона. Н.В.Красногорская, С.П.Соловьев .. 66

I.7. Атмосферики и их природа. Л.Г.Махоткин 72

2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ АНТРОПОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ 84

2.I. Биологические эффекты действия антропогенных электромагнитных полей. В.А.Веников 84

2.2. Электрические поля электроустановок сверхвысокого напряжения. М.Д.Столяров 90

2.3. Электромагнитные поля в окрестности радиотехнических станций. В.Я.Ицков I0I

2.4. Электромагнитные поля, возникающие при движении в геомагнитном поле. К.А.Труханов, А.Д.Шевнин I09

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ИЗЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ..II8

3.I. Электрические поля биообъектов. П.И.Гуляев, В.И. Заботин, Н.Я.Шлиппенбах II8

3.2. Внешние инфранизкочастотные электромагнитные поля организмов. Ю.В.Торнуев, С.А.Куделькин I25

3.3. О возможных механизмах генерации электромагнитных излучений живыми системами. Н.В.Красногорская, В.П.Малов, Л.А.Шелепин I33

ГЛАВА II. ВЛИЯНИЕ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БИОСФЕРУ И ЧЕЛОВЕКА 141

I. РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ 141

I.I. О возможных геофизических механизмах влияния солнечной активности на организм. Б.М.Владимирский 141

I.2. Значение секторной структуры межпланетного магнитного поля в синхронизации психофизиологической регуляции человека. Я.Я.Рудаков, С.М.Мансуров, Л.Г.Мансурова, А.А.Портнов, Ю.И.Полищук, М.Б.Мазурский 150

I.3. Влияние гелиогеофизических факторов на сердечно-сосудистую и легочную патологию. Б.В.Богуцкий, В.П.Пяткин 159

I.4. О прогнозировании частоты осложнений сердечно-сосудистых заболеваний. Р.М.Заславская, И.Г.Лившиц, Н.В.Лернер 166

I.5. О возможности прогноза заболеваемости инфарктом миокарда по анализу гелиогеофизических данных. И.К.Кондратюк, А.М.Боборыкин, А.П.Емельянов 177

I.6. О долгосрочном прогнозировании эпизоотий. А.А.Лавровский, Н.В.Попов, О.К.Дробинская, В.И.Маштаков, В.Л.Шевченко 184

2. РЕАКЦИИ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА СОЛНЕЧНУЮ АКТИВНОСТЬ 193

2.I. Влияние солнечной активности на скорость окисления тиоловых соединений. В.В.Соколовский 193

2.2. Анализ рядов наблюдений с унитиоловым тестом. Н.И.Музалевская, В.В.Соколовский 201

2.3. Сопоставление показаний унитиолового и акрилонитрилового тестов со спонтанными изменениями ферментативной активности нервной ткани. Р.Н.Павлова, Н.К.Зайцева .. 215

2.4. Корреляция макроскопических флюктуаций в биологических и физико-химических процессах с космофизическими факторами. Л.П.Агулова, Н.В.Удальцова, С.Э.Шноль 220

2.5. Цветная реакция триптофана. Е.Н.Москалянова, А.П.Салей

2.6. Влияние гелиогеомагнитной активности и слабых искусственных магнитных полей на агглютинацию бактерий. А.М.Опалинская, Л.П.Агулова 228

2.7. О роли воды в первичных механизмах воздействия гелиогеофизических факторов на простейшие модели живых систем. Л.Д.Кисловский 240

ГЛАВА III. ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ 246

I. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ 246

I.I. Методы измерения электрических полей в атмосфере. Н.В. Красногорская, В.А.Мельников, В.В.Рыбин, С.П.Соловьев

I.2. Методы измерения геомагнитного поля и его вариаций. Д.Л.Фингер 257
I.3. Методы измерения электромагнитных полей живых организмов. Ю.В.Торнуев 270
I.4. Квантовый градиентометр для измерения магнитных полей биообъектов. А.Н.Козлов, С.Е.Синельникова, И.О.Фомин 279
I.5. Индикация электрических и магнитных полей жидкими кристаллами. И.Г.Чистяков, Л.К.Вистинь, З.Б.Раджабова, С.П.Чумакова..... 286

2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ 294
2.I. Системный подход к решению проблемы взаимодействия внешней среды с биологичеокими объектами. Н.Ф.Реймерс 294
2.2. Проблемы применения вычислительных методов для исследования влияния электромагнитных полей на биологические системы. М.К.Чернышев 300

3. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И РЕАКЦИЙ ЖИВЫХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ 3II
3.I. Изменение электрического поля атмосферы как возможный предвестник землетрясений. А.А.Воробьев, В.П.Ремизов 3II
3.2. Живые системы на службе прогноза землетрясений. Н.В.Красногорская, В.Р.Протасов, Е.В.Харыбин, А.Я.Сидорин, А.Д.Саблин-Яворский, Ю.В.Самуйленков... 3I5
3.3. Роль электромагнитного поля в изучении внутреннего строения Земли и методы интерпретации электромагнитных аномалий. М.С. Жданов..... 325

ГЛАВА IУ. НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ..... 33I
I. Векторный потенциал электромагнитного поля. К.А.Труханов..... 33I
2. Зарядовый эквивалент и его возможная роль в генерации электрического поля биологическими системами. В.И.Докучаев..... 350
3. Постановка исследований наличия связи между сенсорно - разобщенными биообъектами. В.П.Перов..... 362

Издание осуществлено с оригинала,
подготовленного к печати
Научным советом по проблемам биосферы
АН СССР

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В БИОСФЕРЕ

Том I

Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение

Утверждено к печати
Научным советом по проблемам биосферы
АН СССР

Редактор *Л.Е. Кононенко*

Подписано к печати 09.10.84. Т – 05225
Формат 60 X 90 1/16. Бумага офсетная № 2
Печать офсетная. Усл.печ.л. 23,5
Усл.кр.-отт. 23,5. Уч.-изд.л. 27,2
Тираж 2200 экз. Тип. зак. 1895
Цена 2р. 10к. Заказное

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

Опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
244	9 сн.	миокарда	Пиккарди
	8 сн.	Изд-во ТГУ,	Изд-во ТГУ, 1978,
245	22 св.	нет данных	1956, v.19, №1, p.45-52.
247	4 св.	заряда	эонда
275	2 сн.	по данным /19/	по данным /20/
301	13 св.	открытых	скрытых
302	4 св.	циклу	пику
	11 сн.	фазы линии	линии
303	15 сн.	корреляции	коррекции
280	6 сн.	10	10^6

Зак 52-1800

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ БИОСФЕРЫ
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ СССР
ВСЕСОЮЗНОЕ НАУЧНОЕ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В БИОСФЕРЕ

ТОМ II

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Под редакцией
доктора физико-математических наук Н.В. КРАСНОГОРСКОЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"
Москва 1984

УДК 591.544

Электромагнитные поля в биосфере (в двух томах). Т.II. Биологическое действие электромагнитных полей. М.: Наука, 1984.

В книге излагаются результаты исследований действия электромагнитных полей в широком диапазоне частот на биологические системы и их модели. Оценивается роль неравновесных состояний живой материи, электрических сил и информационных взаимодействий в этих процессах. Обсуждаются общие подходы и некоторые результаты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей и излучений. Особое внимание уделено механизмам действия слабых сигналов и биоусиления. Оценивается роль внешних факторов в медикаментозном лечении, приводятся примеры практического использования электромагнитных полей в медицине и биологии.

Книга рассчитана на специалистов разного профиля, интересующихся проблемами взаимодействия внешней среды с биологическими системами и охраны биосферы, а также на экологов, биофизиков, биохимиков, медиков и других лиц, работающих в смежных областях.

Табл.10. Ил.54. Библиогр. 1062 назв.

Ответственные редакторы

академик А.В.Фокин,
академик АМН СССР В.П.Казначеев

Э $\frac{2001040000 - 168}{042(02) - 84}$ без объявления

© Научный совет по проблемам биосферы АН СССР, 1984 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемый читателю второй том коллективной монографии "Электромагнитные поля в биосфере" является логическим продолжением обсуждения проблемы взаимодействия внешней среды (в основном, электромагнитных полей) с биологическими системами, начатом в первом томе "Электромагнитные поля атмосферы Земли и их биологическое значение".

Второй том "Биологическое действие электромагнитных полей" состоит из трех глав и приложения.

В главе I излагаются общие свойства живых систем и их изменения под влиянием электромагнитных полей различных частотных диапазонов на всех уровнях организации биосистем. Основным методологическим принципом, на базе которого ведется обсуждение, является концепция Баузра об устойчивом неравновесии живой материи. Важнейшим свойством устойчиво-неравновесных систем является их способность к биологическому усилению слабых сигналов, что имеет первостепенное значение для развития представлений об информационной роли электромагнитных полей. Приводятся результаты экспериментальных исследований влияния электромагнитных полей на метаболизм, активность ферментов, адаптационные и регуляторные механизмы, на нормальный и злокачественный рост, на физиологические системы. Рассматриваются данные об избирательной чувствительности организмов к различным частотным диапазонам электромагнитных излучений, о зависимости реакций биообъектов от параметров действующих сигналов. Показано, что электромагнитные поля в зависимости от частотного диапазона могут оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее действие, например, на развитие злокачественных новообразований. Кроме того, электромагнитные излучения могут изменять эффекты действия других факторов (физико-химических, биологических) на организм, усиливая или ослабляя их действие. Уделяется внимание вопросам, которые в стандартных руководствах по биофизике и исследованиях влияния электромагнитных полей на организмы не получили до сих пор достаточного освещения. Рассматривается роль кожного анализатора, как важного канала передачи сигналов электромагнитных полей из внешней среды в организм. Несомненный интерес предотавляет также комплексное рассмотрение проблем электромагнитобиологии и биоритмологии, являющееся примером взаимодействия близких по методологии и направленнооти областей науки.

Обсуждению механизмов действия электромагнитных полей на биолгические и модельные системы посвящена глава II. В ней рассмотрены общие аспекты постановки и исследования проблем взаимодействия электромагнитных полей о биологическими системами и ведущие направления изучения механизмов этих процессов. Основное внимание уделяется фактам и закономерностям, связанным не с тривиальным тепловым действием электромагнитных полей, а с их информационной, сигнальной ролью. Приведенный в этой главе материал отражает современное состояние представлений о механизмах действия электромагнитных полей. Читатель получит хороший обзор су-

ществующих концепций, представленных в трудах отечественных и зарубежных ученых, а также познакомится с некоторыми новыми направлениями, которые разрабатываются авторами монографии. Материалы этой главы интересны не только биологам, но и физикам, для которых электромагнитобиология может стать весьма привлекательной областью исследований как в теоретическом, так и в экспериментальном плане.

Проблемы комплексного использования электромагнитных полей в диагностике и лечении в сочетании с лекарственной терапией посвящена глава III. Первоочередное внимание уделяется методам, опирающимся на применение сравнительно слабых электромагнитных полей и токов, действие которых не сводится лишь к нагреву тканей, существенному в стандартных физиотерапевтических методах. В частности, не сводимы к тепловым эффектам те явления, которые лежат в основе влияния электромагнитных полей низкой частоты и слабых токов на процессы тканевой трофики и регенерации. Рассматриваются некоторые диагностические аспекты использования характеристик электромагнитных полей, которым в стандартных руководствах по электрофизиологии обычно не уделяется достаточного внимания, в частности, методы использования электрических параметров клеток в биологии и медицине. Предлагаются некоторые новые тесты для характеристики патологических состояний организмов, приводятся примеры использования низкочастотных магнитных полей в травматологии и офтальмологии.

Изложенные результаты исследований открывают широкие перспективы для практического использования электромагнитных полей в решении прикладных задач и дают основания для разработки и дальнейшего совершенствования приборов и аппаратуры, основанных на эффектах биологического действия электромагнитных излучений. Развитие исследований в области электромагнитобиологии и медицины требует решения большого числа новых задач по созданию и метрологическому обеспечению поисковых исследований специальной аппаратурой.

В приложении изложены концепция глобального эксперимента "Солнце-климат - человек" и методолгия информационного обеопечения исследований в области электромагнитобиологии и медицины.

По нашему мнению, монография привлечет внимание многих исследователей к постановке новых и успешному решению существующих проблем в области взаимодействия внешней среды с биосистемами и послужит отимулом для разработки более совершенных форм контрольно-измерительной техники.

В.П.Казначеев
Р.И.Утямышев

ГЛАВА I. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

I.I. Устойчивое неравновесие - основа избирательной чувствительности организма

В процессе эволюции живые организмы выработали чрезвычайно совершенные, зачастую находящиеся на пределе разрешенных законами физики возможностей, механизмы ответных реакций на изменения факторов внешней среды. Эти механизмы обеспечивают как согласованное взаимодействие частей целостного организма, так и гармоническое соответствие между частями биосферы как целого [1]. Характерной чертой этих механизмов является способность избирательно реагировать на специфические параметры раздражителя, такие, как амплитуда, частота и, в более общем случае, "код" сигнала. Хорошо изучены в настоящее время механизмы кодирования информации, связанные со специальными рецепторными клетками - фото-, механо-, хемо- и терморецепторами, настроенными на восприятие специфических форм энергии, обеспечивающих контактное и дистантное взаимодействие между организмами [2]. Вопрос о наличии и характере избирательной чувствительности живых объектов к электромагнитным полям (ЭМП) является одним из основных в современной электромагнитобиологии.

Несмотря на огромное разнообразие типов рецепторов, существует глубокая общность биофизических процессов, лежащих в основе избирательной чувствительности. Основой любого рецепторного акта является, как стало ясно в последние годы, конформационный переход специализированного белка, происходящий под действием физического фактора [3,4]. Конформационные переходы белков-рецепторов являются начальной стадией восприятия действия раздражителей любой физической природы. Однако это лишь первая стадия процесса биологического усиления.

Для того, чтобы организм (в простейшем случае - отдельная клетка) мог ответить на сигнал из внешнего мира адекватной реакцией, необходимо с точки зрения биологической кибернетики [1] иметь в самой структуре организма избыточную энергию, способную "разрядиться" под действием пускового внешнего фактора. При этом энергия внешнего воздействия может быть на много порядков меньше, нежели ответная реакция организма.

Существование усилительных систем, способных развивать в ответ на слабое сигнальное воздействие реакцию, многократно превосходящую по энергии исходный сигнал, является общим требованием кибернетики, не зависящим от конкретной природы кибернетической системы. В биологических системах наличие таких усилителей связано с фундаментальным свойством живой материи, которое было выражено Э.С.Бауером в понятии

"устойчивого неравновесия" [5]. Представления об устойчивом неравновесии живой материи получили полное признание лишь в 60-70-х годах, чему немало способствовали глубокие исследования в области термодинамики открытых систем [6,7].

Принцип устойчивого неравновесия, являющийся основным постулатом теоретической концепции Бауера, формулируется следующим образом: "Все и только живые системы никогда не находятся в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях" [5, с.12].

Опираясь на этот постулат, Бауэр логически выводит как следствия те свойства живой материи, которые обычно рассматриваются как "основные черты жизни" - обмен веществ, размножение и рост, наследственность, мутационную изменчивость, раздражимость и возбудимость, демонстрируя таким образом общебиологическое значение этого принципа.

Принцип устойчивого неравновесия - фундаментальный принцип биологической кибернетики [1], обладающий большой эвристической силой и проявляющийся в поведении любой целостной биологической системы на всех уровнях иерархии биосистем (клетка, ткань, орган, организм, биоценоз, биосфера). Устойчивое неравновесие - качественно новая форма устойчивости, характерная именно для "больших" систем [1], обладающих развитой сетью внешних и внутренних обратных связей. В таких системах появляется возможность реализовать избыток свободной энергии для совершения "работы против равновесия", используя вещественные структуры, существующие и функционирующие только при условии постоянного притока энергии. Термодинамика неравновесных процессов позволила с общей точки зрения понять способность живых систем "противостоять" действию второго начала термодинамики, "питаясь отрицательной энтропией", в соответствии с тезисом Шредингера [8]. Таким образом, был сделан серьезный шаг вперед по сравнению с классической термодинамикой в понимании того, "что такое жизнь с точки зрения физики" [8].

При небольших отклонениях от равновесия (что характерно для биологических систем) появляются устойчивые состояния, принципиально не сводимые к стационарным - устойчивые циклы, автоколебания. Возникают специфические неравновесные структуры (называемые "диссипативными"), поведение которых изучается в соответствующих разделах неравновесной термодинамики [9,10]. Возникновение диссипативных структур и автоколебательных режимов создает материально-энергетическую основу устойчивого неравновесия. На этой основе элементарные подсистемы объединяются в единое целое, возникают устойчиво неравновесные состояния различных уровней.

Строго говоря, равновесные системы существуют только в абстракции. Однако живые неравновесные системы "бесцельно" диссипируют свою свободную энергию и только в отдельных случаях (и в малой мере) расходуют ее для поддержания исходного неравновесного состояния. Суще-

ствующие же технические кибернетические системы потребляют энергию ст внешних источников, причем утилизация ее не зависит от неравновесной отруктуры элементов самой системы.

Устойчивое неравновеоие живых систем служит той основой, которая обеспечивает их способность "вырваться" из области действия второго начала термодинамики и вступить на путь эволюционного развития. Способность реагировать на изменения состояния среды проходит в процесе эволюции огромный путь ст универсальной неспецифической реакции, в оснсве которой лежит общая способность белков к обратимой денатурации [11,12], дс высокоспециализированных целостных реакций в ответ на сигнал, в роли которого может выступать отдельная молекула или единичный квант. Такие целостные реакции называют "синэргиями" [1,13]. Многие синэргии связаны с процессами, протекающими в мембранах. В работе [14] развита и аргументирована гипстеза о генерализованном распространении конформационных перестроек в мембранах и представлены интересные факты, свидетельствующие с процессах биологического усиления. Представления о "метастабильном" состоянии структур [14-16], по нашему мнению, нужно уточнить, заменив их представлениями сб устойчиво неравновесном состоянии. В обычных метастабильных системах избыток свободной знергии под действием внешнего фактора выделается необратимо, зачастую с разрушением исходной структуры (лавина, вэрыв, мгновеннс кристаллизующийся перенасыщенный раствор и т.д.). В противовес этому устойчиво неравновесные системы, обрасывая под влиянием сигнала избыточную свободную знергию, реализуют специфическую синэргию, кстсрая, как правилс, приводит к восстановлению исходнсго неравнсвеснсго состояния (нервный импульо, мышечное сокращение, деятельность транспсртных и выделительных систем организма). Устойчивое неравновесие, таким образом, обеспечивает проявление "реально существующего и чрезвычайно важного принципа биологического усиления слабых воздействий" [17, с.59], кторый имеет первостепенное значение для решения проблем электромагнитобиологии и делает возможной постановку вопроса об "информационном взаимодействии ЭМП с биологическими системами" [18].

Факты, свидетельотвующие о наличии специфических триггерных реакций, сигналом для запуска которых является ЭМП, достаточно разнообразны и убедительны. Общеизвестны примеры усилительных процеосов в фоторецепторных клетках, способных при поглощении единичного кванта развить макрореакцию с коэффициентом усиления, достигающим 10^6 [2]. Многочисленные факты, указывающие на возможнсть сигнальной роли ЭМП, приводятся в монографиях [18-22]. В серии работ [23] продемонстрировано наличие отчетливых избирательных реакций большой группы биологических объектов при облучении их ЭМП в диапазоне 6-8 мм с ярко выраженными максимумами реакций в области 7,2 и 7,6 мм. При изменении длины волны всего лишь на неоколько процентов эффект исчезает или меняет знак. Биологически значимые эффекты обнаружены на боль-

шом числе объектов, таких, как вирусы, бактерии, дрозофилы, клетки крови и костного мозга, развивающиеся эмбрионы. Показано, что реакция практически не зависит от дозы облучения (при изменении ее от 0,01 мВт/см^2 до 10 мВт/см^2, т.е. в пределах трех порядков) и определяется исключительно частотой. Эти наблюдения с несомненностью указывают на сигнальную природу наблюдаемых эффектов. В работах Фрелиха [24,25] сделана попытка объяснить данные о биологическом усилении в миллиметровом диапазоне ЭМП на основе представлений о Бозе-конденсации фононов в мембране [24]. Физическим условием Бозе-конденсации в этой модели является требование "накачки" энергии в мембрану со скоростью, превышающей некоторое пороговое значение, т.е. существенно важные свойства мембраны в этой модели связаны с ее неравновесным состоянием.

Представление о наличии коллективных возбуждений в мембранах было подвергнуто сомнению [26]. По нашему мнению, безапелляционное суждение о невозможности коллективных возбуждений в биологических мембранах вряд ли допустимо. В частности, с большой осторожностью нужно проводить аналогии между результатами изучения модельных мембран как систем существенно неравновесных и поведением мембран в живой клетке, являющейся устойчиво неравновесной системой.

В работах Э.С.Бауэра, опиравшегося на научные представления 30-х годов, есть указания на то, что основу устойчивого неравновесия следует искать в специфике молекулярной структуры живой материи и более конкретно в специфическом "растянутом" состоянии белка в живой клетке. Для концепции Бауэра в целом вопрос о конкретных структурно-энергетических механизмах устойчивого неравновесия не является принципиально важным, как, например, для термодинамики несущественны представления о молекулярном строении вещества. Тем не менее, целесообразно рассмотреть с современной точки зрения возможные физико-химические механизмы, лежащие в основе устойчиво неравновесного состояния живой материи.

Современная биофизика располагает достаточно широким спектром гипотез для разработки подходов к пониманию структурно-энергетических основ устойчивого неравновесия. К традиционным представлениям об АТФ как основном носителе избыточной свободной энергии, высвобождающейся при гидролизе, в настоящее время следует добавить еще целый ряд возможностей. Укажем в первую очередь на революционизировавшие биоэнергетику представления [27] об электрическом поле в мембранах клеток как унифицированной форме энергии, такой же универсальной, как энергия АТФ, и "объединяющей в общую энергосистему все то множество отдельных электрических генераторов - комплексов окислительных ферментов и АТФаз, которые закреплены в различных участках сопрягающей мембраны", [27, с. 165]

Напряженность поля мембраны имеет порядок 10^5 В/см, так что встроенные в нее ферменты оказываются непременно "растянутыми" в электри -

куле, соединение которой с активным участком белка-рецептора приводит к его информативному преобразованию. Далее по современным представле - ниям включаются биохимические каскады усиления, приводящие к появлению в цитоплазме большого числа активных метаболитов и ионов или осуществляется генерализация сигнала за счет конформационных изменений в структурах клеточных мембран и связанных с ними структурах цитоскелета и гликокаликса, что приводит к наблюдаемой реакции клетки и организма.

При изучении процесса биологического усиления ЭМП ситуация еще сложнее, чем при изучении усилителей химических сигналов. Не исключено, что попытки выделить из живой клетки первичную рецепторную структуру могут оказаться безуспешными, если вмешательство экспериментатора, расчленяющего клетку, изменит условия, необходимые для самого существования изучаемой структуры. На трудность такого рода указывал Нильс Бор [36]. Достижения молекулярной биологии не только не устраняют этой трудности, но делают ее все более очевидной.

Обсуждая вопрос о значении идеи устойчивого неравновесия для современной электромагнитобиологии в связи с проблемой биологического усиления ЭМП, нельзя не коснуться вопроса о "митогенетическом излучении", обнаруженном А.Г.Гурвичем в 1923 г. и описанном в большом числе статей и монографий [37]. Близость идей Гурвича о "молекулярных констелляциях"[1], распад которых связан, по его представлению, с митогенетическим излучением, и идей Бауэра об устойчивом неравновесии отмечалась неоднократно [38-40]. А.Г.Гурвич всегда подчеркивал, что "молекулярные констелляции" являются существенно неравновесными образованиями, не способными существовать без притока энергии. Открытие Гурвича, по мнению В.В.Парина [38], - одно из крупнейших достижений советской теоретической биологии, и сам факт существования излучения, подтвержденный неоднократно в работах как отечественных [41,42], так и зарубежных [43] исследователей, является достоверным научным фактом.

Кроме работ А.Г.Гурвича и его школы, в качестве доказательства наличия биологического усиления сверхслабых УФ-излучений можно привести данные о действии единичных УФ-квантов при облучении жгутиконосцев [44], исследования "зеркально-цитопатического эффекта" [45], а также данные об усиливающих рост нехимических дистанционных взаимодействиях в культуре клеток [46,47].

Проблема биологического усиления теснейшим образом связана со способностью биологических систем избирательно реагировать на определенные параметры ЭМП, такие, как амплитуда, частота или, в более общем случае, форма кода или модуляции. Интересные экспериментальные данные

---

[1] "Молекулярные констелляции" по Гурвичу состоят из возбужденных молекул и, подчиняясь влиянию гипотетического "морфогенетического поля", образуют устойчивую структуру, которую можно сравнить, например, с колонной физкультурников или балетным ансамблем в противоположность "устойчиво равновесному" кристаллу или архитектурному ансамблю.

связаны с реакцией биологических систем на ЭМП и токи в диапазоне низких и инфранизких частот. Наличие автоколебательных режимов в устойчивс неравновесных системах позволяет понять их избирательную чувствительность с теоретической точки зрения. Необходимость таких режимов в биологических системах, вытекающая из весьма глубоких оснований, убедительнс показана А.М.Молчановым [48].

Для выяснения механизма избирательной чувствительности представляет интерес способность автоколебательных систем к захватыванию ритма и делению частоты внешнего стимула в целое число раз. Наличие эффектов захватывания и деления частоты при действии электрического тока на клетку было продемонстрировано [49] в экспериментах с ритмической стимуляцией через микроэлектрод изолированной нервной клетки (сенсорного нейрона рецептора растяжения речного рака). При стимуляции нейрона синусоидально изменяющимся током в диапазснах от I,5 до 7 Гц и от I5 до 27 Гц наблюдалось резкое (более чем на два порядка) понижение порога возбуждения сравнительно с другими диапазонами, отчетливо наблюдалось явление захватывания ритма, а в прилегающих диапазонах наблюдался эффект деления частоты.

Интересно сопоставить эти данные с результатами работ [50-52], полученными при изучении нейрофизиологических и поведенческих реакций животных, подвергающихся действию СВЧ-полей, модулированных низкой частотой. Весьма демонстративные поведенческие эффекты, такие, как изменения реакции самораздражения и гипногенное дейотвие модулированного СВЧ-излучения [52], связаны с частотами модуляции того же диапазона, что в экспериментах с одиночной нервной клеткой [49]. Это указывает, по-видимому, на особое значение указанного частотного диапазона и специфическую чувствительность нервных клеток к действию ЭМП этих частот.

В классической нейрофизиологии вопросы, связанные с полевым (электротоническим) взаимодействием нейронов, значительно менее разработаны, чем область, обусловленная электрохимическим (синаптическим) взаимодействием. В ряде работ [53-56] отмечается важная роль электротонических взаимодействий между клетками, которую необходимо учитывать при изучении механизмов их объединения в функциональные ансамбли, а также при исследовании процессов запоминания и воспроизведения информации в нейронных структурах.

В работах Эйди [56-58] продемонстрирована избирательная реакция нейронов головного мозга цыплят на ЭМП с частотами в диапазоне от I до 26 Гц. В экоперимептах изучали как непооредственное влияние тска на структуру мозга, так и действие СВЧ-излучения, модулированного НЧ. Обнаружено избирательное повышение проводимости мозговой ткани, определяемое, по мнению автора, добавочным выделением в межклеточное пространство ионов Ca^{++}, которые в норме связаны "паутиной из гидратированных поверхностных макромолекул".

Избирательная чувствительность клеток к действию низкочастотных

МП [18-20], по-видимому, также связана с автоколебательными процеосами. Захватывание частоты в этих случаях играет ощественную роль. Отмечается особая роль диапазона 7-12 Гц, в котором лежат "шумановские резонансы" и короткопериодические пульсации ГМП. Отмечается, что близость частот этого диапазона к характерным частотам автоколебаний в нервной оистеме (в частности, к альфа-ритму) не случайна и, по-видимому, связана с тем, что воя зволюция биосферы протекала внутри гигантского конденсатора, сдна из обкладок которогс - ионосфера, а другая - поверхность земного шара.

Наличие в системе внутренних осцилляторов является, с сдной стороны, необходимой предпосылкой возникновения устойчиво неравновесных систем, с другой - обеспечивает механизм их адаптации и эволюции. На оснсве уравнений, описывающих поведение сиотем нелинейных осцилляторов [59-61], становится возможным построение реалистических моделей ряда внутриклеточных и тканевых процессов, а также процессов на более высоких уровнях биологической организации. Дальнейшие усилия биофизиков, математиков, кибернетикс должны привести к созданию моделей, споообных описать структуру функциональных уровней устойчивого неравновеоия и предсказать закономерности переходов между ними [62,63]. Построение таких моделей имеет принципиальное значение для медицинских аспектов электромагнитобиологии, связанных с разработкой методов терапии и активации организма электромагнитным полем.

Удивительное сходство реакций различных биосистем (митохсндрия, клетка, организм) при внесении возмущений в систему их знергообеспечения иллюстрирует тезис о качественном подобии реакции устойчиво неравновесных систем на различных уровнях биологической организации [64].

Другим подтверждением представлений о наличии в целостном организме иерархии уровней неравновесности служат законсмерности развития неспецифических адаптационных реакций организма. Выбор дозированных воздействий для направленногс перехода между уровнями неравновесности позволяет получить убедительный эффект как в эксперименте, так и в клинике [65].

Перопективным направлением для терапии и активации организма является использование ЭМП в качестве перспективно действующего фактора в рефлексотерапии, в таких современных модификациях древнегс метода восточной медицины чжэнь-цзю-терапии (иглоукалывания), как электропунктура, лазеропунктура и магнитопунктура. При построении биофизических основ теории этих методов принцип устойчивого неравновесия должен учитываться, по нашему мнению, как основополагающий.

Изучение биофизических и кибернетических основ устойчивого неравновесия живых систем, исследование механизмов действия биолсгических усилителей и природы избирательной чувствительности живых систем к ЭМП, по существу, только начинается. Развитие исследований в этом направлении должно дать ценный материал как для теоретических обобщений, так и для прикладных разработок.

Литература

I. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г., Чоарян О.Г. Биологическая кибернетика. М.: Высш.школа, 1977. 408с.

2. Винников А.Я. Цитологические и молекулярные основы рецепции. М.: Наука, 1971. 298с.

3. Розен В.Б. Циторецепторы и чувствительность клетки к гормонам. - Мед.реф.журн., 1977, т.1, с.1-12.

4. Шаповалов А.И. Синаптическая передача возбуждения. - В кн. Общая и частная физиология нервной системы. Л.: Наука, 1969, с.73-104.

5. Бауэр Э.С. Теоретическая биолгия. Л.: ВИЭМ, 1935. 205с.

6. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М.: Мир, 1973. 280с.

7. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512с.

8. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. М.: Атомиздат, 1972. 88с.

9. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур. М.: Мир, 1979. 279с.

10. Synergetic. Far from equilibrium. Ed. H.Haken. B.Spring. verl. 1979. 197 s.

11. Насонов Л.Н. Местная реакция протоплазмы и распространяющееся возбуждение. М.;Л.: Изд-во АН СССР, изд.2-е, 1962. 426с.

12. Александров В.Я. Клетки, макромолекулы и температура. Л.: Наука, 1975. 329с.

13. Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем /Под ред. И.М.Гельфанда , М.: Наука, 1966. 323с.

14. Конев С.В., Аксенцев С.Л., Черницкий С.А. Кооперативные переходы белков в клетках. Минск: Наука и техника, 1970. 202с.

15. Штеренберг М.И. О структурных вопросах бислогической термодинамики - В кн.: Переходные процессы в биологических системах. М.: Ин-т биологии развития, 1977, с.34-40.

16. Жданов Ю.А. Пусковая причинность - Вопр.философии, 1976, №6, с.87-101.

17. Кремянский В.И. Структурные уровни живой материи. М.: Наука, 1969. 295с.

18. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 193с.

19. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 175 с.

20. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.

21. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1 - 339 с.; т.2 - 207 с.

22.Реакция биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978. 224 с.
23.Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона волн на биологические объекты. - Успехи физ.наук, 1973, т.110, № 3, с.453-456.
24.Фрелих Г. Когерентные возбуждения в биологических системах. - Биофизика, 1977, т.22, № 4, с.743-746.
25. Fröhlich H. The biological effect of microwaves and related questions. - Adv. electronic and eleotron phys., 1980, vol.53, p.85-152.
26.Лившиц М.А. К вспрооу об участии когерентных фононов в биологических процессах. - Биофизика, 1977, т.22, № 4, с.746-747.
27.Скулачев В.П. Трансформация энергии в биомембранах. М.: Наука, 1972. 203 с.
28.Блюменфельд Л.А. Проблемы биологической физики. М.: Наука, 1977. 335 с.
29.Кобозев Н.И. О механизме катализа. - ЖФХ, 1960, т.34, с.1443-1449.
30.Журавлев А.И. Сверхслабые свечения и антиокислительные свойства биоантиоксидантов: Автореф. дис.... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1965. 32 с.
31.Козлов Ю.П. Свободные радикалы и их роль в нормальных и патологических процессах. М.: Изд-во МГУ, 1973. 96 с.
32.Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978, 294 с.
33.Берсукер И.Б. Туннельные эффекты в многоатомных системах с электронным вырождением и псевдовырождением. - Успехи физ.наук, 1975, т.116, № 4, с.605-641.
34.Берсукер И.Б. Электронное строение и свойства координационных соединений. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1976. 349 с.
35.Давыдов А.С. Квантовая теория сокращения мышц. - Биофизика, 1974, т.19, № 4, с.670-681.
36.Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 151 с.
37.Белоусов Л.В., Гурвич А.А., Залкинд С.Я и др. Александр Гаврилович Гурвич. М.: Наука, 1970. 201 с.
38.Гурвич А.А. Проблемы митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии. Л.: Медицина, 1968, с.4-11.
39.Залкинд С.Я. История биологии с начала XX века до наших дней. М.: Наука, 1975. 316 с.
40.Вепринцев Б.Н. Очерк истории биофизики в нашей стране. - Биофизика, 1977, т.22, № 6, с.968-976.
41.Гурвич А.А., Еремеев В.Ф., Карабчиевский Ю.А. Энергетические сс-

нсвы митогенетического излучения и его регистрация на фотоэлектронных умножителях. М.: Медицина, 1974. 96 с.
42. Кснев С.В., Троицкий Н.А., Катибников М.А. Хемилюминесценция дрожжевых клеток в видимой и ультрафиолетовой области спектра. - В кн.: Междунар. биохим. кснгр. М.: Изд-во АН СССР, 1961, т.2, с.473-476.
43. Electromagnetic Bio-Information: Proc. of Symp. Marburg. München etc. 1979, 324 p.
44. Камшилов М.М. Ультрафиолетовое излучение и одноклеточные организмы. - В кн.: Лучистые факторы жизни водных срганизмов. Л.: Наука. Ленингр. стд-ние, 1967, с.43-45.
45. Казначеев В.П., Михайлова Л.П., Шурин С.П. Информационные взаимодействия в биологических системах, обусловленные электромагнитным излучением оптическсго диапазона. - В кн.: Прогресс биологической и медицинской кибернетики. М.: Медицина, 1974, с.314-339.
46. Мостовников В.А., Хохлов И.В. Взаимодействие клеток человека с помощью электромагнитных волн оптического диапазона. Минск: Ин-т биофизики АН БССР, Препр. 1977, 128 с.
47. Киркин А.Ф. Нехимические дистанционные взаимодействия между клетками в культуре. - Бисфизика, 1981, т.26, вып.5, с.839-843.
48. Молчанов А.М. Возможная роль колебательных процессов в эволюции.- В кн.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. М.: Наука, 1967, с.291-302.
49. Ксган А.Б., Режабек Б.Г., Васильева О.С. Нелинейное захватывание ритма при раздражении изолированнсй нейрорецепторной клетки.- ДАН СССР, 1973, т.210, № 2, с.493-495.
50. Судаксв К.В., Антимснний Г.Д. Центральные механизмы действия электромагнитных полей. - Успехи физ.наук, 1973, т.42, № 2, с.101-135.
51. Антимоний Г.Д. Изменение реакции самораэдражения у крыс при действии модулированного ЭМП. - Бюл. эксперим. биолсгии и медицины, 1976, т.10, с.1163-1165.
52. Судаков К.В., Антимоний Г.Д. О гипнсгенном действии модулированного электромагнитного поля. - Там же, 1977, т.8, с.924-938.
53. Русинов В.С. Доминанта: Электрофизислогические исследования. М.: Медицина, 1969. 231 с.
54. Голиков Н.В. Специализированные и неспециализированные механиэмы межнейронных взаимодействий и формирование доминирующих констелляций нервных центров. - В кн.: Основные проблемы электрофизиологии головного мозга. М.: Наука, 1974, с.172-184.
55. Аладжалова Н.А. Медленные электрические процессы в головном мозге. М.: Наука, 1962. 240 с.
56. Эйди В.Р. Значение окружения клетки в осуществлении и накоплении информации. - В кн.: Проблемы нейрокибернетики. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1972, с.268-279.
57. Эйди В.Р. Модели мембран мозговых клеток, как субстрата для хра-

нения информации. - Физиология человека, 1977, т.3, № 5, с.774-789.
58. Эйди В.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям.- Там же, 1975,т.1,№1, с.23-46.
59. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическое моделирование в биофизике. М.: Наука, 1975. 343 с.
60. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биолгических процессов. М.: Изд-во МГУ, 1977. 327 с.
61. Чернышев М.В. Резонансно-поисковые вычислительные методы анализа скрытых колебательных процессов в живых системах. - В кн.: Теоретические и прикладные аспекты анализа временной организации биосистем. М.: Наука, 1976, с.11-34.
62. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1976. 384 с.
63. Емельянов С.В. Теория активных систем. - В кн.: Согласованное управление. М.: Ин-т проблем управления, 1975, с.24-32.
64. Кондрашова М.К. Норма и патология с позиций энергетики митохондрий. - В кн.:Биофизика слжных систем и радиационных нарушений. М.: Наука, 1977, с.249-270.
65. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. 2-е изд. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1977. 126 с.

1.2. Реакции живых систем на слабые адекватные им воздействия

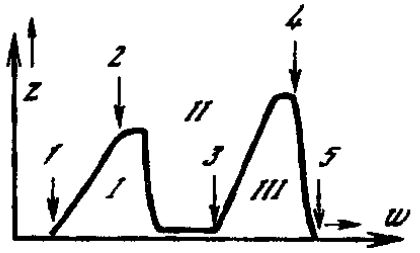
Организм – сложная иерархия систем, в которой ответы подсистем разных уровней на возрастающий стимул имеют фазный характер[1] и связаны сложным образом между собой. Это обеспечивает совершенство взаимодействия организма со средой и направлено на повышение выживаемости вида. Фазный ответ на возрастающий стимул дает каждая отдельная митохондрия, отдельная клеточная мембрана, отдельная клетка, отдельная клеточная популяция, отдельное нервное волокно, участок кожи, организм как целое, популяция организмов и более сложные открытые системы вплоть до биосферы [1-8].

Рис.1 [9,10] иллюстрирует типичное поведение сложной системы в ответ на возрастающий стимул. Все три случая, обобщенные на нем, характеризуются наличием "зоны ареактивности" (зоны бездействия), связанной с включением в работу компенсирующих "защитных" механизмов.

Любые внешние воздействия переводятся клеткой на универсальный язык изменений мембранных потенциалов. Величина этих изменений определяет переключение тех или иных процессов в клетке. Меняется и вы-

[1] Изменение характера ответа при увеличении интенсивности стимула.

ход метаболитов. Клетка переводит любую информацию сначала на электрический, а затем на химический язык [6]. В нервных окончаниях возникают серии электрических импульсов - рост параметрической части воздействия кодируется изменением частоты следования "потенциалов действия" по нерву. Наличие электрических и химических сигналов и их преобразования можно легко проследить на любых уровнях организации биологических систем. Во всех случаях перекодирование возможно лишь



Р и с. I. Фазовая реакция z сложной системы на возрастающий стимул w : I - зона чувствительности, II - зона бездействия, III - зона раздражительности; I - абсолютный порог чувствительности, 2 - порог включения компенсирующих систем, 3 - порог тотальной мобилизации, 4 - срыв, 5 - гибель. График построен по зависимостям реакции z от мощности адекватного стимула (по: [9]), от дозы микроэлемента (по: [5]) и по зависимости роста популяции от плотности обитания (по: [10]).

при наличии сложной организации, а сама организация обеспечивается работой кодирующих механизмов [11].

В функционирующей клетке многие виды молекул постоянно распадаются и вновь синтезируются, чем поддерживаются незатухающие колебания их концентраций [11]. Изменение характера и формы этой ритмики свидетельствует о тактике поиска самонастройки на наивыгоднейший режим работы в изменяющихся условиях. Такого рода автоколебания разной частоты наблюдаются на всех уровнях организации биосистем и носят названия биоритмов. Наличие колебательных процессов в системе приводит к тому, что результат воздействия на нее определяется не только и не столько интенсивностью и природой действующего стимула, сколько фазой и частотой, а также пространственным расположением источников, т.е. пространственно-временным кодом. Сложная система "резонансна" - наиболее чувствительна только к адекватным ей сигналам. В организме высших животных заложено множество биологических часов, ход которых через нервную систему синхронизируется внешней средой. Ранее скрытые нарушения нормальной работы организма проявляются прежде всего на сбое биоритмов. Выявление нарушений на ранней стадии позволит предотвращать развитие заболевания [12].

Тонус вегетативной системы человека и животных в значительной мере поддерживается множеством неощутимых раздражителей в форме ЭМП и

излучений различных частот. В опытах на животных показано, что как повышение, так и понижение уровня фоновых природных сигналов, характерных для данного сезона и местности, нарушает нормальную жизнедеятельность, воспринимается как сигнал тревоги. Такие "неощутимые" сигналы могут использоваться как условный раздражитель при выработке условных рефлексов. Так, был выработан сосудистый рефлекс у человека на сигнал 10^{-4}В/м на частоте 735 кГц после нескольких сочетаний с холодовым раздражителем [13].

Возможность адаптации рецепторной системы на прием повторяющегося сигнала малой интенсивности можно проиллюстрировать на инженерной схеме Флейшера [14]. Можно ожидать, что характеристики адаптивных фильтров организма подобраны так, что легче всего "схватываются" наиболее значимые сигналы. Естественно также предполагать, что внутренние сигналы, например идущие по нервам импульсы, выработаны по образу и подобию наиболее значимых сигналов внешней среды, т.е.что высшие организмы имитируют не только жидкую среду зарождения жизни, но и наиболее значимые сигналы среды обитания. Исследования по выработке условного "рефлекса избегания" у крыс в зависимости от параметров слабого электромагнитного сигнала [15] подтвердили это предположение. Реакция вырабатывалась легче всего на сигнал 300 имп/с при нарастании каждого импульса за $3 \cdot 10^{-8}$с и напряженности в импульсе 0,5-0,8 В/м (т.е. при среднем потоке мощности 10^{-11}Вт/см^2). Изменение напряженности на 1-2 порядка (в любую сторону) при постоянстве прочих параметров сигнала приводило к невозможности выработки рефлекса. К тому же результату приводило увеличение числа импульсов до 500 или уменьшение до 50 в секунду или изменение формы импульсов на прямоугольную. Условия эксперимента [15] - экспоненциальная форма, оптимальная энергия в импульсе с частотой повторения 300 имп/с-соответствуют параметрам сигнала, идущего по нервным путям от биологического рецептора. Физиотерапия для более эффективного воздействия на организм должна пользоваться "биологически проторенными, резонансными связями внешнего и внутреннего мира... что дает возможность пускать в ход сложнейшие регуляторные физиологические аппараты, выработанные в организме в бесчисленном ряду поколений" [16, с.967].

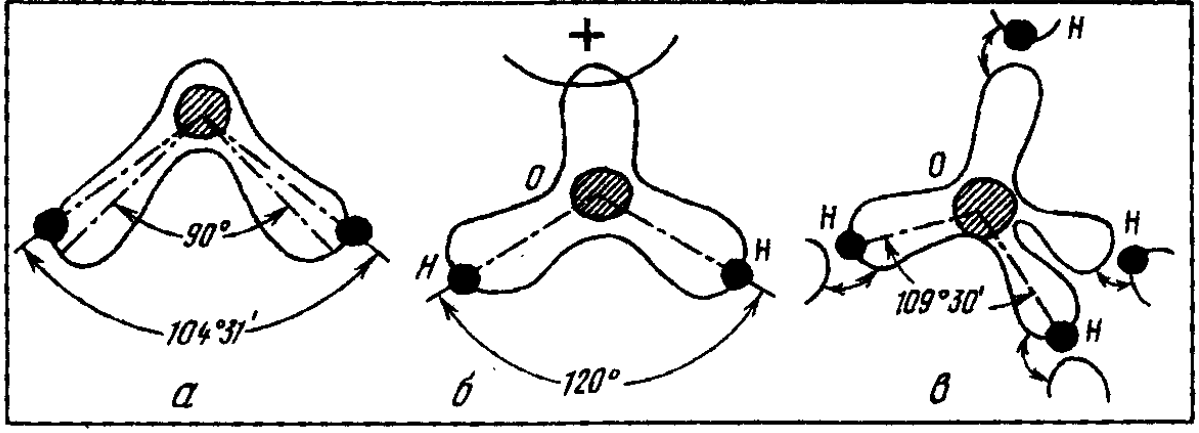
Интересно отметить, что оптимальная чувствительность крыс к адекватному электромагнитному сигналу энергетически совпадает с предельной чувствительностью органов зрения и слуха [9], а также с теоретической чувствительностью созданных человеком тепловых приемников, работающих без охлаждения. Не менее интересно отметить и то, что порог раздражимости отстоит от этого значения на 5 порядков (10^{-6}Вт/см^2) и совпадает с соответственно пересчитанной величиной основного обмена [9].

Ошибкой было бы, однако, считать, что специфическая чувствительность к слабым сигналам (например, к слабым ЭМП ИНЧ) в отсутствие

восприятия средних возмущений свойственна только живым организмам и имитирующим их техническим устройствам. Кривыми рис.I с равным успехом может быть описан ряд хорошо известных явлений молекулярного уровня. В 1924 г. В.Ханле [17] наблюдал в парах ртути деполяризацию резонансного излучения (253,7 нм), зависящую от величины внешнего МП. Эта зависимость наблюдалась только в полях порядка земного (или меньших) и исчезала в полях более сильных. Явление связано с расщеплением электронных уровней возбужденного атома, пропорциональным напряженности поля, и прецессией вокруг направления поля с частотой, соответствующей величине расщепления. Критическая величина МП, начиная с которой эффект исчезает, обусловлена временем τ возбужденного состояния атома. Чем больше τ, тем меньше значение критического поля $H_{кр}$. При $\tau = 10^{-8}$с $H_{кр}$ равно нескольким десяткам мТл. Используя метастабильные возбужденные состояния атомов, получают возможность измерения МП до 10^{-15}Тл [18]. Если у ядер атомов имеется магнитный момент, то они могут быть ориентированы в парах взаимодействием с магнитным моментом электронного происхождения, вызванным в слабом МП светом резонансной частоты. Той же степени ориентации ядер при комнатной температуре без освещения можно достичь лишь при напряженности МП больше 10 Тл. Описанная ориентация, таким образом, хорошо может быть представлена кривыми рис.I.

Естественно предположить, что ориентация атомов, связанная с зеемановским или штарковским расщеплением электронных уровней, может снижать ориентационную энтропию некоторых химических реакций и тем самым влиять на их относительные скорости и выходы. С таким случаем, по нашему мнению, столкнулись исследователи [19], наблюдавшие сезонные смещения выходов неких конкурирующих реакций. К настоящему времени накопился богатый материал о влиянии ЭМП на химичеокие реакции в парах и растворах [20,21]. Поле при этом влияет, как правило, не на энергетику реакции, а на вероятность протекания тех или иных элементарных актов, особенно на вероятность реакций, протекающих через состояние с разной спиновой мультиплетностью при фотофизических и фотохимичеоких процессах.

К существенному увеличению времени возбужденного состояния и к возрастанию чувствительности к слабым полям приводит возникновение кооперативных эффектов, при которых во взаимодействии с полем принимают участие несколькс частиц, тесно взаимодействующих между собой и реагирующих как одно целое. Анализ кооперативности явлений открыл новые пути понимания ряда важнейших фотофизических и фотохимических процессов, оставшихся до сих пор неясными, таких, как миграция энергии, сенсибилизация люминесценции, фотосинтез, фоточувствительность и другие антистоксовские процессы [22,23]. Благодаря кооперативным эффектам система может долго сохраняться в неравновесных условиях, близких к срыву, что делает ее чувствительной к специ-



Р и с. 2. Перестройка орбиталей молекулы воды [25]
а - в парах, б - при координации к катиону, в - во льду

фическим малым воздействиям и создает условия "антистоксовской переработки" с высоким энергетическим выходом малых квантов в большие.

Существенно кооперативными системами являются водные среды организма, взаимодействующие с неорганическими ионами и биополимерами. Биологические системы - сложно организованные водные системы, поддерживающиеся за счет обмена веществ в неравновесном состоянии. Если пользоваться аналогией с эффектом Ханле, то обмен веществ заменяет облучение резонансной оптической частотой, а длительность возбужденного состояния обеспечивается кооперативными взаимодействиями. Все это создает предпосылки высокой чувствительности к очень слабым полям. Не случайно А.Сент-Дьерди указывал, что"биология, возможно, не преуспела до сих пор в понимании наиболее основных функций из-за того, что она концентрировала свое внимание только на веществе в виде частиц, отделяя их от двух матриц - воды и электромагнитного поля". [24, с.55].

Исключительные свойства водных систем обусловлены прежде всего большим дипольным моментом отдельной молекулы и спообностью молекул воды образовывать кооперативные системы путем установления сети водородных связей. Входя в коллоиды атмосферы, в гидратные оболочки ионов, в капилляры и граничные слои, молекулы воды, изменяясь сами, определяющим образом влияют на свойства системы, в которой они участвуют [25].

На рис.2 дана схема перестроек геометрии молекулы воды при изменении ее окружения. Изменение гибридизации электронных орбиталей при этом связано только с перераопределением характеристик электронов, так как набор квантовых чисел - адиабатический инвариант. Перераспределение - процесс инерционный - определяется вероятностью сближения электронов. Время перестройки 10^{-6} - 10^{-7}с оценивается по интенсивности линий, относящихся к запрещенным межконфигурационным переходам [26]. Чрезвычайно важно, что время перестройки значительно больше времени "оседлой" жизни молекулы. Этот факт открывает воз-

можность четко представить механизмы ряда пока недостаточно ясных явлений, в частности, детали механизма воздействия слабых ИНЧ полей на водные системы.

Кооперативные взаимодействия ответственны, по-видимому, и за то, что каталитическое действие следов воды на химические реакции и фазовые переходы проявляется только в том случае, если давление паров воды достигает 10^{-5} мм рт.ст. Можно предполагать, что в реакциях с участием границы раздела и при фазовых переходах каталитическое действие ссуществляется не отдельными молекулами, а островками"связанных гидроксилов" на поверхности. Фазовые переходы в этом слое способствуют преодолению потенциального барьера и появлению критического зародыша новой фазы на поверхности. Напомним, что скорость химической реакции даже при температуре жидкого азота на подложке, имеющей фазовый переход при этой температуре, может во много раз превосходить скорость реакции при 1000° без катализатора. Ту же роль могут играть фазовые переходы в приграничной переходной водной фазе, если события развиваются в конденсированной водной среде. Сочетание неравновесности с высоким уровнем кооперативности приводит к тому, что время адаптации приповерхностной фазы к изменившимся обстоятельствам сильно возрастает [25].

Вода способна не только диссоциировать полярные вещества, давать отойкие комплексы и образовывать домены, обладающие большим дипольным моментом, но и формировать неполярные структуры, имеющие полости диаметром 0,5–0,6 нм. Такие структуры тем устойчивее, чем большая их доля заполнена молекулярными образованиями подходящих размеров.

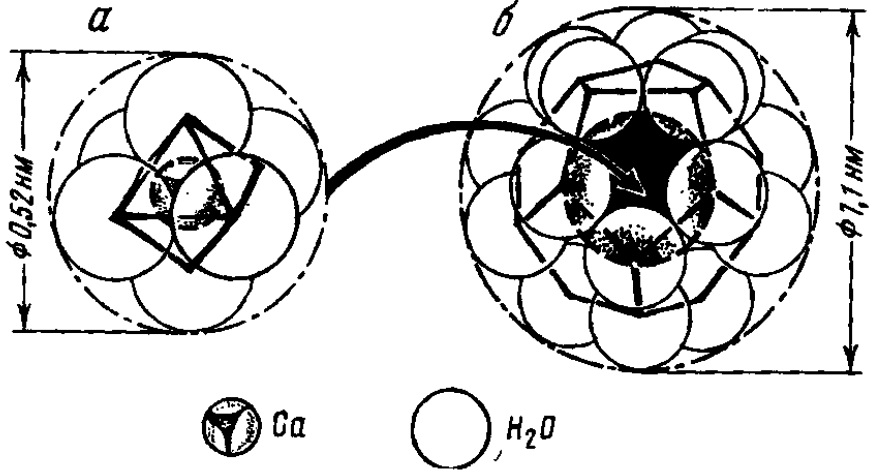
За последние годы все более ясной становится особая роль ионов кальция в управлении интимными механизмами биологических процессов [26 – 31]. Предложена новая гипотеза [26] о роли ионов кальция в реакции живых систем на слабые внешние воздействия (кальциевая гипотеза). Представляет интерес более подробно рассмотреть взаимодействие ионов с водой на примере кальция [25]. При взаимодействии с малым числом молекул воды ион кальция образует гексааквакомплекс:

$$Ca^{2+} + 6\ H_2O = \left[Ca(H_2O)_6\right]^{2+} + 151 \text{ ккал/моль}$$

Гексагональные орбитали комплекса строятся за счет донорно-акцепторной связи с использованием 6 электронов неподеленных пар ионов кислорода из молекул воды гидратной оболочки иона кальция. При взаимодействии с большим числом молекул воды, связанных между собой водородными связями, кальций наблюдается только в окружении четырех молекул воды, несмотря на то, что это, казалось бы, энергетически невыгодно:

$$Ca^{2+} + 4H_2O = Ca^{2+} \cdot 4H_2O - 50 \text{ ккал/моль.}$$

Выгодным такое окружение становится для системы, связанной водород-



Р и с. 3. Гексааквакомплекс кальция в клатратной водной структуре [25]

а - октаэдр $\left[Ca(H_2O)_6\right]^{2+}$;

б - додекаэдр $\left\{\left[Ca(H_2O)_6\right]\cdot 20\cdot H_2O\right\}^{2+}$

ными связями, только при превышении ею критического размера, меньшего 400±200 молекул, - среднего мгновенного размера таких ассоциатов в воде [32]. Внешние воздействия - всплеск ЭМП, инфразвук, встряхивание, УФ-облучение, включение электрического или магнитного поля малой интенсивности, действуя прежде всего на неравновесные граничные слои, могут изменить размеры ассоциатов молекул воды. Может создаться обстановка, способствующая кинетической изоляции от общего объема воды иона кальция с несколькими молекулами воды на время, достаточное для перестройки электронных орбиталей и образования гексааквакомплекса кальция, который, способствуя образованию полости неполярных водных структур, стабилизирует их. Структуры же эти, хорошо вписываясь в структуру воды, могут сохраняться в ней благодаря стабилизации в течение нескольких часов (рис.3).

Появление метастабильных"больших ионов" активирует воду: они могут служить центрами кристаллизации в объеме жидкости, способствующими выпадению накипи в виде легко удаляемого шлама. Активированная таким образом вода может обладать и новыми биологическими свойствами за счет образования при распаде гексааквакомплексов свободных радикалов. Действительно, на начальных этапах распада комплекса вероятен уход от него H_2O^+ с задержкой электрона на октаэдрической орбитали с последующим образованием свободного радикала:

$$H_2O^+ + H_2O \longrightarrow H_3O^+ + OH$$

(Появление радикалов доказывается полимеризацией акрилнитрила в активированной воде).

Не следует смешивать описанную выше мягкую активацию воды с жесткой активацией, происходящей, например, в условиях прогрева

при температуре, близкой к критической (373°)[33]. Жестко активированная вода без доступа кислорода долго сохраняет свои свойства, активную роль играют при этом, по-видимому, "открытые" димеры воды, возникающие при нарушении тетраэдрических структур и обеспечивающие повышенную растворяющую способность такой воды.

Мягкая активация воды должна оказывать специфическое влияние на водные среды организма, в которых изменение концентрации активных ионов кальция служит переключателем многих элементарных биологических процессов. Представление об этом [34] основывалось на множестве косвенных данных и только в последнее время получило прямое экспериментальное подтверждение в работах томских [35] и симферопольских [см. наст. кн., гл I, п.2.3] исследователей.

Многолетнее тщательное исследование [35] показало, что 25-кратное пропускание физиологического раствора со скоростью I,5 м/с в постоянном поле 0,8 мТл снижает концентрацию активного кальция на 7% на листе элодеи, в нервно-мышечном препарате лягушки и в реакции сбраживания глюкозы дрожжевыми грибками. Было сопоставлено [см. наст. кн., гл.П, п.2.6] влияние магнитной обработки и уменьшение концентрации кальция в растворе, используемом для перфузии изолированного сердца лягушки. Параметры применяемого поля были значительно ближе к геофизическим (частота 0,I Гц, B≈4 нТл). Поле сказывалось и здесь как уменьшение концентрации активного кальция. Различие значения действующих полей связано с разным характером ответа живой системы (см. рис.I). В одном случае воздействия близки к порогу абсолютной чувствительности, в другом - к порогу раздражения. Подтверждение кальциевой гипотезы не означает, разумеется, что это единственный механизм возможных воздействий слабых полей.

Итак, в водных средах благодаря кооперативному эффекту установления и разрушения системы водородных связей постоянно возникают ассоциаты того или иного размера. Ассоциаты очень чувотвительны к адекватным им слабым физическим воздействиям. Взаимодейотвие ионов с водой зависит от размера ассоциатов. Так, слабые возмущения влияют на гидратацию ионов и образование метастабильных структур. Изменение гидратации ионов меняет взаимодействие других молекул с водной средой, в частности ведет к конформационным переходам макромолекул, к кооперативным переключениям системы мембран, влияет на ферментные, свободнорадикальные и оперонные сиотемы управления живой клетки и тем самым на состояние и адаптационные изменения организма. Таким образом, характерным признаком сложных систем, в частности биологических систем всех уровней, является реакция на слабые управляющие сигналы, т.е. на слабые адекватные им воздействия.

Литература

I. Введенский Н.Е. Возбуждение, торможение и наркоз. - В кн.: Избр. произведения. М.: Медгиз, I952, с.29I-395.

2. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1972. 122 с.
3. Ухтомский А.А. Завещание Н.Е.Введенского. Собр.соч., т.2, Л.: Изд-во ЛГУ, 1951, с.148-151.
4. Насонов Д.Н., Александров В.Я. Реакция живого вещества на внешние воздействия. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1940. 252 с.
5. Венчиков А.И. Биотики (к теории и практике применения микроэлементов). М.: Медгиз, 1962. 234 с.
6. Конев С.В., Аксенцев С.Л., Черницкий С.А. Кооперативные переходы белков в клетке. Минск: Наука и техника, 1970. 202 с.
7. Кондрашова М.Н. Регуляция дыхания митохондрий при усиливающемся воздействии на клетку. - Биофизика, 1970, т.15, с.312-323.
8. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1977. 120 с.
9. Плеханов Г.Ф. Электричество, магнетизм, информация и живые системы. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: 1978, с. 3-8.
10. Soutwood T.R.E. Entomology and mandkind.-Amer. Sci., 1977, v.65, p. 30-39.
11. Николаев Л.А. Основы физической химии биологических процессов. М.: Высшая школа, 1971. 240 с.
12. Парин В.В., Боевский Р.М. Важнейшие аспекты комплексных исследований процессов регуляции виоцеральных систем организма человека. - В кн.: В.В.Парин. Избр. тр. М.: Наука, 1974, т.2. с 343-358.
13. Плеханов Г.Ф., Ведюшкина В.В. Выработка сосудистого условного рефлекса у человека на изменение напряженности электромагнитного поля высокой частоты. - Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П. Павлова, 1966, т.16, №1, с.34-37.
14. Лабутин В.К. Адаптация в биологии и технике. Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1970. 160 с.
15. Плеханов Г.Ф., Денисов В.Н., Мигалкин И.В. Оптимальные параметры магнитных и электрических полей, воспринимаемых организмами.- В кн.: Матер. 2-го Всесоюз. совещ. по изуч. влияния магн. полей на биол. объекты. М.: Наука, 1969, с.184-185.
16. Щербак А.Е. Биологическое значение резонанса (лекция 1925 г.). - В кн.: Изв.Гос.ин-та физических методов лечения им. И.М.Сеченова. Севастополь, 1927, т.1, с.964-976.
17. Феофилов П.П. Поляризационная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. М.: Физматгиз, 1959. 288 с.
18. Александров Е.Б., Бонч-Бруевич А.М., Ходовой В.А. Возможности измерения малых магнитных полей методами оптической ориентации атомов. - Оптика и спектроскопия, 1967, т.23, №2, с.964-976.
19. Меликадзе Л.Д., Леквиешвили Э.Г., Тевдоришвили М.Н. О поливариантности реакции фотоконденсации алкилфенантреновых углеводоро-

дов с мелеиновым ангидридом. - Сообщ. АН ГССР, 1969, т.56, №2, с.317-320.

20.Бучаченко А.Л. Радиоизлучение и другие магнитные эффекты в химических реакциях. М.: Знание, 1979. 64 с.

21.Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов Н.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 296 с.

22.Феофилов П.П. Кооперативные оптические явления в активированных кристаллах.-В кн.: Физика примесных центров в кристаллах. Таллин, 1972, с. 539-563.

23.Овсянкин В.В., Феофилов П.П. Кооперативная сенсибилизация фотофизических и фотохимических процессов. - В кн.: Молекулярная фотоника. Л.: Наука, 1970. с.86-106.

24.Сент-Дьерди А. Биоэнергетика. М.: Физматгиз, 1960. 155 с.

25.Кисловский Л.Д. Роль воды в лабильности поверхностных структур. - В кн.: Активная поверхность твердых тел. М.: ВИНИТИ, 1976, с.267-279.

26.Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере.-В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 147-164.

27.Парин В.В., Меерсон Ф.З. Значение новых представлений о роли кальция в мышечном сокращении для теоретической и клинической кардиологии. - В кн.: В.В.Парин. Избр. тр. М.: Наука, 1974, т.I, с.99-103.

28.Bawin S.M., Adey W.R. Sensitivity of Calcium binding in Ceberal Tissue to week environmental Electric Fields oscillating at low Frequensis, Proc. Natl. Aoad. Sci. USA, 1976, Vol.73, p. 1999-2003.

29. Rubin R.P. Calcium and Secretory Process, New Yorc-London, Plenym Press, 1974, 139 p.

30. Siegel F.L. Calcium-binding Proteins, in " Structure and Bonding", Berlin- Heidelberg, New York-Melburn-London, Springer Verlag, 1973, pp 221-263.

31.Carafoli E., Crompton M. Cacium Ions and Mitochondria, in "Calcium in Biological Sistems", ed. C.J.Duncan, Cambridge, London, New York, Melbourne, Cambridge University Press,1976, 89-115.

32.Лаврик И.Л., Наберухин Ю.И. Исследование структуры водных растворов неэлектролитов методами колебательной спектроскопии. - Журн. структур. химии, 1976, т.17, № 3, с. 466-463.

33.Летников Ф.А., Кащеева Т.В., Минцис А.Ш. Активированная вода. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. 134 с.

34.Кисловский Л.Д. О метастабильных структурах в водных растворах. - Докл. АН СССР, 1967, т.175, № 6, с.1277-1279.

35.Евдокимов Е.В., Карташев А.Г. Изменение биологической активности ионов кальция магнитным полем. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том.ун-та, 1978, с.40-53.

I.3. Кожный анализатор как возможный канал связи

В связи с тем, что круг задач, в которых может быть использован кожный канал связи, широк и многообразен, целесообразно использовать общий подход к исследованию кожного анализатора как канала передачи информации, предложенный одним из авторов [1]. При таком подходе предварительно производится оптимизация параметров входных сигналов на основе критериев оптимальности, определенных по психофизиологическим и информационным характеристикам кожного анализатора. В этом случае решение конкретных задач по использованию кожного канала связи сводится к выбору и проверке вида кода, для построения которого используются оптимальные входные сигналы. Предварительная оптимизация сигналов, пригодных для построения кода, может быть произведена по результатам исследования абсолютной и дифференциальной чувствительности кожного анализатора при предъявлении различных сигналов, а также особенностей протекания процессов сенсорной адаптации, отражающих основные ограничения, накладываемые природой канала на входные сигналы. Существенный интерес при исследовании канала связи любой природы представляют информационные характеристики, позволяющие согласовать вход канала с выходом информационной модели, преобразующей состояние управляемого объекта в совокупность стимулов, передаваемых по каналу.

Настоящая работа посвящена, в основном, выявлению по результатам исследования психофизиологических характеристик ограничений, позволяющих осуществить выбор входных сигналов электрокожного канала связи (ЭККС), надежно воспринимаемых оператором при выполнении требования комфортности. Наряду с этим приведены некоторые результаты исследования дифференциальной чувствительности и информационных характеристик кожного анализатора при воздействии на входе системы электрических сигналов.

Любой способ передачи информации по ЭККС базируется на характерных кожных ощущениях, что приводит к необходимости выделения сигналов, при предъявлении которых возникают ощущения, не приводящие к дискомфорту. Согласно результатам наших исследований, для электродов площадью порядка 10 $см^2$ требованию комфортности удовлетворяют шумоподобные сигналы (диапазон частот 0,02-20 кГц) и гармонические сигналы с частотой не менее 200 Гц. При изменении спектрального состава (предъявлении меандра) допустимый частотный диапазон расширяется в область низких частот, что связано с появлением в спектре сигнала значительного процента гармоник с частотами более 200 Гц; уменьшение площади электродов приводит к сдвигу допустимого частотного диапазона в сторону увеличения частоты.

Таблица I

Средние пороговые интенсивности гармонических сигналов для IO операторов

Площадь электродов, $см^2$	Параметр	Частота, кГц						
		0,02	0,06	0,I8	0,54	I,62	4,86	I4,58
порядка IO	напряжение, В	6,42 ±I,53	5,99 ±I,43	3,4I ±0,78	2,I3 ±0,48	I,53 ±0,38	I,54 ±0,48	2,68 ±0,93
	Ток, мА	0,37 ±0,I2	0,45 ±0,II	0,46 ±0,22	0,67 ±0,I7	I,07 ±0,35	2,43 ±0,8I	6,44 ±2,0I
I	Напряжение, В	8,5 ±2	8 ±I,8	8,2 ±I,8	8,6 ±I,6	7 ±I,4	5,7 ±I,3	5,7 ±I,4
	Ток, мА	0,I8 ±0,08	0,22 ±0,07	0,35 ±0,07	0,72 ±0,I3	I,37 ±0,3	2,82 ±0,65	6,9 ±I,93

Примечание. Доверительные интервалы соответствуют уровню значимости 0,05

При увеличении интенсивности любого электрического сигнала неизбежно возникают дискомфортные ощущения. Поэтому при использовании кожного анализатора для передачи информации оператору целесообразно выделить допустимый диапазон изменения интенсивности, определенный , например, как отношение интенсивности сигнала, вызывающего дискомфортные ощущения, к его пороговой интенсивности, соответствующей вероятности обнаружения сигнала, близкой к единице. Установлено [2], что при электрокожном предъявлении величина диапазона по интенсивности обычно оказывается в пределах 2-3 и практически не зависит от параметров сигнала на электродах (диапазон частот 0,02-20 кГц).

Чувствительность кожного анализатора при предъявлении гармонических сигналов частотнозависима (табл.I) [3], что необходимо учитывать при выборе параметров входного воздействия. При этом пороговый ток в диапазоне частот 0,02-20кГц является монотонно возрастающей функцией частоты, а зависимость порогового напряжения от частоты имеет минимум, положение которого на оси частот зависит от площади электродов. Ход пороговых кривых объясняется совокупным влиянием импеданса ткани и порога возбудимости нервных волокон [4]. Так, в частности, для площади электродов порядка IO $см^2$ пороговая кривая по напряжению гармонических сигналов до частот порядка I000 Гц формируется в основном под влиянием частотной зависимости импеданса ткани, а с ростом частоты предъявляемого сигнала все более решающую роль начинает играть понижение возбудимости нервных волокон.

Изменение формы сигнала на входе, что соответствует изменению его спектрального состава, приводит к изменению его пороговой интенсивности. В результате обобщения экспериментальных данных для различных сигналов установлено, что периодический знакопеременный сигнал без

постоянной составляющей достигает своей пороговой интенсивности, если кривая, отражающая зависимость $к_I = F(к_2, к_3, \ldots к_N)$, находится в области, границы которой определяются уравнениями [5]:

$$\sum_{i=1}^{N} к_i = 1, \qquad \sqrt{\sum_{i=1}^{N} к_i^2} = 1,$$

где $к_i = \frac{u_i}{u_{in}}$ – весовой коэффициент, u_i – амплитуда гармоники с частотой f_i негармонического сигнала, u_{in} – пороговая интенсивность гармонического сигнала с частотой f_i. Эти соотношения позволяют оценить пороговую интенсивность полигармонического сигнала, если известны его спектральный состав и частотная зависимость пороговой интенсивности для гармонического сигнала. В качестве примера можно привести результаты расчета возрастания эффективного порогового напряжения в области низких и средних частот при переходе от меандра к гармоническому сигналу для площади электродов порядка 10 $см^2$ [5]. Расчетным путем установлено, что такое изменение спектрального состава сигнала должно привеоти к возрастанию порогового напряжения для частоты сигнала 100 Гц в 1,27-2,41 раза, 1000 Гц - в 1,1-1,51, а для 4000 Гц - в 1-1,36 раза. Экспериментально полученные величины этого превышения (усредненные для 10 операторов) при доверительной вероятности 0,99 составляют: 100 Гц - 1,67±0,37; 1000 Гц - 1,35±0,22; 4000 Гц - 1,22±0,25 раза.

Следует отметить, что этот метод расчета для каждого конкретного случая требует предварительной оценки возможнсти использования спектрального подхода при анализе пороговых величин сигналов, степень проявления которых увеличивается при уменьшении частоты сигнала и площади электродов [6].

В случае импульсной стимуляции пороговые величины сигналов находятся в соответствии с известной зависимостью "сила - длительность". Экспериментально установлено, что при стимуляции одиночными и однополярными периодическими импульсами "главное полезное время" на кривой "сила - длительность" составляет 0,25±0,5 мс, а в случае заполнения импульсов шумоподобными сигналами его величина возрастает до 40,8±9,1 мс [7,8]. Критерий "главного полезного времени" показывает, что при выборе кода по длительности при условии сохранения постоянного уровня интенсивности сигнала минимальная длительнооть импульса должна превышать величину "главного полезного времени".

Небольшая величина диапазона по интенсивности, характерная для ЭККС, приводит к необходимости поиска сигналов, обладающих минимальной вариацией их пороговых интенсивностей во времени, так как изменение уровня чувствительности при фиксированной интенсивности предъявляемого сигнала на входе ЭККС может привеоти как к возникновению дискомфортных ощущений, так и к пропуску сигнала или нарушению распознавания предъявляемых сигналов ввиду известной завиоимости величины дифференциальных порогов от исходной пороговой интенсивности

Таблица 2

Коэффициент вариации пороговых интенсивностей гармонических сигналов для интервала времени 2 недели (усреднено для I0 операторов)

Площадь электродов, см²	Параметр	Частота, кГц						
		0,02	0,06	0,I8	0,54	I,62	4,86	I4,58
порядка I0	Напряжение, В	28,3 ±7,8	22 ±5,9	I6,4 ±3,9	I3,3 ±2,2	I0,7 ±I,6	II,4 ±2,9	I5,5 ±4,6
	Ток, мА	2I,3 ±6	I7,8 ±3,I	I5,9 ±3,I	I2,4 ±I,7	I0,3 ±I,6	I2,2 ±2,9	I6,3 ±2,9
I	Напряжение, В	27,8 ±7,3	28 ±7,5	24,5 ±6,4	I8,2 ±4	I6 ±2,2	I6,8 ±2	20,6 ±2,6
	Ток, мА	76,5 ±I3,I	6I ±I3	4I,6 ±9,I	22 ±4,I	I8,I ±2,5	I5,I ±2,5	I8,6 ±2,9

Примечание. Коэффициенты вариации выражены в процентах; доверительные интервалы соответствуют уровню значимости 0,05.

стимула [9]. Установлено, что минимальная вариабельность пороговых величин характерна для гармоничеоких сигналов в диапазоне частот, ограниченном снизу и сверху частотами порядка 1 и 5 кГц (табл.2)[I0]. Следует отметить, что в указанном частотном диапазоне по сравнению с низкочастотной сбластью существенно уменьшается также временная нестабильность полного межэлектродного сопротивления и минимизируется нестабильность угла сдвига фаэ между напряжением и током [I0]. Кроме того, этот частотный диапазон характеризуется уменьшением среднего порогового напряжения для группы операторов и индивидуального разброса пороговых величин сигналов (см.табл.I).

Детальный анализ экспериментальных данных для гармонического сигнала позволил установить, что регистрируемая частотная зависимость временной неотабильности пороговых величин (табл.2) формируется в результате комплексного влияния двух основных факторов: вариабельности чувствительности возбудимых структур и временной нестабильооти электрических характеристик межэлектродной цепи.

В случае предъявления негармонических сигналов минимальной вариацией пороговых величин, сравнимой о минимальной вариацией пороговых величин, полученной для гармонических сигналов, обладают сигналы, спектральный состав которых удовлетворяет условию

$$\sum_{i=1}^{l} k_i \gg \sum_{j=1}^{m} k_j,$$

где k_i и k_j – весовые коэффициенты соответственно для гармоник оптимальных (в смысле минимальной вариабельности) и неоптимальных час-

тот. Примерами таких сигналов являются шумоподобные сигналы с равномерным спектром частот в диапазонах 0,25-3,5 и 0,02-20 кГц, а также применяемые рядом исследователей для кодирования информации последовательности коротких прямоугольных импульсов (длительностью менее I мс) с частотой следования менее I00 Гц [11-14]. Выявленные закономерности зависимости временной нестабильности пороговых величин от спектрального состава предъявляемых сигналов, а также величины, характеризующие эту нестабильность, сохраняются для всех исходных интенсивностей сигнала в пределах диапазона по интенсивности. Анализ результатов исследования нестабильности пороговых величин для различных сигналов показал, что рассмотренный выше спектральный подход может быть использован не только для оценки пороговой интенсивности полигармонических сигналов, но и для оценки временной нестабильности этой интенсивности. В последнем случае предполагаются известными спектральный состав исследуемого сигнала и частотные зависимости порговых величин и их неотабильности для гармонических сигналов.

Известно, что длительное предъявление сигнала любой модальности сопровождается явлением адаптации. Это в свою очередь накладывает ограничения на сигналы, используемые для передачи информации, и методы их предъявления. Косвенная оценка влияния адаптации на чувствительность показала, что при непрерывной стимуляции периодическими сигналами с частотой следования 0,02-I5 кГц (меандр, гармонический сигнал) для сохранения исходного уровня ощущения оператор вынужден увеличивать со временем интенсивность сигнала по закону, близкому к логарифмическому [I5]. Получено, например, что при десятиминутном предъявлении электрических сигналов необходимое для сохранения исходной интенсивности ощущения изменение пороговых величин сигналов описывается эмпирической формулой:

$$\frac{u_t}{u_{10}} = \frac{1-\gamma}{\varrho} \lg t + \frac{\gamma}{\varrho} - \frac{1-\varrho}{\varrho},$$

где u_t и u_{10} - текущая и достигнутая к концу десятиминутного периода электростимуляции рабочие интенсивности сигнала, t - время предъявления в минутах, большее 0,33 мин; $\varrho = (1 - \lg 0{,}33)$ - константа, γ - параметр, зависящий от условий электростимуляции (табл.3). В частности, при непрерывном предъявлении гармонического сигнала и меандра величина γ определяется, в основном, частотой следования сигнала.

Установлено, что влияние процессов адаптации на чувствительность может быть уменьшено путем временной [I5] или пространственно-временной дискретизации сигнала (табл.3); примером последней является предъявление шумоподобных или амплитудно-модулированных сигналов [I6]. Для случая временной дискретизации сигнала (импульсная модуляция) в результате модельных исследований установлено, что в зависимости от разрешающей способности сенсорной системы необходимая длительность паузы

Таблица 3

Граничные величины γ в зависимости от параметров предъявляемого сигнала

Граница	Способ предъявления								
	Непрерывный					ДI		Д2	
	Гармонический		Шумоподобный			Гармонический			
	Частота кГц								
	0,02	I,62	I4,58	0,02-20	0,25-3,5	0,I8	I4,58	0,I8	I4,58
Верхняя	0,94	0,68	0,67	0,98	I	I	0,9I	I	0,98
Нижняя	0,64	0,49	0,43	0,84	0,86	0,89	0,72	0,93	0,86

Примечания. Величина γ определена по экспериментальным данным для II операторов; ДI и Д2 – дискретное предъявление с равными между собой длительностями посылки и паузы 0,3 и 0,6 с.

t_n при заданной длительности посылки τ определяется по одному из выражений:

$$(t_n)_1 = \frac{\tau}{1-\tau}(1+\tau_0),$$

$$(t_n)_2 = \frac{A\tau}{B+C\tau},$$

где τ_0 – базовая длительность, соответствующая равным между собой длительностям посылки и паузы, при которых отсутствуют изменения чувствительности; $A = t^*_{n1} t^*_{n2} (\tau_1 - \tau_2)$; $B = \tau_1 \tau_2 (t^*_{n1} - t^*_{n2})$; $C = t^*_{n2}\tau_1 - t^*_{n1}\tau_2$; где t^*_{n1} и t^*_{n2} – известные из эксперимента критические длительности пауз, соответствующие длительностям посылки τ_1 и τ_2, характеризующиеся отсутствием изменения чувствительности. В конечном итоге полученные зависимости пороговых значений от длительности стимуляции и оценка применительно к конкретной задаче различных способов уменьшения влияния адаптационных свойств (импульсная и амплитудная модуляция, использование шумоподобных сигналов) позволяют производить объективный выбор способов предъявления непрерывных потоков информации в человеко-машинных системах, использующих ЭККС.

Рассмотрим некоторые особенности выбора элементов кода при использовании ЭККС. Дифференциальные характеристики кожного анализатора позволяют определить предельное число различимых градаций параметров сигнала, которые, однако, непосредственно не могут быть ис-

пользованы для формирования элементов кода. Чтобы решить этот вопрос, вводится понятие оперативного порога, который в несколько раз превышает дифференциальный [17]. В конечном итоге после обучения на распознавание выбирается конкретное число различимых градаций параметров стимула. Так, например, для параметра интенсивности электрического стимула, исходя из величины диапазона по интенсивности и дифференциальной чувствительности кожного анализатора, число возможных различимых градаций составляет примерно 8-14. Однако для построения кода используются обычно 2 градации интенсивности [18,19]. Аналогичная ситуация складывается и при выборе элементов кода по длительности [18,19]. Интересно отметить возможности частотного кодирования информации [8,11,15], применение которого, как показали наши исследования, возможно и при наличии на входе ЭККС аддитивного шума порогсвой интенсивности [8]. Экспериментально получено, что отношение порогового сигнала к шуму принимает значения, меньшие единицы для гармонических сигналов в диапазоне частот 800-1500 Гц [8,20]. Выделение в качестве элементов кода двух частотных градаций (500 и 1500 Гц) приводит к тому, что их правильное распознавание сохраняется и при соотношении сигнала к шуму порядка единицы.

Необходимость согласования входа ЭККС с выходом информационной модели требует оценки как количества передаваемой информации по сенсорному каналу связи, так и максимальной скорости ее передачи. Применимость информационных оценок не вызывает сомнения при анализе актов идентификации, опознания, реакций выбора, т.е. таких экспериментальных методов, в которых оператор ставится в ситуацию выбора в случае знания полного алфавита стимулов [17]. Способность системы хранить и передавать информацию характеризуется информационной емкостью. Информационная емкость кожного канала составляет 2,84 бит, слухового - 2,5 бит, зрительного - 3,25 бит. Такое положение вытекает из биологических особенностей анализаторных систем человека [21]. Так Дж.Миллер [22] установил, что при идентификации одномерных стимулов возможность человека передавать информацию определяется величиной от 1,6 до 3,9 бит, и объяснил это тем, что число точно идентифицируемых альтернатив независимо от модальности стимула составляет 7 ± 2. Оценка скорости передачи информации по ЭККС на сенсорном уровне (с учетом времени реакции оператора) показала, что эта величина имеет порядок 0,8-1,3 бит/с при вероятности правильного опознавания сигналов большей 0,96 [8,23]. Оценка минимального времени предъявления сигналов, при котором еще сохраняется их правильная идентификация, приводит к представлению о том, что пропускная способность ЭККС на сенсорном уровне составляет около 10 бит/с [8,23]. Аналогичные эксперименты, проведенные при наличии на входе ЭККС аддитивного шума пороговой интенсивности, показали, что вероятность правильного распознавания по частоте сохраняется, причем величина минимального времени предъявле-

ния имеет тот же порядок, что и при распознавании сигналов в отсутствие шума [8].

В заключение следует сказать, что пороговые, дифференциальные и адаптационные характеристики взаимосвязаны и, выступая в единстве, характеризуют процесс восприятия [17]. Таким образом, анализ результатов исследования абсолютной чувствительности кожного анализатора, ее временной нестабильности и процессов сенсорной адаптации позволил выявить ограничения для входных сигналов ЭКС. Учет этих ограничений необходим при разработке любых кодов, так как позволяет повысить надежность обнаружения сигналов при соблюдении требования комфортности. Проверка целесообразности применения предложенных критериев выбора сигналов проводилась на примере задачи компенсаторного слежения [15]. В данном случае использование критерия минимальной нестабильности и введение дискретизации входного сигнала для уменьшения влияния адаптационных свойств на чувствительность кожного анализатора позволили повысить точность компенсаторного отслеживания при частотном кодировании информации.

Литература

1. Ярошенко А.А. Общий подход к исследованиям кожного анализатора как канала связи. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том.ун-та, 1978, с.75-79.
2. Коновалова Л.М., Ярошенко А.А. Исследование диапазона интенсивности для сигналов разной формы при электрокожной стимуляции. - В кн.: Матер. Первой конф. молодых ученых. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974, вып.2, с.32-33.
3. Ярошенко А.А. Пороги электрокожной чувствительности человека при разной форме сигналов. - Тр. СФТИ, 1973, вып. 64, с. 264-287.
4. Ярошенко А.А., Мигалкин И.В., Коновалова Л.М. Моделирование некоторых закономерностей электрокожной чувствительности человека. - Бионика-73. М., 1973, т.2. с.266-269.
5. Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Исследование входных характеристик электрокожного канала человека. - В кн.: УI конф. по теории кодирования и передачи информации. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1975, ч.4, с.133-136.
6. Biegelmeier G., Rötter K. Elektrische Wiederstände und Strčme in menschlichen Körper.-Elektrctechn. und Maschinenbau, 1971. Bd.88, N 3, s.104-114.
7. Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Зависимость пороговой электрокожной чувствительности от длительности и частоты следования импульсов. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1978, с.86-92.
8. Ярошенко А.А., Тарасенко Ф.П. О передаче информации по электро-

кожному каналу человека. - В кн.: УI конф. по теории кодирования и передачи информации. Томск: Изд-во Том. ун-та, I975, ч.4, с.I28-I32.

9. Pfeiffer E.A. Electrical stimulation of sensory nerves with skin electrodes for research, diagnosis, communication and behavioral conditioning: a survey. - Med. and Biol. Eng., I968, No.6,p.637-65I

I0. Коновалова Л.М., Ярошенко А.А. Об одном критерии выбора оптимальных параметров сигнала. - В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Том. ун-та, I979, вып.2, с.I48-I6I.

II. Линецкий М.Л., Закарлюка Ж.Д. Физиологические основы построения электрической обратной связи для "очувствления" биоэлектрического протеза предплечья. - В кн.: Нейробионика. Киев: Наук. думка, I970, с.75-82.

I2. Foulke E. Communication by electrical stimulation of the skin. - Res. Bull. Amer. Foundat. Blind, I968, No.I7, p.I3I-I40.

I3. Melen R.D., Meindl J.D. Electrocutaneous stimulation in a reading aid for the blind. - IEEE Trans. Bio-Med. Eng., I97I, vol.I8, No.I, p.I-3.

I4. Schori T.R. Tracking performance as a function of precision of electrocutaneous feedback information. - Hum. Fact. I970, vol.I2, No.5, p.447-452.

I5. Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Некоторые особенности кодирования информации при электрическом раздражении кожи. - Физиология человека, I978, т.4, №2, с.284-289.

I6. Тарасенко Ф.П., Ярошенко А.А., Коновалова Л.М. Кожный анализатор как канал связи. - В кн.: Реф. докл. II Междунар. конф. стран - членов СЭВ по основным проблемам бионики: Бионика-78. М.;Л.; I978, т.2, с.7I-73.

I7. Ломов Б.Ф. Человек и техника. М.: Сов. радио, I966. 464 с.

I8. Alluisi E.A., Morgan E.B., Hawkes G.R. Masking of cutaneous sensation in multiple stimulus presentation. - Percept. and Mot. Skills . I965, No.20, p.39-43.

I9. Foulke E., Coates D., Alluisi E.A. Decoding of electrocutaneous signals; effects of dimensionality on rates of information transmission. - Ibid., I966, No.I, p.295-302.

20. Ярошенко А.А. Использование электрокожного канала связи человека-сператора для передачи сигналов на фоне помех.- В кн.: Проблемы кибернетики. Томск: Изд-во Том. ун-та, I973, вып.64, с.278-283.

2I. Волошинова Б.Б., Жигалова Л.Ф., Твильнева Г.К., Фаткин Л.В. Попытка использования электрического раздражения кожного анализатора для передачи информации человеку-оператору. - В кн.: Проблемы инженерной психологии. М.: Наука, I968, вып.2, с.30I-307.

22. Миллер Дж. Магическое число семь плюс или минус два. О некоторых

пределах нашей способности перерабатывать информацию. - В кн.: Инженерная психология. М.: Прогресс, 1964, с.192-225.
23. Ярошенко А.А. Информационные характеристики кожного анализатора человека. - В кн.: Математическая статистика и ее приложения. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1980, вып.6, с.165-170.

1.4. Об электромагниторецепции

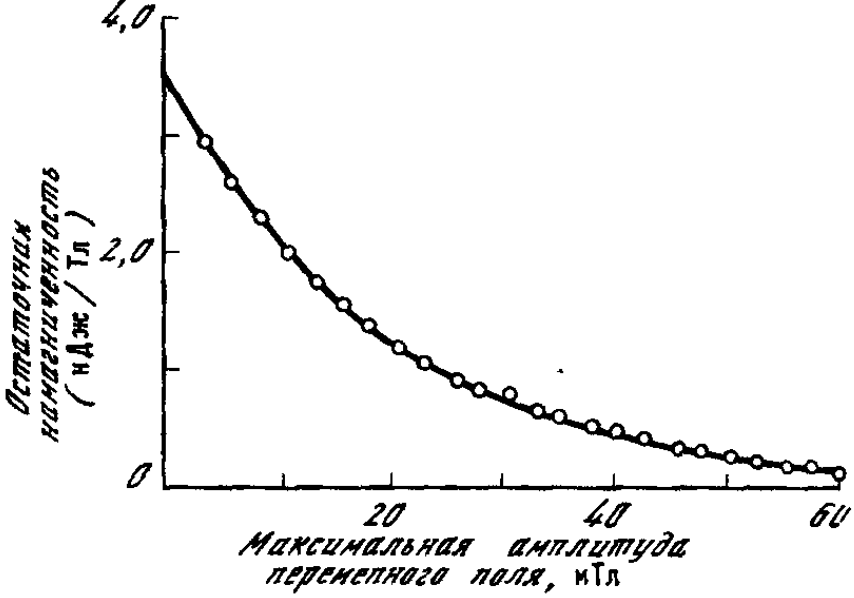
Несмотря на значительное число экспериментальных исследований, до настоящего времени не выявлены рецепторы, ответственные за субсенсорное восприятие неионизирующих излучений, что является препятствием для признания этих излучений как физиологических раздражителей [1]. Тем не менее, существует значительное число экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что не только поведенческие реакции организмов [1-7], но и их структурные компоненты откликаются на изменение электромагнитного окружения, в том числе электромагнитной гелиогеофизической ситуации [8-13]. Одним из проявлений такого отклика является ритмика биологических процессов как на уровне биосферы в целом, так и на организменном и клеточном уровнях [14-15].

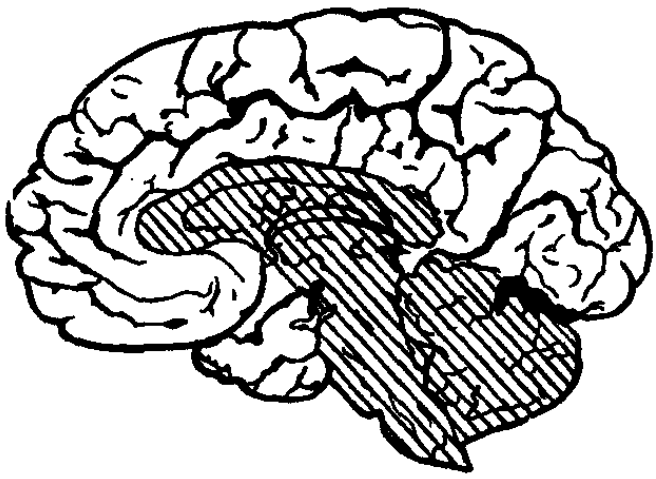
Как одно из гипотетических магниторецепторных восприятий биосистемами неионизирующих излучений принимается термоэффект со всеми вытекающими последствиями [16], однако термоэлектромагнитные рецепторы в организмах до настоящего времени не обнаружены. В то же время в различных организмах обнаружен биогенный магнетит [4,17,18], который, являясь основой электромагниторецепторов как ферримагнетик и хороший проводник электричества, может быть ответственным за эффекты, вызываемые воздействием электромагнитных полей и излучений [19]. Достоверно установлено, что биогенный магнетит является компасом животных, а у пчел одновременно служит хронометром.

Наличие магнетита в надпочечниках (рис.4) и в древних участках мозга (рис.5), выяснение его функций может пролить свет на причину реакции нервной системы на ЭМП.

Изотермическая остаточная намагниченность надпочечников человека (рис.4) в амагнитном окружении составляет $3,4 \cdot 10^{-9}$ Дж/Тл; такую намагниченность могут дать $7,4 \cdot 10^{-8}$ г однодоменного магнетита. Размагничивание приводит примерно к экспоненциальной зависимости остаточной намагниченности от максимальной амплитуды переменного поля. Контрольные образцы тканей (мозг голубя, почки человека) имеют остаточную намагниченность, по крайней мере ниже уровня чувствительности магнитометра, т.е. 10^{-11} Дж/Тл [4].

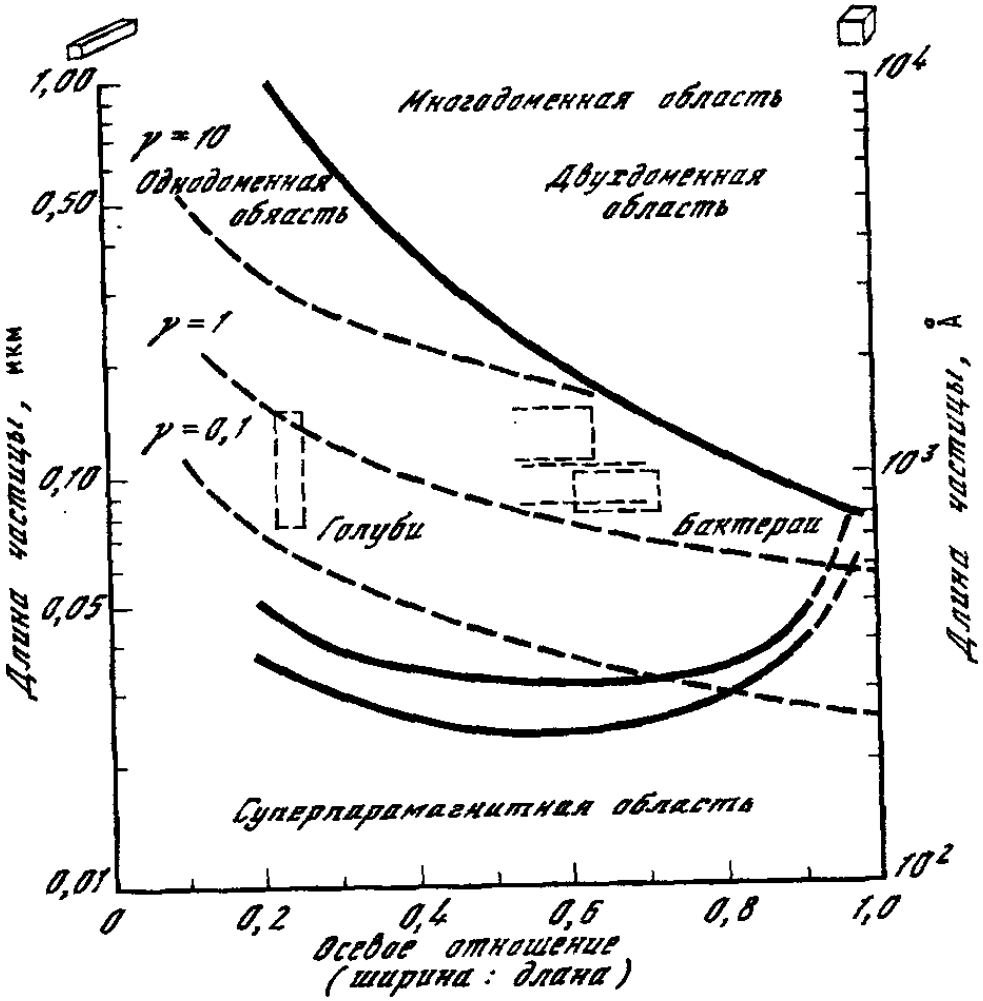
Ткань мозга макак резус (рис.5) имеет рассеянную изотермическую остаточную намагниченность насыщения около 25 пТл, что может свидетельствовать о наличии от 1 до 5 млн однодоменных кристаллов магнетита на 1 г вещества. Наблюдается устойчивая анатомическая локализация





Р и с. 4. Ферримагнитная остаточная намагниченность надпочечников человека /4/

Р и с. 5. Ферримагнитный материал (заштрихованная область) в ткани мозга макак резус /4/



Р и с. 6. Диаграмма магнитной стабильности зерен магнетита /I7/

Сплошные кривые - - границы перехода от двухдоменной к однодоменной области (верхняя кривая) и от однодоменной к суперпарамагнитной области (нижние кривые, между которыми располагаются частицы с постоянной времени перемагничивания от 4×10^9 лет до I00 с), штриховые кривые - значения равной энергии в геомагнитном поле B ($B \simeq 0{,}05$ мТл) при комнатной температуре, $\gamma = (\vec{m}\vec{B})/kT$, соответствующие равным объемам зерна, при $\gamma = 0{,}1$; I; I0

намагниченности в древних участках мозга макак резус (возможно, человека /20/) и ее отсутствие в более молодой коре головного мозга, что подтверждает биогенное происхождение ферримагнитного материала. Отсутствие магнетита в молодых, более современных структурах мозга можно расценивать как показатель того, что, возможно, на определенном этапе эволюции создались условия, которые стимулировали развитие второй сигнальной системы как средства общения, в связи с чем электромагниторецепторный аппарат перешел на субсенсорный уровень. Альтернативой такой постановки вопроса может служить утверждение, что электромагнитная рецепция развилась у человека, обезьян, дельфинов и др. животных под влиянием все более усиливающегося воздействия ЭМП и находится на эволюционном пути развития от несенсорной к сенсорной рецепции.

Наличие биогенного магнетита в организмах позволяет неэмпирическими методами оценивать чувствительность электромагниторецепторов различной структуры. Такая оценка произведена американскими учеными Дж. Л. Киршвинком и Дж. Л. Гоулдом /17/ на основе изучения поведенческих эффектов в магнитных и геомагнитных полях, анализа результатов экспериментов, использования диаграммы стабильности изолированных прямоугольных параллелепипедов магнетита (рис.6), препарирования различных организмов: голубей, тунцов, пчел, пчелиных куколок, бактерий.

Установлено следующее /17/.

I. Бактерии, акулы, медоносные пчелы, голуби, обладающие хомингом, и другие организмы широкого филетического спектра способны определять направление ГМП. Косвенные, но воспроизводимые данные свидетельствуют о том, что пчелы и птицы могут реагировать также на незначительные изменения его напряженности. Механизмы, лежащие в основе такой чувствительности, неизвестны. Чувствительность пчел оценивается величиной I-I0 нТл или 0,I-I нТл/мин. В отсутствие других ориентиров пчелы согласуют свои циркадные ритмы с суточными вариациями напряженности ГМП в 50-I00 нТл. Голуби, обладающие хомингом, демонстрируют более очевидные реакции на ГМП, чем пчелы, поскольку поле магнитного бруска или пары соленоидов, прикрепленных к голове голубей, в пасмурные дни совершенно нарушают их ориентацию. В солнечные дни выпущенные на волю в районах магнитных аномалий голуби демонстрируют явно выраженные поведенческие эффекты при изменениях поля на 40 нТл/км в направлении полета к дому.

2. Данные о поведении животных, обитающих на суше, служат доводами против индукционного механизма их магниточувствительности.

3. Природный магнетик - биологически синтезированный магнетит Fe_3O_4, обнаружен в моллюсках-хитонах, магниточувствительных бактериях, рабочих пчелах, голубях, обладающих хомингом, дельфинах и тунцах. Его минерализация в определенных областях организмов может быть связана со способностью животных реагировать на направление и напряженность ГМП. Обычные парамагнитные взаимодействия, даже вследствие

сильных локальных МП и градиентов вблизи зерен магнетита, не могут быть убедительной причиной наблюдаемых биологических эффектов.

4. Слабая, но воспроизводимая ферримагнитная остаточная намагниченность обнаружена в органах латеральной линии акул, надпочечниках человека (см. рис.4), мозжечке, среднем мозге и мозолистом теле макак резус (см. рис.5) [4]. К магниточувствительным животным относятся также пещерные саламандры и тритоны. Ферримагнитные преобразователи, связанные с нервной системой, могут позволить даже оседлым или медленно передвигающимся организмам, обитающим на суше, определять слабые изменения направления или напряженности локального МП, по крайней мере таких малых величин, как те, которые чувствуют обладающие хомингом голуои и пчелы. Биогенный магнетит магнитотектитных бактерий используется ими как компас в их стремлении двигаться вглубь водоемов в отсутствие градиента окислительно-восстановительного потенциала.

5. Органический магнетит является обычной биологической компонентой и причиной реэультатов многочисленных экспериментов на животных с применением полей высокой напряженности и электромагнитных излучений. Предположением, что органический магнетит может служить для других целей в биологических системах, помимо магнитосрецепторных, можно объяснить многие наблюдаемые пагубные эффекты сильных МП [4,17].

6. Наличие большого числа ($\sim 10^8$) суперпарамагнитных и однодоменных магнетитовых зерен у голубей (см. рис.6) наводит на мысль о существовании, по меньшей мере, двух основных типов ферримагнитных магниторецепторных органелл.

7. Теоретические расчеты показывают, что наличие таких ферримагнитных органелл с любым из этих типов зерен, сбъединенных нервной системой, может объяснить даже крайне высную известную чувствительность к МП. При детектировании МП при помощи однодоменных или суперпарамагнитных зерен магнетита, обнаруженных у магниточувствительных животных, энергия взаимодействия между зернами магнетита и энергия ориентации превышает кТ, и поэтому может служить пресбразователем между МП и нервной системой. Возможна такая структура магнитного детектирования, которая отслеживает общую напряженность ГМП без учета направления вектора. Такая система может служить частью "картографического" чувства голубей, обладающих хомингом, и мигрирующих животных, которан обеспечивает точную информацию о местонахождении в пределах нескольких километров. Возможна также структура, обеспечивающая определение вектора напряженности МП. Задача дальнейших исследований - уточнить функции магниторецепторного механизма.

8. Биогенный магнетит может иметь разнообразное промышленное применение, поскольку организмы, например магниточувствительные бактерии, в которых синтезируется магнетит, могут управлять размером и формой своих магнитных кристаллов.

Формирование зуба хитона начинается с образования сотообразной

структуры органического материала, которая затем наполняется трехвалентным железом, входящим в состав минерала ферригидрита - ядра размером около 6 нм макромолекулы ферритина, поставляющего ферригидрит в зону минерализации [17]. В результате неизвестного процесса в этой зоне ферригидрит быстро восстанавливается до магнетита за несколько дней до появления зуба в области перетирания пищи и образует скопление кристаллов, размером примерно 0,1 мкм, изолированных друг от друга тонкими перегородками из органического материала толщиной около 20 нм. В зависимости от биологического вида хитона кристаллы могут быть суперпарамагнитными, однодоменными или многодоменными, почти всегда гексагональной формы или в виде прямоугольных параллелепипедов. Магниточувствительные бактерии образуют одну или две цепочки почти одинаковых однодоменных кристаллов магнетита [4].

Дж.Л.Киршвинк и Дж.Л.Гоулд [17] рассмотрели несколько моделей магниторецепторов - простых устройств-преобразователей, которые могут управлять необходимой деполяризацией мембраны сенсорного нерва. Установлено, что для определения магнитных направлений стран света (компаса) достаточно нескольких сотен кристаллов магнетита; при объединении десятков и сотен миллионов зерен реально восприятие очень слабых полей.

Магнитные свойства ферромагнитного материала [22], в котором имеется упорядоченное множество параллельных атомных моментов октаэдрического Fe^{2+} во всей кристаллической решетке, состоящей из тетраэдрических и октаэдрических позиций, находятся в прямой зависимости от размера и формы кристаллов (см. рис.6). Зерна, расположенные в однодоменных и суперпарамагнитных областях диаграммы, имеют однородную структуру параллельных магнитных моментов Fe^{2+} во всем объеме частиц. Эти зерна всегда намагничены до полного магнитного насыщения J_s равного 48 мТл. Однородно намагниченные частицы в объеме V ($см^3$) будут создавать магнитный момент $\vec{M} = VJ_s$. В однодоменных зернах направление намагниченности чрезвычайно устойчиво, в зернах меньших размеров - суперпарамагнитных - тепловая активация изменяет направленность остаточной намагниченности и моменты каждого зерна имеют тенденцию распределяться случайным образом или выстраиваться преимущественно в направлении локальных МП в прямой зависимости от их напряженности. При таких суперпарамагнитных свойствах направление намагниченности неподвижного зерна может меняться.

Характеристическое время релаксации τ [17], необходимое для спонтанного изменения направлении намагниченности отдельного домена, пропорционально величине: $\tau \sim exp(VJ_s \cdot H_c / kT)$, где H_c-микроскопическая коэрцитивная сила, k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура. Граница между областью стабильности отдельного домена и суперпарамагнитной областью (см. рис.6) зависит как от температуры, так и от размера и формы зерна. Выше критического объема однодоменное состояние уже нестабильно и моменты атомов не будут самостоятельно рас-

полагаться взаимно параллельно во всей частице; будут формироваться конфигурации из двух или более доменов с более слабым внешним МП (мультидоменное состояние). Почти весь биогенный магнетит, как установлено, либо однодоменный, либо суперпарамагнитный. Кристалл магнетита однодоменного размера самопроизвольно намагничивается до полного насыщения (48 мТл). Направление остаточной намагниченности полностью определяется внешним полем в момент намагничивания и формой частицы.

Биогенный магнетит встречается в малых количествах за исключением зубов хитона и в ряде случаев тонко рассеян в биологической ткани. Биогенное происхождение магнетита животных подтверждено препарированием пчел на разных стадиях развития в амагнитной обстановке с использованием сквид-магнитометров, чувствительностью 10^{-11} Дж/Тл и специальных хирургических инструментов. Установлено, что магнетит синтезируется у пчел в передней области брюшка за день до выхода пчелы из куколки. По мнению Дж.Л.Киршвинка [17], тяжелые зерна магнетита могут участвовать в рецепторной системе, реагирующей на гравитационное поле.

Чтобы функционировать как магниторецепторы, ферримагнитные зерна должны быть связаны с нервной системой. Свойства биогенного магнетита позволяют рассмотреть несколько простых способов, в соответствии с которыми организм может строить органеллы: изолированный рецептор, торсионный детектор, рецептор с суперпарамагнитными зернами.

Простейший способ соединения магнетита с нервной системой может быть в том случае, когда на рецепторную клетку приходится однодоменное зерно, имеющее свойства постоянного магнита (рис.7а). Однодоменный кристалл магнетита содержится в мембране, где он свободно поворачивается под влиянием ГМП. Если зерно магнетита изолировано частично, контакт неизолированных участков внешней и внутренней среды, разделяемых мембраной, будет возникать при определенной ориентации МП. Поскольку по биологическим стандартам магнетит превосходный проводник, при таком расположении, как на рис.7б, он будет деполяризовать мембрану, генерирующую потенциально полезный сигнал. При повороте зерна электрическая деполяризация изменяет потенциал мембраны, управляющий потенциалом действия. В данной модели небольшая органелла, содержащая зерно биогенного магнетита, изолированное, например, миелином, удерживается гидрофобными группами протеина поперек мембраны чувствительного нервного окончания.

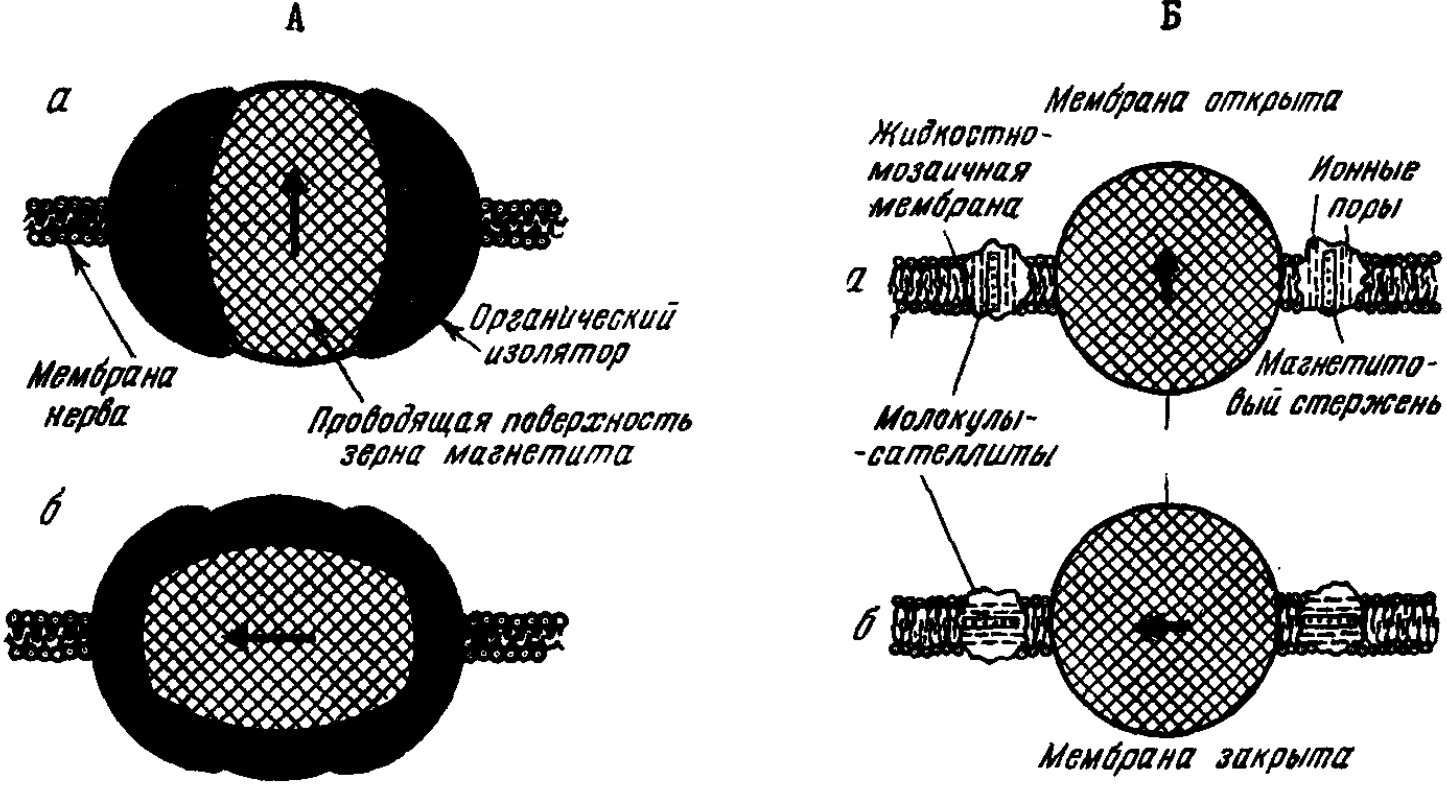
Энергия взаимодействия $\vec{m}\vec{B}$ изолированного зерна с магнитным моментом $\vec{m}$ и внешнего магнитного поля $\vec{B}$ должна быть несколько больше kT. Поскольку $|\vec{m}| = VJ_s$, объем зерна в ГМП ($B \simeq 0{,}05$ мТл) определяет эту энергию взаимодействия; на рис.6 можно нанести кривые равной энергии (соответствующие равным объемам зерен) при $\gamma = \vec{m}\vec{B} / kT$, равном 0,1; 1; 10.

При трех органеллах, расположенных примерно ортогонально, средняя частота потенциалов действия каждой из них может передать информацию, необходимую для оценки направления МП. Частота срабатывания содержит

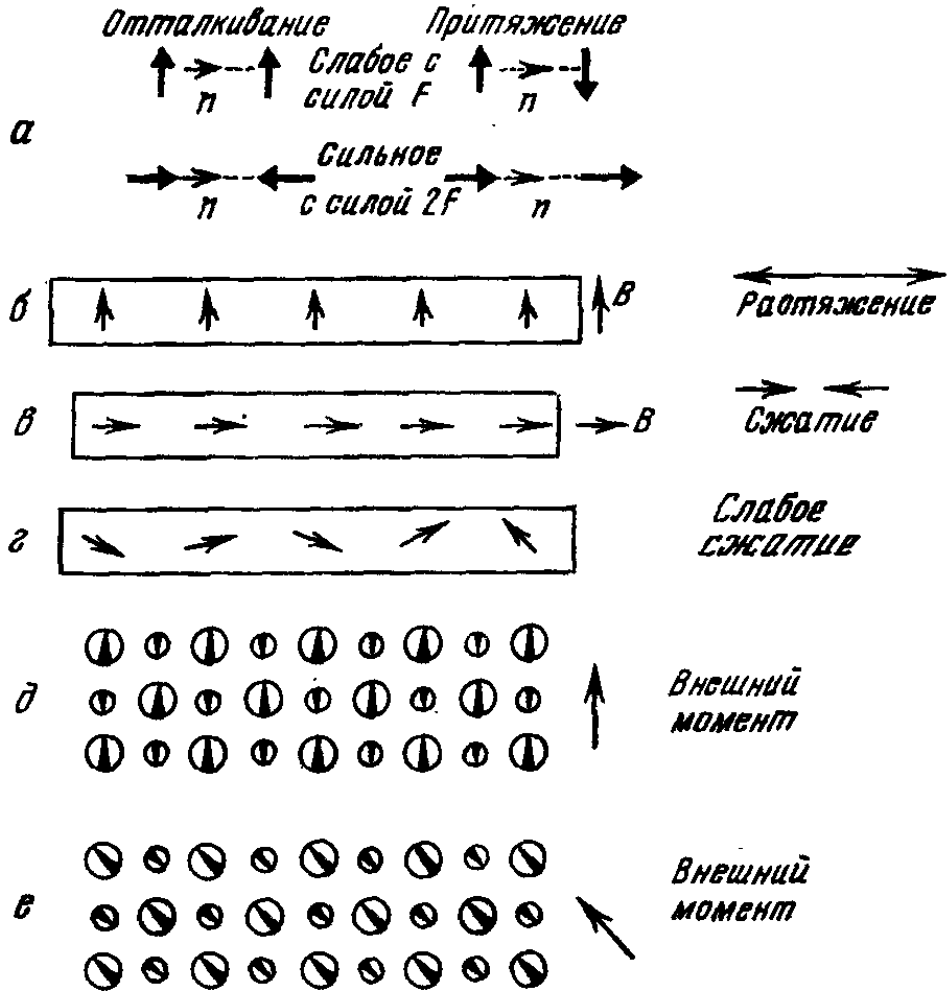
также информацию о магнитной напряженности, поскольку каждое зерно магнетита соответствует гармоническому осцилятору, возбуждаемому тепловым воздействием. В среднем магнитный момент зерна $\vec{m}$ будет распределен вокруг направления внешнего поля $\vec{B}$ со среднеквадратичным угловым отклонением $(2kT/mB)^{1/2}$. Так как обе стороны зерна (рис.7а). должны участвовать в закорачивающем мембрану цикле, то такой детектор не может различать полярноотъ, по этой же причине размагничивание не может изменитъ реактивность органеллы. Пчелы, голуби и зарянки, как известно, не воспринимают полярность. Нервная система животного может усиливать разрешающую способность любого органа вооприятия, интегрируя отклики большого числа органелл или осредняя выходные сигналы в течение некоторого временного интервала, или производя и то и другое. Теоретическая чувствительность при этом оставляет 4 нТл при времени осреднения τ = 35 мс. При τ = 3,5 с голуби спосоёны, по крайней мере теоретически, различать изменения в 0,4 нТл.

Движение зерна однодоменного магнетита может изменнть потенциал мембраны не только при замыкании ее в поперечном направлении, но и открывая и закрывая ионные каналы (рис.7б). При этом более крупное зерно магнетита может быть суперпарамагнитным. Молекулы-сателлиты в среде мембраны (внутри липидного двойного слоя) имеют сердцевину из магнетитового стержня (минерализованного ядра ферритина) и ориентируются параллельно напряженности локального поля, создаваемого более крупным кристаллом. Энергия взаимодействия между молекулами-сателлитами и более крупным кристаллом должна быть больше kT, для чего суперпарамагнитные зерна-оателлиты должны иметь такую форму, чтобы магнитостатическая энергия за счет анизотропии формы превышала kT. Объем такого кристалла-сателлита оценивается величиной, эквивалентной объему шара, диаметром 4,8 нм. Молекула-сателлит, имеющая энергию анизотропии равную 3 kT, может быть образована при преобразовании ядра железосодержащего ферритина диаметром около 7 нм в магнитный стержень. При суперпарамагнитных овойствах более крупного зерна его момент может менять направление в соответствии с внешним МП без движения самого зерна, а молекулы-оателлиты, взвешенные в прилегающей мембране, будут поворачиваться в соответствии о моментом более крупного зерна, открывая и закрывая прилегающие к ним ионные каналы. Зерна, соответствующие полученным теоретически суперпарамагнитным размерам, выделены из пчел. Хотя пчелы имеют и однодоменные зерна, уже одна только суперпарамагнитная фракция может обеспечить чувствительность около I нТл при усреднении в интервале 3,5 с.

На основании раосмотренных моделей изолированных детекторов возможны многие варианты моделей магниторецепторов, но во всех случаях тепловая энергия kT должна быть скомпенсирована энергией взаимодействия mB, а наивысшая отепень чувствительности к МП, которую могут достигнуть животные, определяется количеством имеющегоон магнетита.



Р и с. 7. А – модель закорачиваемой мембраны при проводящей (а) и изолирующей (б) ориентации. Б – детектор с симпатическими сателлитами: а – внешнее поле перпендикулярно мембране; ионные поры подвергаются действию внешней среды, возбуждающей мембрану с псрами; б – внешнее поле в плоскости мембраны, поры перекрыты



Р и с. 8. Суперпарамагнитные упорядоченные скопления: а – геометрия слабого и сильного притяжения и отталкивания двух магнитных моментов; б,в,г – преобразователь в виде эластичного стержня; д,е – конфигурация рецептора, аналогичного ферримагнитному датчику; В – индукция магнитного поля

В другой простой модели магниторецептора однодоменные магниты расположены в ряд и их механические моменты суммируются вдоль общей оси. На каждый домен с магнитным моментом $\vec{m}$ в ГМП действует механический момент, примерно эквивалентный $(\vec{m}\,\vec{B})$; весь стержень будет испытывать действие механического момента, равного $[(\Sigma\vec{m})\,\vec{B}]$. Каждый кристалл детектора должен находиться в области однодоменной стабильности (рис.6). При такой структуре может быть получена любая чувствительность простым наращиванием числа однодоменных магнитов. В магниточувствительных бактериях магнетит образует цепочки, которые не только вовлекают бактерию в общий ряд, но и управляют полярностью каждого вновь образующегося кристалла. Голуби имеют удлиненный однодоменный магнетит (рис.6), который также может образовывать детектор торсионного типа. Устойчивая природная остаточная намагниченность групп пчел, вероятно, отражает ориентацию куколок в сотах перед выходом из них пчел, что подтверждает указанный тип процесса магниторецепции. Детектор торсионного типа в принципе позволяет различать север и юг.

Следующий вариант магниторецепторов построен на представлении об упорядоченных скоплениях суперпарамагнитных зерен. В результате магнитного взаимодействия на два соседних супермагнитных зерна действует отталкивающая сила или сила притяжения в зависимости от ориентации их дипольных моментов. Из-за того, что направление намагниченности суперпарамагнитного зерна легко меняется под влиянием внешнего поля, направление и интенсивность сил взаимодействия также может меняться и вызывать заметную реакцию известных механорецепторов (рис.8). Простая линейная геометрия такого типа детектора - эластичный отержень с регулярно расположенными зернами (рис.8б-г). На рис. 8б внешнее поле располагает все суперпарамагнитные моменты перпендикулярно стержню, они отталкиваются и длина стержня увеличивается. При расположении моментов параллельно стержню (рис.8в) зерна притягиваются, вызывая сжатие стержня. В отсутствие внешнего поля (рис.8г) моменты расположены случайным образом или скомпенсированы. Соседние зерна находятся на таком расстоянии, при котором поле диполя одного из них, действующее на соседние, меньше ГМП: они достаточно далеки друг от друга (если зерна расположены слишком близко, будет преобладать диполь-дипольное взаимодействие и отклика не возникнет). По размерам зерна должны лежать ниже линии перехода от суперпарамагнитных к однодоменным размерам (две нижние кривые рис.6), т.е. иметь размер около 40 нм и менее, а расстояние между зернами около 400 нм. При числе зерен 10^8, как у пчел, максимально возможная суммарная сила, развиваемая стержнем (рис.8б и 8в), равна 10^{-7} Н. Если такая сила сосредоточена на площади 100 мкм^2, давление будет 10^{-3} Н/см^2, что соответствует диапазону чувствительности известных механорецепторов.

Используя упорядоченное скопление суперпарамагнитных зерен, можно построить детектор, подобный ферримагнитному материалу. Незначительное

уменьшение размера каждого второго зерна может соответственно уменьшить параллельные магнитные вектора в общем ряду (рис.8д), в результате чего вся структура будет иметь общий магнитный момент. При этом каждое зерно является аналогом отдельного момента, связанного силами квантсвомеханического взаимодействия в кристаллической решетке ферримагнитного материала, а вся органелла имеет суперпарамагнитные свойства. Внешнее МП может вызывать деформацию, аналогичную магнитоотрикции, всзникающей в ферримагнитных материалах. Кубическая решетка из магнитных зерен может быть расположена в соединительной ткани, окружающей типичный рецептор давления. На рис.8д моменты параллельны осям кубической решетки и расположены вдоль магнитожесткого направления, на рис.8е моменты расположены вдоль магнитомягкого направления. Круговое движение животного (и следовательно органеллы) относительно ГМП будет изменять силы взаимодействия и, следовательно, вызывать ощутимые изменения.

Следует отметить, что клаоические термодинамические методы при изучении электромагниторецепции недоотаточны, поскольку они непосредственно не несут сведений о кинетике и механизмах быстрых реакций в жидких фазах и не связаны с откликом жидкостей на возмущения, вызываемые внешними взаимодействиями - электрическими, магнитными, акустическими, а отклик системы на внешние воздействия во многих случаях определяется механизмом химических реакций [23]. Вследствие ограниченности возможностей термодинамических методов при иооледовании электромагниторецепторов неиониаирующих излучений необходимо пользоваться резонансными методами.

Дж.Л.Киршвинком [24] высказано предположение, что магнетит, являясь основой электромагниторецепции, может быть причастен к восприятию организмами микроволнового излучения, и температурное воздействие этого излучения воспринимаетоя рецепторными органеллами неподалеку от зерна магнетита.

Представление об участии частиц магнетита в рецепции ЭМП, конечно, не исчерпывает всего многообразия механизмов влияния ЭМП на биолгические объекты. Однако в настоящее время зто наиболее физически ясный и четкий механизм, правомерность которого подкреплена большим числом алектронно-микроскопических, морфологических и препаративных данных.

Представляется, что анализ распространенности и функций магнетитовых частиц в различных типах тканей, органов, клеточных форм еще достаточно далек от окончательного завершения. Пока еще слабо изучены экологические, эмбриологические и эволюционные аспекты возникновения и распространения магнетита в биологических объектах. Тем не менее, несомненно, что это направление является перспективным подходом, связывающим физико-химический и поведенческий уровни исследований в электромагнитобиологии.

Литература

I. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля, М.: Наука, 1975. 207 с.

2. Куприянович Л.И. Биологические ритмы и сон. М.: Наука, 1976. 120 с.

3. Агаджанян Н.А. Зерно жизни: (Ритмы биосферы). М.: Сов. Россия, 1977. 256 с.

4. Kirschvink J.L. Biogenic magnetite (Fe_3O_4): A ferromagnetic mineral in bacteria, animals and man. Ferrites: Proc. of the Intern. Conf., Sept.-Oct., 1980, Japan. p.30.1-30.4.

5. Йойриш Н.П. Пчелы - крылатые фармацевты. М.: Наука, 1964. 158 с.

6. Еськов Е.К. Поведение медоносных пчел. М.: Колос, 1981. 184 с.

7. Дьюсбери Д. Поведение животных: Сравнительные аспекты. М.: Мир, 1981. 479 с.

8. Темурьянц Н.А. Влияние слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты на морфологию и некоторые показатели метаболизма лейкоцитов периферической крови животных: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Симферополь, 1972. 19 с.

9. Виноградова Л.И. Биологические ритмы при нарушении деятельности управляющих структур мозга. - Клин. медицина, 1973, № 1, с. 26-31.

10. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1979. 128 с.

11. Владимирский Б.М. Активные процессы на Солнце и биосфера.-Изв.АН СССР. Сер. физ., 1977, т.41, № 2. с. 403-410.

12. Биодогические ритмы; Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1980, т.41. 319 с.

13. Богатина Н.И., Веркин Б.И., Кордюм В.А., Кордюм Е.Л., Литвин В.М. Влияние постоянных магнитных полей различной направленности на скорость роста проростков пшеницы. - Докл. АН УССР.Сер. биол. № 4, 1978. с. 353-357.

14. Achkasova Yu.N., Pyatkin K.D., Bryzgunova N.I. et al. Very low frequency and small intensity electromagnetic and magnetic fields as an oecological factor. - J. Hyg., Epidemiol., Microbiol. and Immunol. 1978, vol. 22, N 4, p. 415-420.

15. Ачкасова Ю.Н., Бобова В.П., Брызгунова Н.И., Владимирский Б.М. Секторная структура межпланетного магнитного поля и размножение бактерий в лабораторном эксперименте. - Солнечные данные 1978 г. Л.: Наука, 1978, № 1, с. 99-102.

16. Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции. М.: Наука, 1979. 262 с.

17. Kirschvink J.L., Gould J.L. Biogenic magnetite as a basis for magnetic field detection in aminals. - Biosystem, 1981, vol. 13, p. 181-201.

18. Kirschvink J.L., Lowenstam H.A. Mineralization and magnetization of chiton teeth. Paleomagnetic, sedimentologic and biologic implications of organic magnetite. - Earth and Planet. Sci. Lett., 1979, vol. 44, p. 193-204.

19. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, 207 с.

20. Акопа Я.И. Нервы желез внутренней секреции и медиаторы в регуляции эндокринных функций. М.: Наука, 1981. 503 с.

21. Райцес В.С. Механизмы взаимодействия внутренних и внешних анализаторсв. Л.: Наука, Ленигр. отд-ние, 1980. 150 с.

22. Нагата Т. Магнетизм горных пород. М.: Изд-во иноотр. лит. 1956. 226 с.

23. Шахпаронов М.И. Механизмы быстрых процессов в жидкоотях. М.: Высш. школа, 1980. 352 с.

24. Kirschvink J.L., Ph.D. thesis, Princeton University, Princeton N.J. (May 1979), Chapter 6, Organic magnetite as a basis for magnetic field detection in animals, 53 p.

25. Шёпф Х.Г. От Кирхгофа до Планка. М.: Мир, 1981. 190 с.

26. First the MASER, next the LASER, now the GRASER. - Electron. Weekly, 1977, July, Wednesday, N 880, p. 22.

2. РЕАКЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

2.1. Изменение адаптационных реакций организма и его резистентности под влиянием алектромагнитных полей

В течение всей жизни организму приходится постоянно приспосабливаться к непрерывно меняющимся условиям внешней и внутренней среды. Изменение напряженности ЭМП в связи с солнечнсй активностью [1-6], изменение электрических характеристик атмосферы в зависимости от метеорологичес - ких условий [7,8], а также алектромагнитного фона в населенных местах вблизи радиоотанций, телецентров и т.п. [9,10] не безразличны для организма, так как доказано, что все эти физические факторы обладают биологической активностью. Однако, несмотря на непрерывно происходящие изменения во внешней среде, в том числе и в электромагнитной обстановке, в организме поддерживается относительное динамическое постоянство внут - ренней среды - гомеостазис, что является необходимым условием сущест - вования организма.

Как происходит поддержание гомеостазиса? На первый взгляд может показаться парадоксальным, что сохранение относительного постоянства внутренней среды возможно лишь благодаря реагированию на всевозможные из - менения. В процесое эволюции в организме выработались приспособитель - ные реакции, помогающие ему поддерживать гомеостаз и тем самым защи - щаться и выживать. Таким образом, приопособление тесно связано с защи-

той, с защитой не механической, а биологической, т.е. с устойчивостью (резистентностью) организма.

Для того, чтобы рассмотреть вопрос о роли ЭМП в регуляции резистентности, необходимо характеризовать адаптационные реакции, определяющие уровень резистентности. Что это за реакции? Сколько их? Отличаются ли реакции организма на ЭМП от реакций на другие биологически активные факторы? И, наконец, можно ли избежать вредного действия электромагнитных возмущений и, даже напротив, повышать, используя ЭМП, резистентность организма с целью профилактики и лечения различных расстройств? Попытаемся ответить на эти вопросы.

В основе приспособительной деятельности организма лежит количественно-качественный принцип: на различную интенсивность раздражающего фактора организм отвечает различным качеством адаптационной реакции. Реакцию организма на всевозможные сильные раздражители - стресс - открыл и описал канадский ученый Г.Селье [11,12]. Впервые было показано, что ответная реакция организма на сильный раздражитель является неспецифической, так как она развивается стандартно на различные по качеству раздражители, достигшие определенной силы. Из описания Селье реакции стресс следует, что защита тесно переплетается с повреждением. Достаточно сказать, что в первой стадии стресса - реакции тревоги - наблюдаются кровоизлияния и язвы в слизистой желудочно-кишечного тракта. Процессы обмена чрезвычайно напряжены, преобладают явления распада над синтезом, энергетические траты очень высоки. Увеличение секреции адренокортикотропного гормона гипофиза и вследствие этого глюкокортикоидных гормонов коры надпочечников приводит к подавлению основных защитных систем организма: тимико-лимфатической системы, системы соединительной ткани. В ответ на сильный раздражитель после кратковременного чрезмерного возбуждения в ЦНС развивается запредельное торможение - крайняя мера защиты по И.П.Павлову. Биологическая целесообразность этого явления заключается в снижении возбудимости, реактивности, в подавлении естественного защитного ответа, так как ответ, адекватный чрезмерной силе раздражения, мог бы погубить организм. В следующей стадии стресса - стадии резистентности - отмечается повышение неспецифической резистентности, т.е. повышается устойчивость не только к фактору, вызвавшему стресс, но и другим повреждающим воздействиям. Однако, как видно из характеристики реакции тревоги, повышение резистентности достигается очень дорогой для организма ценой. При тяжелом стрессе после стадии резистентности наступает декомпенсация, истощение и гибель. Различные стадии стресса являются неспецифическим фоном развития многих патологических процессов.

Однако в течение жизни организм встречается не только с сильными раздражителями, но и со слабыми, и "средними", на которые он тоже реагирует, но иначе, чем на сильные. Исследования показали, что на действие различных по качеству слабых, пороговых раздражений организм

реагирует другой адаптационной реакцией, названной реакцией тренировки [13-14]. В ЦНС преобладает превентивное торможение. Биологическая целесообразность этого - в снижении возбудимости, реактивности по отношению к слабому раздражителю, на который целесообразнее всего отвечать. При повторении пороговых раздражений происходит переотройка, в основе которой лежит тренировка превентивного торможения - абсолютная величина. Порог раздражения постепенно растет. При длительной трени - ровке пороговым может стать раздражитель, вызывающий стресс у нетре - нированных, что свидетельствует о повышении устойчивости организма при развитии реакции тренировки. То же происходит в эндокринной, тимико-лимфатической, иммунной системах, а также в системе соединительной ткани [13-15]. Обмен веществ находится при этом на энергетически вы - годном урсвне, преобладают процессы оинтеза. Таким образом, повышение резистентности при развитии реакции тренировки происходит физиологи - ческим путем, без явлений повреждения и больших энергетических затрат.

При действии различных по качеству раздражителей средней силы - промежуточных между слабыми и сильными - развивается иная адаптационная реакция, отличающаяся по комплексу изменений в организме и от реакции отресс, и от реакции тренировки. Раздражение средней силы является наиболее адекватным для возбуждения защитной деятельнссти орга - низма. В ЦНС преобладает физиолсгическое всзбуждение, но тормозной процесс не ослаблен. Защитные оистемы организма активируются. Уровень обмена умеренно повышен, процессы распада и синтеза хорошс уравновешены. Резистентность организма псвышается значительно быстрее, чем при слабых воздействиях, и также физиологическим путем. Адаптациснная реакция на раздражители средней силы (дозы) названа реакцией активации [16,17]. Биологический смысл реакции активации - в повышении защитного ответа на раздражитель, кторый уже не является таким слабым, что на него целессобразнее не отвечать, и не является таким сильным, чтс для ответа на него необхсдимо подавлять защитные системы срганизма. В последнее время в реакции активации выделены две зоны - спокойной активации (ЗСА) и повышенной активации (ЗПА). ЗПА непосредственно граничит со стрессом - превышение силы раздражения может перевести ЗПА в стресс [13].

Необходимо подчеркнуть, что реакции тренировки и активации в отличие от реакции стресс присущи здоровому организму. Живой организм постоянно находится в какой-либс стадии одной из адаптационных реакций. Поэтому так называемая норма является фактически смесью разных адаптационных реакций в различных стадиях, постоянно формирующихся в живом организме в результате действия раздражений, поступающих из внешней и внутренней ореды в ЦНС. В подкорковых отделах мозга, главным образом в гипоталамусе, формируется тип ответа, который определяет развитие той или иной адаптациснной реакции в организме, что осуществляется через подчиненные системы организма нервным и гуморальным путем. Ни одна спе-

цифическая функция не может реализоваться без определенного неспецифического фона. Характер этого фона спределяется силой (дозой) воздействий. Это биологически целесообразно, так как позволяет отвечать экономически выгодно, без излишних трат.

Таким образом, описанные приспособительные реакции являются неспецифическими, так как развиваются в ответ на разные по качеству раздражители. Кроме того, эти реакции являются общими, т.е. реакциями всего организма с развитием стандартного комплекса изменений, соответствующего определенной реакции, во всех системах и органах, а также на всех уровнях организации, вплоть до субклеточного. Характер ответной реакции определяют биологическая активность раздражителя, чувствительность, реактивность организма и его резистентность.

Как и другие факторы внешней среды, ЭМП в зависимости от своей биологической активности вызывает различные адаптационные реакции. Это понятно, так как МП непосредственно влияет на ЦНС [18,19] и изменяет функциональную активность гипоталамуса [15-18], постоянное МП снижает возбудимость [15,20], вызывая преимущественно развитие реакции тренировки, а переменное МП в зависимости от частоты и напряженности оказывает тормозящее или возбуждающее действие [21,22], вызывая соответственно реакцию тренировки или активации или даже стресс [15,23,24].

В опытах на животных нами были получены адаптационные реакции при помощи различных раздражителей (химических, фармакологических, биостимуляторов), в том числе постоянных и низкочастотных МП, а ниже ЭМП СВЧ диапазона нетепловых интенсивностей [15,23]. Варьируя параметры МП и ЭМП, удавалось вызывать все адаптационные реакции. Стрессорное действие ЭМП, по нашему мнению, может быть причиной увеличения заболеваемости и числа дорожных катастроф во время геомагнитных возмущений [25-29]. Именно в это время повышается напряженность биологически активной низкочастотной составляющей ЭМП [21,4,19] (см. также п. 2.3 наст. главы).

Большинство здоровых людей не реагируют болезненно на изменение электромагнитной обстановки. Однако это не является доказательством отсутствия влияния таких изменений на организм. Как в экспериментах на животных, так и при наблюдениях за людьми нами показано, что устойчивость здорового организма может быть очень высока. Даже вредно действующий фактор не в состоянии быстро вызвать стресс. Такая устойчивость наблюдается, например, в состоянии повышенной активации (ЗПА), в котором часто находится здоровый молодой организм. Если же человек страдает каким-либо хроническим заболеванием, то он уже находится в состоянии стресса либо может легко перейти в это состояние под влиянием такого дополнительного воздействия, как резкое изменение ЭМП. Исследования [25-27] показали, что магнитные бури влияют преимущественно на больных людей, вызывая обострения имеющегося заболевания сердечно-сосудистой системы.

При изучении адаптационных реакций, вызванных МП, рассматривались не только показатели нейро-эндокринных функций, но и показатели деятельности других систем, а также уровень и характер резистентности. Показано [13-17], что соотношения форменных элементов белой крови, особенно отношение между числом лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов (лф/сн) с большим постоянством характеризуют каждую из реакций и поэтому могут быть использованы как простые критерии для определения характера адаптационной реакции организма [13]. Наибольшая величина лф/сн наблюдается в ЗПА, в ЗСА, затем - в реакции тренировки и наименьшая - при стрессе.

Исследования, проведенные в экспериментах на животных, у которых различные адаптационные реакции вызывались постоянными и переменными МП, нейротропными веществами, а также непосредственным электрическим раздражением гипоталамической области мозга через вживленные электроды, показали наличие характерных для каждой из реакций изменений свертывающей системы крови. В последующем эти данные получили подтверждение при исследовании показателей свертывания крови у людей как здоровых, так и с нарушениями свертывания крови различного происхождения. В последнем случае больные получали специально подобранные по анализам крови дозы переменного МП от аппарата "Полюс" [28] или биостимуляторы (растительного или животного происхождения).

В результате перевода стресса в другую адаптационную реакцию и стойкого ее поддерживания у больных удавалось нормализовать свертывание крови при постепенной отмене специальных антикоагулянтов.

Исследования влияния развития реакции тренировки и активации, вызываемых и поддерживаемых у людей переменным МП, на величину артериального давления показали наличие нормализующего действия этих реакций. У 20 больных до лечения отмечалась выраженная гипертония (АД: систолическое - до 200, диастолическое -до 100 мм рт. ст.),а у 6 - гипотония (АД: систолическое - 90-110, диастолическое - 55-60 мм рт. ст.).Через 2 недели после начала лечения у больных I-й группы (у 8 из них вызывали и поддерживали реакцию тренировки, у 22 - реакцию активации) АД снизилось (систолическое - 130-150, диастолическое - 75-80 мм рт. ст.) и держалось на этом уровне в течение всего курса лечения МП. Необходимо отметить, что все гипотензивные препараты были полностью отменены. Такой же гипотензивный эффект наблюдался у 9 больных с гипертонией при развитии реакции активации малыми дозами адреналина. У всех больных гипотонией вызывали и поддерживали действием МП реакцию активации. Происходила четкая нормализация АД (систолическое -115-110, диастолическое - 60-70 мм рт. ст.). У всех больных улучшилось самочувствие, нормализовались сон и аппетит. У 3 больных пожилого возраста, имевших до лечения по данным ЭЭГ нарушение питания миокарда, после лечения ЭЭГ стала нормальной.

Таким образом, развивающиеся под влиянием МП изменения в свертываю -

щей системе крови и сердечно-сосудистой системе относятся к неспецифи - ческим изменениям, являющимся результатом адаптационной реакции, что, как уже подчеркивалось, зависит не от качества, а от интенсивности (количества) раздражителя - степени биологической активности. Эти сведения могут быть использованы для профилактики обострений сосудистых рас - стройств, наблюдающихся во время магнитных бурь. Поскольку характер реакции организма легко определяется по морфологическим изменениям белой крови, то людей, склонных к подобного рода нарушениям, необходимо незадолго до наступления электромагнитного возмущения брать под особый контроль и путем различных воздействий (в том числе и специально подбираемых "дозировок" МП) поддерживать у них одну из физиологических реакций - тренировки или активации. Как уже указывалось ранее, у большинства здоровых людей, т.е. находящихся в состоянии реакции тренировки или активации, не отмечается патологических нарушений во время магнитных бурь, что объясняется высокой резистентностью, развивающейся в организме при этих реакциях.

Экспериментальные исследования, проведенные нами совместно с Я.В.Пантюхиным и А.А.Татаренко, показали, что при одной и той же интенсивности облучения ЭМП СВЧ соотношение между поглощенной, пропущенной и отраженной мощностью менялось в зависимости от адаптационной реакции, в которой находился организм. При реакциях тренировки и особенно активации доля поглощенной энергии была существенно меньше, чем при стрессе, за счет увеличения энергии пропускания и отражения. При тяжелом стрессе большая часть мощности поглощалась. Такое "самоэкранирование" представляет, с нашей точки зрения, интересное явление, механизм которого необходимо исследовать. Во всяком случае, отсутствие вредного действия электромагнитных возмущений может быть связано с присущим здоровому организму свойству "самоэкранирования".

Говоря о повышении неспецифической резистентности под действием МП необходимо хотя бы кратко затронуть вопрос о противоопухолевой резистентности. В настоящее время имеется большое число экспериментальных исследований, в которых показан противоопухолевый эффект ЭМП и МП [29-34] . Показано [15-17], что противоопухолевый эффект (торможение роста экспериментальных опухолей вплоть до полного их рассасывания) достигается при развитии реакции активации, вызываемой самыми различными способами. На большом, вначале экспериментальном, а затем и клиническом материале было показано, что противоопухолевое действие оказывают МП с параметрами, вызывающими развитие (при стойком поддерживании) реакции активации [15,35,36]. Использование МП, приводящих к развитию стресса, вызывает даже стимуляцию роста опухоли. Таким образом, в основе противоопухолевого влияния МП лежит повышение неспецифической резистентности. Характер изменений в организме под влиянием ЭМП, как и любого другого раздражителя, зависит от того, какую адаптационную реакцию оно вызывает.

Анализ литературных данных по биологическому действию МП, применяемых в широком диапазоне как по величине магнитной индукции - от десятков мкТл до десятков Тл, так и по времени - от секунд до многих месяцев, показал, что наблюдаемые изменения укладываются в картину описанных адаптационных реакций. Однако такая простая "многоярусная" зависимость, когда слабые воздействия вызывают реакцию тренировки, более сильные - реакцию активации, а еще более сильные - реакцию стресс, нарушается. Имеются данные о том, что по мере роста напряженности МП магнитобиологические эффекты часто не увеличиваются, а даже уменьшаются /5,21,37/, т.е. МП малой интенсивности, едва отличающиеся от ГМП, оказываются чрезвычайно активными, даже более активными, чем МП высоких напряженностей /5,38/; при действии МП различной напряженности часто наблюдаются однотипные эффекты /39/. Применение сверхмощных МП не оказывает повреждающего действия /40/. Отсутствует также простая линейная зависимость между биологической активностью и длительностью действия МП /18/. Таким образом, наличием трех адаптационных реакций не исчерпываются возможности реагирования организма на МП различной биологической активности. Если бы по мере увеличения напряженности (или экспозиции) развивались только эти реакции и последняя из них - стресс, то дальнейшее превышение стрессорной "дозы" должно было бы, согласно Г.Селье, приводить организм к гибели. И, напротив, при любом уменьшении дозы, вызывающей реакцию тренировки, не должно было наблюдаться никаких изменений в организме, так как доза становилась бы подпороговой. Однако это не соответствует фактам. Специальное исследование влияния на организм постепенного увеличения МП с 0,1 до 50 мТл показало, что триады адаптационных реакций (тренировка - активация - стресс) закономерно повторяются, причем отделяются друг от друга "зоной ареактивности", в которой МП оказывается как бы не действующим /41,42/. Такая периодичность в адаптационной деятельности организма отмечается при действии не только МП, но и других раздражителей. Следовательно, в организме существуют различные уровни реактивности, своего рода "ярусы". На каждом из этих уровней количественно-качественные отношения более простые, чем во всей иерархии уровней в целом, а именно, слабые для данного уровня раздражители вызывают реакцию тренировки, средние - реакцию активации, сильные - стресс. Увеличение биологической активности до величины, выше той, которая вызывает стресс на предыдущем уровне реактивности, или уменьшение до величины ниже той, которая вызывает реакцию тренировки, приводят к переключению реакций с одного уровня на другой. Чувствительность одного уровня отличается от чувствительности соседнего в 5-10 раз у здоровых людей и в 2-5 раз - у больных. Это связано с различной величиной коэффициента реакции у здоровых и больных людей. Опытным путем было получено, что для перевода одной реакции в следующую необходимо увеличить активность раздражителя в 1,5-2 раза для здоровых людей и в

I,2-I,5 раза - для больных. Коэффициент реакции - величина довольно стабильная для каждого организма.

Сравнение адаптационных реакций, развивающихся на разных уровнях реактивности, показало, что основной комплекс изменений, характеризующий каждую из реакций, аналогичен. Это объясняет непонятные, на первый взгляд, данные о наличии однотипных изменений в организме под действием МП различных параметров. Возможность развития стресса при малых интенсивностях и реакций тренировки и активации - при больших позволяет понять, почему малые поля могут оказывать более сильное действие, чем большие. Организм реагирует на каждом уровне как бы не на всю величину МП, а только на ее приращение по отношению к "зоне ареактивности", наличие которой может объяснить отсутствие видимого биологического действия МП [43]. В то же время одна и та же реакция на разных уровнях реактивности не равна самой себе. По мере возрастания биологической активности раздражителя одна и та же реакция требует больших энергетических трат (совместные исследования с М.Н.Кондрашовой, Е.И.Маевским и сотр.).

Изучение характера повышения резистентности при одних и тех же адаптационных реакциях, развивающихся на различных уровнях реактивности, показало, что при действии переменных МП малой интенсивности (0,I-0,7 мТл) резистентность, по крайней мере, не ниже, а иногда даже выше, чем при исследовании МП значительно большей интенсивности (30-50 мТл). Поддерживать реакции тренировки и активации также легче на тех уровнях реактивности, на которые действует МП малых интенсивностей, что может быть связано с меньшими энергетическими тратами на этих уровнях. Дальнейшее изучение принципа периодичности в развитии адаптационных реакций к действию ЭМП и МП, изучение энергетической цены резистентности на разных уровнях реактивности позволит более сознательно избирать параметры ЭМП и МП для повышения резистентности организма.

Закрепившаяся в эволюционном процессе сложная периодичная количественно-качественная зависимость в развитии общих адаптационных реакций обеспечивает тонкую и чувствительную систему приспособления даже к небольшим количественным изменениям ЭМП в широком диапазоне значений, в том числе и к ГМП, в котором организм непрерывно функционирует.

Литература

I. Влияние солнечной активности на биосферу. Проблемы космической биологии, т.43. М.: Наука, I982, 233 с.
2. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, I974, I76 с.
3. Музалевская Н.И. Характеристики возмущенного геомагнитного поля как раздражителя. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, I973, с. II9-I28.
4. Музалевская Н.И. Неоднородность низкочастотных флюктуаций электро-

магнитного поля и его экологическая значимость. – В кн.: Система адаптации человека и внешняя среда. Л., 1975, с.113-115.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
6. Чижевский А.Л. Периодическое влияние Солнца на биосферу Земли.: Дскл. в Моск. археол. ин-те. Отд. отт. М.: 1915.
7. Красногорская Н.В. Электричество нижних слсев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, 1972, 322 с.
8. Краснсгорская Н.В. Электричество атмосферы Земли. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. 1, с. 24-39.
9. Минх А.А., Думанский Ю.Д., Шандала М.Г. Электромагнитное поле как гигиенический фактор в условиях населенных мест. – Там же, т.3, с.41-48.
10. Пресман А.С. Электромагнитные поля в биосфере. М.: Знание, 1971, 64 с.
11. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме. М.: Медгиз, 1960, 267 с.
12. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1974, 122 с.
13. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Роль адаптационных реакций в патологических процессах и простые критерии этих реакций у людей. – В кн.: Регуляция энергетического обмена и устойчивость организма. Пущино, 1975, с.172-182.
14. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентнсстъ организма. – Тр. Рост. н.-и. онкол. ин-та. Изд-во Рост. ун-та, 1977, 190 с.
15. Гаркави Е.Б. Повышение неспецифической противоопухолевой реэистентности организма с помощью бесконтактного раздражения гипоталамуса: Автореф. дис . д-ра мед. наук. М.: Ин-т эксперим. и клин. онколсгии АМН СССР. 1972, 41 с.
16. Гаркави Л.Х. Об общей неспецифической адаптационной "реакции активации", способствующей борьбе организма с опухолью. – Тр. Ростов. н.-и. инкол. ин-та. Ростов н/Д, 1968, с.341-348.
17. Гаркави Л.Х. Адаптационная "реакция активации" и ее роль в механизме противоопухолевого влияния раздражений гипоталамуса: Автореф. дис. д-ра мед. наук. Донецк: Гос. пед. ин-т им. А.М.Горького, 1969, 30 с.
18. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975, 207 с.
19. **Becker R.O. The effect cf magnetic fields upon the central nervous system. In: Biological effeots of magnetic fields. N.Y.: Plenum Press, 1969, vol.2, p.207-214.**
20. Квакина Е.Б., Котляревская Е.С., Квакин С.Д. Измерение возбудимости гипоталамуса под влиянием магнитного поля. – В кн.: Влияние магнитних полей на биологические объекты. М.: Наука, 1969, с.103-106.
21. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей

с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с.126–150.
22. Квакина Е.Б., Котляревская Е.С., Квакин С.Д. и др. Активирующее действие прерывистого магнитного поля на ЦНС. – В кн.: Новости медицинского приборостроения. М.: 1971, с.73–77.
23. Квакина Е.Б., Уколова М.А. О различных адаптационных реакциях в зависимости от силы воздействия магнитного поля. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1969, с.107–110.
24. Шихлярова А.И. О возможности передозировки при лечебном применении слабых магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Гос. ун-т, 1975, 170 с.
25. Ажицкий Ю.А. Некоторые данные о реактивности организма у больных, страдающих сердечно-сосудистыми и легочными заболеваниями в зависимости от различных гелиогеофизических условий. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.72–74.
26. Ганелина И.Е., Чурина С.К., Савояров Н.В. Напряженность магнитного поля Земли и частота возникновения инфаркта миокарда. – Там же, с.75–76.
27. Ермолаев Г.Т. Влияние геомагнитных возмущений на больных с сердечно-сосудистой патологией. – Там же, с.74–75.
28. Соловьева Г.Р., Еремин В.А. Экспериментальный аппарат для магнитотерапии. – В кн.: Новости медицинского приборостроения. М., 1971, с.63–68.
29. Абдулаев М.Д., Жданова С.М. Влияние постоянного магнитного поля на рост экспериментальных опухолей. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1969, с.3–5.
30. Демьяненко В.В. К вопросу о терапевтическом эффекте магнитного поля при экспериментальной карциноме Эрлиха. М.: 1966, с.27–29.
31. Пирузян Л.А., Маркузе И.И., Чибрикина В.И. Действие постоянного магнитного поля на асцитную опухоль – саркому-37. М.: Изд-во АН СССР, 1969, с.893–898.
32. Холодов Ю.А., Жуковский В.Д., Шишло М.Н. Влияние магнитных полей на развитие злокачественных новообразований. – В кн.: Диагностика и лечение злокачественных новообразований. Киев: Здоровья, 1968, с.299–307.
33. Barnothy J.M. Rejection of transplanted tumors in mice. Biological effect of magnetic fields. N.Y.: Plenum Press, 1964, vol.I, p.100–108.
34. Riviere M.R., Pricre A., Barlureau F. et al. Action de champs electromagnetiques sur les greffes de la tumeur T8 chez le rat. – C.r. Acad. Sci., 1964, vol.259, N 25, p.662–663.

35.Уколова М.А., Квакина Е.Б. Влияние магнитного поля на экспериментальные опухоли (прямое и через нервную систему). - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971, с.147-164.
36.Уколова М.А., Квакина Е.Б., Марьяновская Г.Я. и др. К вопросу о центральном и периферическом механизме противоопухолевого действия магнитных полей. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Киргиз. гос. мед. ин-т, 1974, с.14-15.
37.Холодов Ю.А. Физиологические характеристики биологического действия магнитных полей. - В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М.: Наука, 1972, с.30-34.
38.Спасская М.Г., Музалевская Н.И. Динамика некоторых биологических показателей при действии слабых переменных магнитных полей. - В кн.: Влияние искуственных магнитных полей на живые организмы. Баку: Гос. мед. ин-т, 1972, с.90-92.
39.Горшенина Т.И., Фрумкис А.Э. Морфологические характеристики действия переменного (50 Гц) магнитного поля малой напряженности в эксперименте. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Киргиз. гос. мед. ин-т, 1974, с.84-86.
40.Бородкина А.Г., Петрович И.К., Анашкин О.Б. и др. Влияние ПМП сверхвысокой напряженности на морфологический состав периферической крови. - Там же, с.78-80.
41.Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б.О принципе периодичности в реакции организма на магнитное поле как неспецифический раздражитель. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград, 1975, с.18-19.
42.Квакина Е.Б., Гаркави Л.Х. Принцип периодичности в реакции организма на магнитные поля нарастающей интенсивности. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.52-64.
43. **Straub K.D., Carver P. Effects of electromagnetic fields on microsomal ATPase and mitochondrial oxidative phosphorylation. - Ann. N.Y. Acad. Sci., 1975, vol. , 247 p.**

2.2. Влияние электромагнитного фона на кинетику нормального и злокачественного роста

В постановке проблем биологической кинетики часто используют детерминированные модели, основанные на решении кинетических уравнений, описывающих усредненное поведение системы с заданными начальными условиями. Поскольку живые системы являются существенно неравновесными, то флуктуации в них имеют особое значение. Наиболее четко эффект отклонения от средних величин проявляется в тех случаях, когда число взаимодействующих частиц невелико или поведение системы носит пороговый характер. Существенное значение имеют флуктуации, возникающие при откло-

нениях живых систем или их компонент от нормального зарядсвого состояния, которое определяется транспортсм заряженных компонент в биологических объектах. Электрическое флуктуационное взаимодействие в полиэлектролитных системах, составляющих клетку, является универсальным и определяющим механиэмом ферментативной активности в целом. Учет энергии флуктуационных полей в системе фермент-субстрат приводит к изменению констант скоростей ферментативных реакций [1]. Есть указания на то, что ЭП, обусловленное флуктуациями плотности заряда, определяет взаимсдействие между гсмологичными участками хромосом [2].

Отклснение свойств клетки от ее нсрмального состояния в результате микрофлуктуаций является естественным процессом и обычнс не приводит к патологии. Однако внешние воздействия (радиация, канцерогены, электромагнитные возмущения) могут привести к заметному увеличению неравновесности системы, например, за счет воэникнсвения иэбыточнсго (связаннсго или свобсднсго) заряда в различных ее частях, вследствие чего возрастает роль крупномасштабных флуктуаций, способных вывести систему из динамически устойчивого неравновесного состояния, характерного для живых систем [3]. Между тем устсйчивссть живых систем к внешним флуктуационным возмущениям, в частности к электромагнитным, практически не изучена. Известны экспериментальные и теоретические данные, свидетельствующие о тесной связи между развитием живой материи и окружающим ее электромагнитным фоном. Например, в экспериментах [4] показана всзможность получения белковоподобных соединений под действием флуктуационных ЭМП ширского спектра, генерируемых искровым разрядом. Высказываются предположения [5], что возрастание среднего уровня радиофона в биссфере является одной иэ причин акселерации. Возникает вспрос с возможном существовании связи между ростсм уровня общепланетарного радиофона и наблюдающимся увеличением частсты снкологических заболеваний.

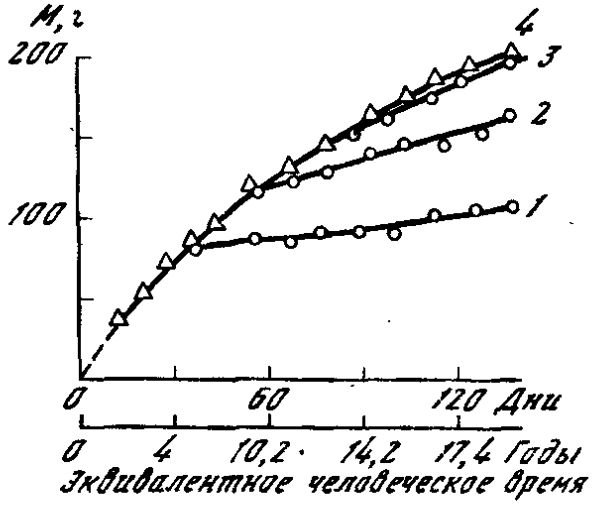
Цель настоящей работы - исследование влияния электромагнитных полей с частотным распределением, адекватным естественному фону, на кинетику нормальнсго и злокачественного роста. Выбранные ЭМП характеризовались гауссовым распределением энергии и максимальной энтропией.

Исследования кинетики нсрмальнсго роста проводили на I20 крысятах линии Вистар однсго возраста, разделенных на 4 группы: первые 3 группы подвергались ежедневнсму воздействию фона ЭМП, начатому в различные сроки - на 28-, 45- и 62-й день пссле рождения, что соответствует данным человеческого возрастного эквивалента - 4,I; 7,24 и I0,37 лет [6]. Воздействие полем напряженностью 5 В/см прсдолжалось I5-20 сут по одному часу ежедневно. Четвертая группа была контрольнсй и всздействию не подвергалась. Источником электрических флуктуаций служили генераторы Г2-I и Г2-I2, при помощи которых ширину спектра[1] можно было варьи-

[1] Ширина спектра гауссовых флуктуационных пслей обычно состветствует интервалу частот от нуля до верхней границы спектрального интервала.

ровать ст I2 кГц до 6 МГц. Количественные показатели объемнсго и линейного роста крысят измеряли и рассчитывали по [7]. Опыты ставили с троекратным повторением по каждому варианту.

Исследование действия флуктуационных полей на злокачественный рост проводилось на трех штаммах перевивных опухолей: саркоме-45, ретикулосаркоме и карциносаркоме Уокера-256. Число животных в каждой серии составляло I40 линейных взрослых крыс по I5-25 животных в группе. Опухо-



Р и с. 9. Кинетические кривые изменения веса (Р) крысят при воздействии флуктуацисным полем с шириной спектра I5 кГц

I - воздействие на 28-е; 2 - на 45-е; 3 - на 62-е сутки; 4 - контро́ль

ли перевивали подкожно в бедро крысы в виде 30%-ной взвеси. Поле накладывалось контактным способом непосредственно на опухоль по методике, принятой в практике электрофореза. Плотность тока изменялась в пределах 0,05-0,I мА/см^2, длительность сеанса - I5 мин. Воздействие на опухоли ЭМП проводили ежедневно в течение 20 дней в различные сроки после перевивки: через 2, I0 и I7 дней. Антибластическую активность поля оценивали по методике, принятой в работе /8/. Проводилось патогистолсгическое исследование опухолевых тканей животных опытных и контрольных групп, а также лейкоцитарного и эритроцитарного состава их крови. С целью снижения эффекта адаптации к полю испытуемые животные опытных и контрольных групп за 8-I2 часов до воздействия ЭМП в течение 30 мин содержались при нулевой температуре.

На основании проведенных экспериментов установлены закономерности объемного роста животных, подвергавшихся действию ЭМП с гауссовым распределением энергии [9]:

I. Низкочастотное флуктуацисннсе поле замедляет рост животных. Скорость роста достигает 0,I3, 0,I7, 0,53 в опытных группах и 0,54 - в контрольной. Максимальная разница в весе опытных и контрольных животных достигает 220%. Ингибирующее действие поля сказывается тем эффективнее, чем моложе животное к началу воздействия (рис. 9). С увеличением ширины спектра флуктуа́ций и эффективной частоты до 200 кГц эффект ингибирования ослабе[illegible] и затем меняется на обратный.

2. После нескольких сеансов облучения наблюдается стойкое понижение

Таблица 4. Динамика возрастного изменения параметров крови опытных животных

Возраст облученных животных, дни	Лейкоциты, тыс/мм^3		Эритроциты, млн/мм^3		Эозинофилы	
	опыт	контроль	спыт	контроль	опыт	контроль
30	8,9	8,6	7,2	7,0	I62	I6I
60	7,6	7,8	7,3	5,3	I25	I68
90	8,2	5,6	7,6	6,I	I58	2I8
I20	7,8	9,3	6,8	7,8	I90	220

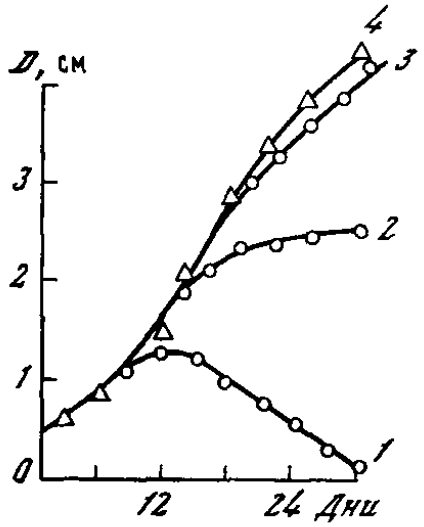
агрессивности животных. Под действием поля обнаружено наличие латентного периода, величина которого тем больше, чем моложе животное.

3. Действие флуктуационных ЭМП не вызывает патологических изменений в красной и белой крови животных. В опыте раэброс показателей крови (табл. 4) достоверно меньший ($P < 0,05$), чем в контроле. Отсюда можно сделать вывод о стабилизирующем влиянии поля выбранных параметров на систему крови. У крысят опытных групп в течение эксперимента наблюдается снижение числа эозинофилов на I5 - 30% по сравнению с нормой.

На рис.I0 представлено изменение среднего диаметра опухолей (ретикулосаркома) при воздействии ЭМП в различные сроки после перевивки. Из графиков следует, что на ранних стадиях развития опухолей, характеризующихся более быстрым темпом роста, эффективность воздействия ЭМП выше. По прекращении воздействия (после I0-I5 сеансов) во всех опытных группах продолжалось торможение роста и регрессия новообразований, в то время как смертность в контроле достигала для различных штаммов 9I-I00%. У опытных животных с регрессировавшими опухолями в течение полугода рецидивов не наблюдалось. Патоморфологическое исследование опухолевой ткани опытных групп животных (опухоленосителей) в отличие от контроля показало наличие множественных коагулированных конгломератов видоизмененной опухолевой ткани, свидетельствующих об увеличении адгезии ряда опухолевых клеток под действием поля и, следовательно, об уменьшении межклеточного электростатического отталкивания, обусловленного повышенной плотностью отрицательного заряда наружных мембран опухолевых клеток. Наблюдается также уменьшение митотического индекса по сравнению с контролем в среднем в 3-3,2 раза (ретикулосаркома и карцинома Уокера) и в 2,7-3 раза (саркома-45), что свидетельствует о снижении частоты клеточных делений в опухолях, подвергнутых действию ниэкочастотных флуктуационных ЭМП. При увеличении частотных интервалов ЭМП свыше 200 кГц противоопухолевый эффект ослабевал. В полосе флуктуаций 6 МГц наблюдалось статистически недостоверное увеличение среднего диаметра опухолей, сопровождающееся более быстрым их некротизированием по

сравнению с контролем. Выживаемость этих крыс в индивидуальных опытах на 15-20% ниже, чем в контроле.

Явления регрессии и торможения роста опухолей коррелируют с результатами, полученными на эмбриональных тканях, скорость роста которых чрезвычайно высока. У беременных крыс линии Вистар, подвергнутых действию флуктуационных ЭМП в зародышевом и предплодном периоде[1], обнаруживается задержка эмбрионального развития и рассасывание эмбрионов.



Р и с. 10. Изменение среднего диаметра (Д) опухолей (ретикулосаркомы) в период опыта

I - воздействие флуктуационными полями начато на 2-й; 2 - на 10-й; 3 - на 17-й день после перевивки; 4 - контроль

Этот результат противоположен эффекту увеличения частоты митозов в культуре эмбриональной ткани, помещенной в сильное электростатическое поле, что объясняется [10] изменением репликации ДНК при поляризации ее ионных или электронных оболочек.

Опухолевые ткани, как известно, отличаются от гомологичных им нормальных тканей по ряду электрофизических параметров: пониженными значениями величины мембранного потенциала, коэффициента электростатической контактной связи и адгезионной способности, повышенной проницаемостью. Эти изменения обусловлены перестройкой "физического гомеостаза" клетки - интегральной системы, осуществляющей отклик на неспецифические воздействия и контролирующей процессы деления и дифференцировки [11]. Многие факторы, способные изменять нормальный ход митоза, в силу своей природы не могут оказывать прямого воздействия на генетические структуры; более вероятным представляется их действие через физический гомеостаз клетки.

Злокачественное перерождение клетки начинается с изменений контактных свойств мембран, уменьшающих чувствительность к регулирующим рост факторам и превращающих ткань в популяцию клеток. В этой связи представляют интерес факторы, приводящие к более тесному взаимодействию между клетками. В работе [12], например, показано, что эффект ингибирова-

---

[1] В эмбриогенезе один день жизни крысы эквивалентен в среднем 22,6 дням жизни человека [6].

ния роста в культуре клеток дрожжей может достигаться не накоплением продуктов метаболизма в питательной среде, а путем увеличения частоты столкновений между клетками. Под действием НЧ ЭП в опытах с культурами раковых клеток [13] наблюдается торможение роста, а также агрегация форменных элементов крови [14]. Эти данные целесообразно сопоставить с изменением поверхностного отрицательного заряда белково-липидных мембран микроорганизмов при торможении роста.

ЭМП являются неспецифическими индукторами, поэтому не стремясь анализировать роль ЭМП в функционировании разнообразных и сложных биохимических процессов, более естественно рассматривать влияние ЭМП на физический или ионный гомеостаз клетки, на который ЭМП оказывает непосредственное действие. Отметим ряд важных особенностей действия флуктуационных ЭМП, вытекающих из их стохастической природы. Усиливая флуктуации зарядовых компонент ионного гомеостаза (ионов, макромолекул), способных реагировать на данную частоту поля, флуктуационное ЭМП изменяет величину свободной энергии системы зарядов ионного гомеостаза. В состояниях, близких к равновесным, заряды слабо реагируют на случайные вариации свободной энергии. Функция корреляции φ системы, изменяясь по закону $\varphi \sim \zeta^{-1} e^{-k\zeta}$ [15], быстро затухает уже на расстояниях ζ, сравнимых с межмолекулярными промежутками. Однако в особых точках (фазовые переходы, переключения метаболических триггеров), определяемых условием $k=0$, функция корреляции приобретает дальнодействующий характер, что эквивалентно увеличению кооперативности процесса и вовлечению в него ранее не участвующих компонентов ионного гомеостаза. Тогда зависящая от функции корреляции свободная энергия взаимодействующей с полем сиотемы будет значительно изменяться, что в свою очередь может приводить к изменениям процессов деления и роста клеток.

Таким образом, флуитуационные низкочастотные электрические поля с гауссовым спектральным распределением энергии обладают универсальным ингибирующим действием на нормальный и злокачественный рост, причем максимум этого действия приходится на период наибольших градиентов роста. Если системы нормального роста подчинены управляющим системам организма, то механизм деления опухолевых клеток в значительной мере выходит из-под контроля системы нейрогуморальной регуляции. Поэтому представляется вероятным воздействие поля непосредственно на биохимические процессы, с которыми связано митотическое деление раковой клетки, возможно, на нуклеиновый обмен.

Полученные результаты указывают на принципиальную возможность применения спектров высокоэнтропийных ЭМП в качестве митотического регулятора и одного из методов подавления развития опухоли.

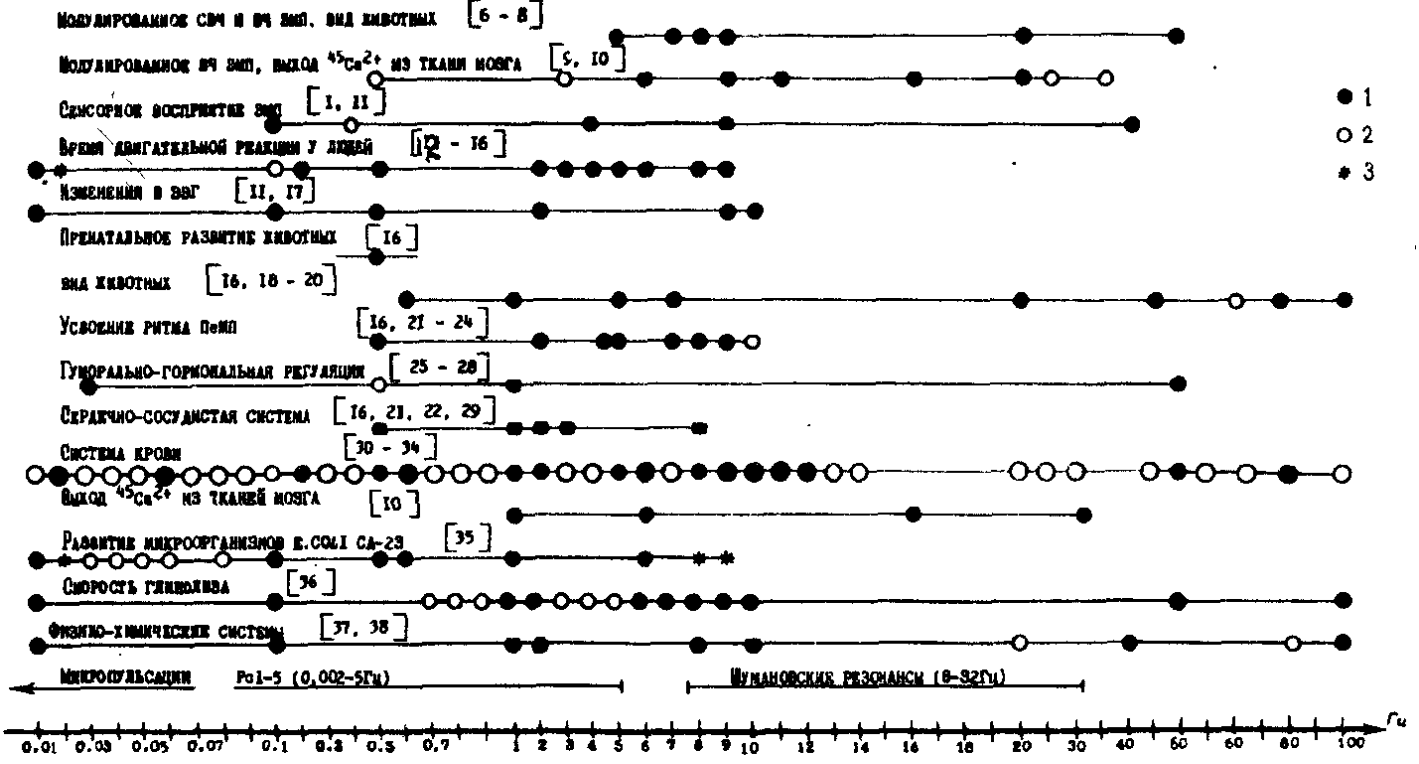
Литература

1. Kirwood J. Symposium on the Mechanism of Enzyme Action. John Hopkins Univ. Press, 1954; Discuss. Faraday Soc., 1955, vol.20, p.78-81.

2. Зырянов П.С. О природе сил взаимодействия между хромосомами. - Биофизика, 1961, т.6, с.495-498.
3. Баузр Э. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, 1935. 205 с.
4. Miller S.L. Formation of organic compounds on the primitive Earth. - In: Oparin. The Origin of Life on Earth (ed.). L.: Pergamon, 1959, p.123-135.
5. Пресман А.С. Электромагнитная сигнализация в живой природе. М.: Сов. радио, 1974. 64 с.
6. Махинько В.И., Никитин В.Н. Константы роста и функциональные периоды развития в постнатальной жизни белых крыс. - В кн.: Молекулярные и физиологические механизмы возрастного развития. Киев: Наук.думка, 1975, с.308-325.
7. Шмальгаузен И.И. В кн.: Рост животных. М.; Л.: Биомедгиз, 1935, т.8, № 61, с.74-80.
8. Эмануэль Н.М. Актуальные вопросы современной онкологии. М.: Изд-во МГУ, 1968, № 1, с.17-29.
9. Юрьев В.Н., Красногорская Н.В. Влияние флуктуационных электромагнитных полей на процессы роста и бластомогенеза.-Бюллетень экспериментальной медицины и биологии, № 12, 1980, с.602-604.
10. Ладик Я. Квантовая биохимия. М.: Мир, 1975. 84 с.
11. Маленков А.Г. Ионный гомеостаз и автономное поведение опухоли. М.: Наука, 1976. 171 с.
12. Мажуль В.М., Конев С.В., Прокопова Ж.В. К вопросу о роли межклеточных контактов в регуляции функциональной активности дрожжевых клеток в культуре. - Цитология, 1974, т.16, № 8, с.1016-1018.
13. Knopp L. et al. The effect of low electrical frequencies various normal and malignant cells. - Tex. Kepts. Biol. and Med., vol.20, 1962, p.623-626.
14. Русяев В.Ф., Куксинский В.Е., Шефтель И.Е. Электрокинетические свойства форменных элементов крови при воздействии физических факторов. - Биофизика, 1976, т.21, № 4, с.679 - 683.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Л.М. Статистическая физика. М.: Гостехиздат, 1958. 400 с.

2.3. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля

Стремительные темпы развития радиоэлектроники и энергетики, широкое внедрение их достижений во все сферы человеческой деятельности привело к тому, что практически вся биосфера Земли стала в той или иной степени подвергаться воздействию ЭМП различных частот и напряженностей (см. т.I, гл.I, раздел 2). Исследования, проведенные различными авторами [1-4], не оставляют сомнений в наличии влияния электрических и магнитных полей различных частот и напряженностей на биологические системы. Особое значение имеет изучение действия ЭМП инфранизких частот естест-



Р и с. II. Спектр действия МП ИНЧ по литературным данным на 1979 г.

Эффекты действия ЭМП: I - обнаружены; 2 - не обнаружены; 3 - противоречивы.

венного и искусственного происхождения, обладающих выраженной биологической активностью. Являясь фактором, непрерывно сопутствующим эволюции биосферы, эти поля, по мнению многих исследователей [4,5,21], являются связывающим звеном между физическими процессами в ближайшем космическом пространстве и явлениями, которые возникают в биосфере в ответ на изменения физической среды. К настоящему времени накоплены достаточно убедительные экспериментальные данные, свидетельствующие о биологической активности переменных МП от десятых долей мкТл до мТл (рис. II). Однако систематических исследований биологического действия МП в диапазоне 0,01-100 Гц не проводилось. В связи с этим мы поставили задачу изучить биологическое действие МП ИНЧ в диапазоне 0,01-100 Гц на систему крови и на основе этих исследований выявить физиологически активные диапазоны частот.

Переменное ИНЧ МП создавалось кольцами Гельмгольца, обеспечивающими однородное до 5% МП в зоне расположения экспериментальных животных. Кольца подключались к генератору НГПК-3 м. Амплитуда тока в кольцах, равная 10 мА, обеспечивала напряженность поля в рабочем объеме колец 4,06 А/м (5100 гамм). Контроль формы протекающего тока осуществлялся осциллографом Н-303, а величина тока контролировалась миллиамперметром М 2020. Оценка всех составляющих погрешностей аппаратуры показала, что контроль амплитуды и частоты поля внутри камеры можно произвести с точностью не ниже 3,5% от их номинального значения. Вектор колебания МП располагался в горизонтальной плоскости. Эксперименты проводились в камере объемом (4x4x2,3) $м^3$, экранированной 4-х слойным листовым же-

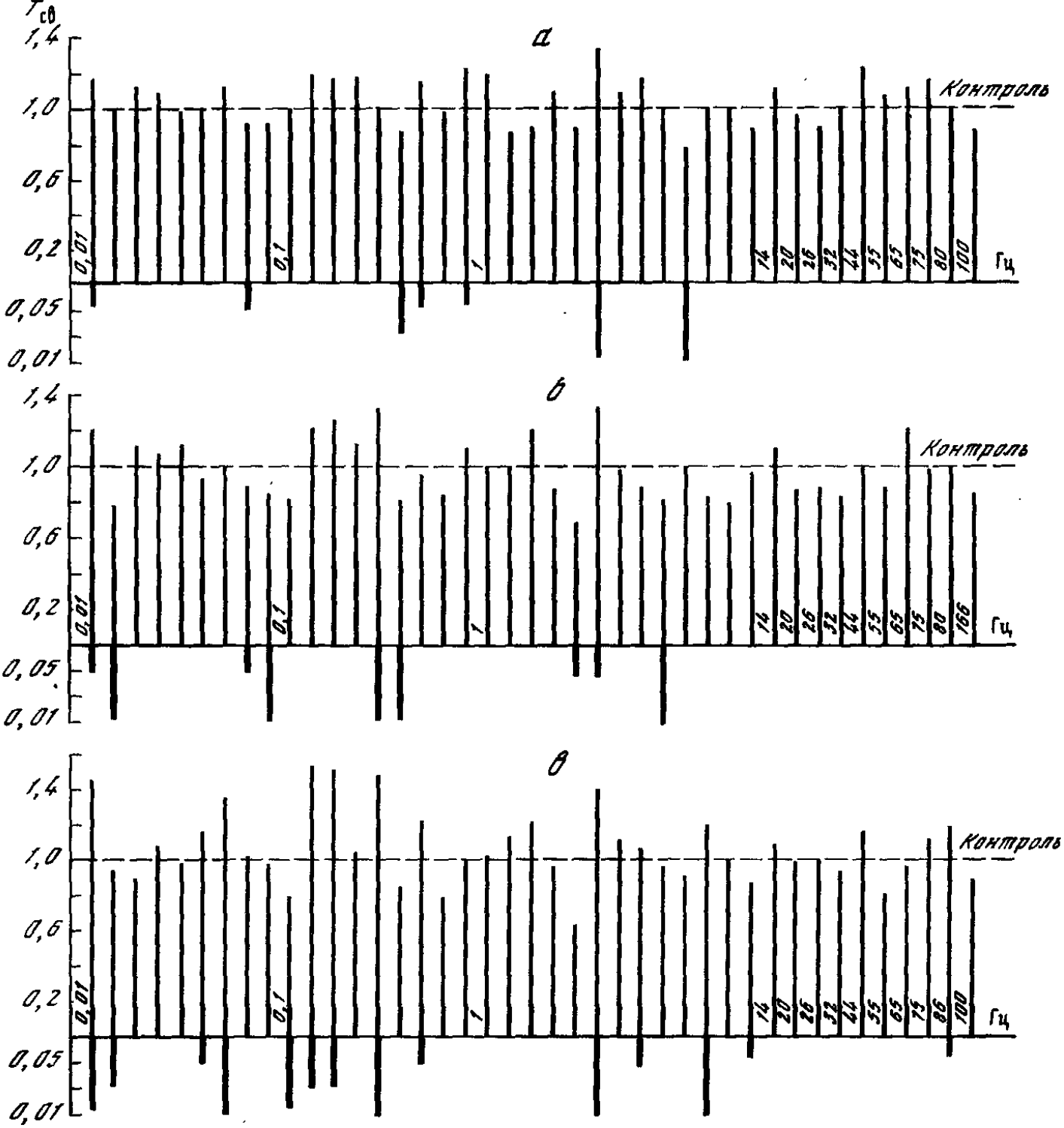
лезом "Динамо", ослабляющим влияние внешних ЭМП более чем в 12 раз. Исследовалось влияние трех значений амплитуды МП: 4,06; $4,06 \cdot 10^{-2}$, и $4,06 \cdot 10^{-3}$ А/м, что достигалось расположением экспериментальных групп животных на расстояниях от колец, обеспечивающих затухание МП в 100 и 1000 раз. Время "облучения" во всех экспериментах - 3 часа. Контрольная группа животных во время проведения эксперимента находилась в другой экранированной камере.

В первой серии экспериментов исследовано влияние МП с прямоугольной разнополярной формой импульсов в диапазонах частот: в 0,01-0,1 Гц (шаг квантования к=0,01 Гц); 0,1-1 Гц (к=0,1 Гц), 1-14 Гц (к=1 Гц) и на частотах 20; 26; 32; 44; 55; 65; 75; 81 и 100 Гц. Вторая серия экспериментов с увеличенным числом регистрируемых показателей была повторена на частотах 0,02; 0,06-0,07; 0,1-0,2; 0,4-0,7; 1-2; 5-6; 8-14; 65 и 80 Гц, отнесенных (в результате анализа полученных данных по первой серии) к числу физиологически активных. Третья серия экспериментов проведена при синусоидальной форме МП на частотах 0,02; 0,06; 0,5-0,7; 5-6; 8-12 и 80 Гц, отнесенных по результатам экспериментов первых двух серий к физиологически активным.

Четвертая серия опытов проводилась на крысах, у которых была вызвана экспериментальная эмфизема легких папаином [39,40]. Крысы поставлялись из питомника лабораторных животных "Рапполово", Ленинградской обл. Крысы с папаиновой эмфиземой (20 шт.) и соответствующая им группа интактных животных (20 шт.) ежедневно в течение 20 дней по 3 часа подвергались действию МП частотой 8 Гц напряженностью 4,06 А/м. Каждые 3 дня из хвостовой вены бралась кровь для исследования. Животных помещали в специальные пеналы из оргстекла, ориентирующих их тела вдоль вектора МП, по 5-10 особей в каждом. Первая серия проведена на беспородных половозрелых белых крысах-самцах, весом 200-220 г (1250 особей), вторая, третья и четвртая серии - на самцах линии Вистар весом 180-200 г (1300 особей). Для суждения о биологической эффективности переменного МП определялись следующие показатели: число лейкоцитов в периферической крови, лейкоцитарная формула, активность пероксидазы, неферментных катионных белков в нейтрофилах периферической крови, титр комплемента, содержание лизоцима в сыворотке крови и начало времени ее свертывания.

На ЭВМ ЕС-1020 проведен дисперсионный однофакторный анализ, использованы непараметрический критерий Ван-дер-Вардена, критерий Стьюдента для оценки доверительных интервалов и многомерный дискриминантный анализ.

Результаты первой серии экспериментов по изучению влияния МП на некоторые показатели системы крови приведены на рис.12-14. Все данные представлены в относительных единицах к результатам, полученным у контрольных групп животных. Уровень значимости, вычисленный по Ван-дер-Вардену, представлен в виде более толстой линии, направленной вниз.



Р и с 12. Относительные изменения начала времени свертывания крови ($T_{св}$) при воздействии переменного МП ИНЧ
а - напряженность МП - $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ А/м; б - $4{,}06 \cdot 10^{-2}$ А/м; в - 4,06 А/м

На рисунках приведены значения уровня значимости только для тех частот, для которых $P < 0{,}05$. Верхние графики соответствуют данным, полученным при напряженности МП $H = 4{,}06 \cdot 10^{-3}$ А/м, средние для $H = 4{,}06 \cdot 10^{-2}$ А/м и нижние для $H = 4{,}06$ А/м.

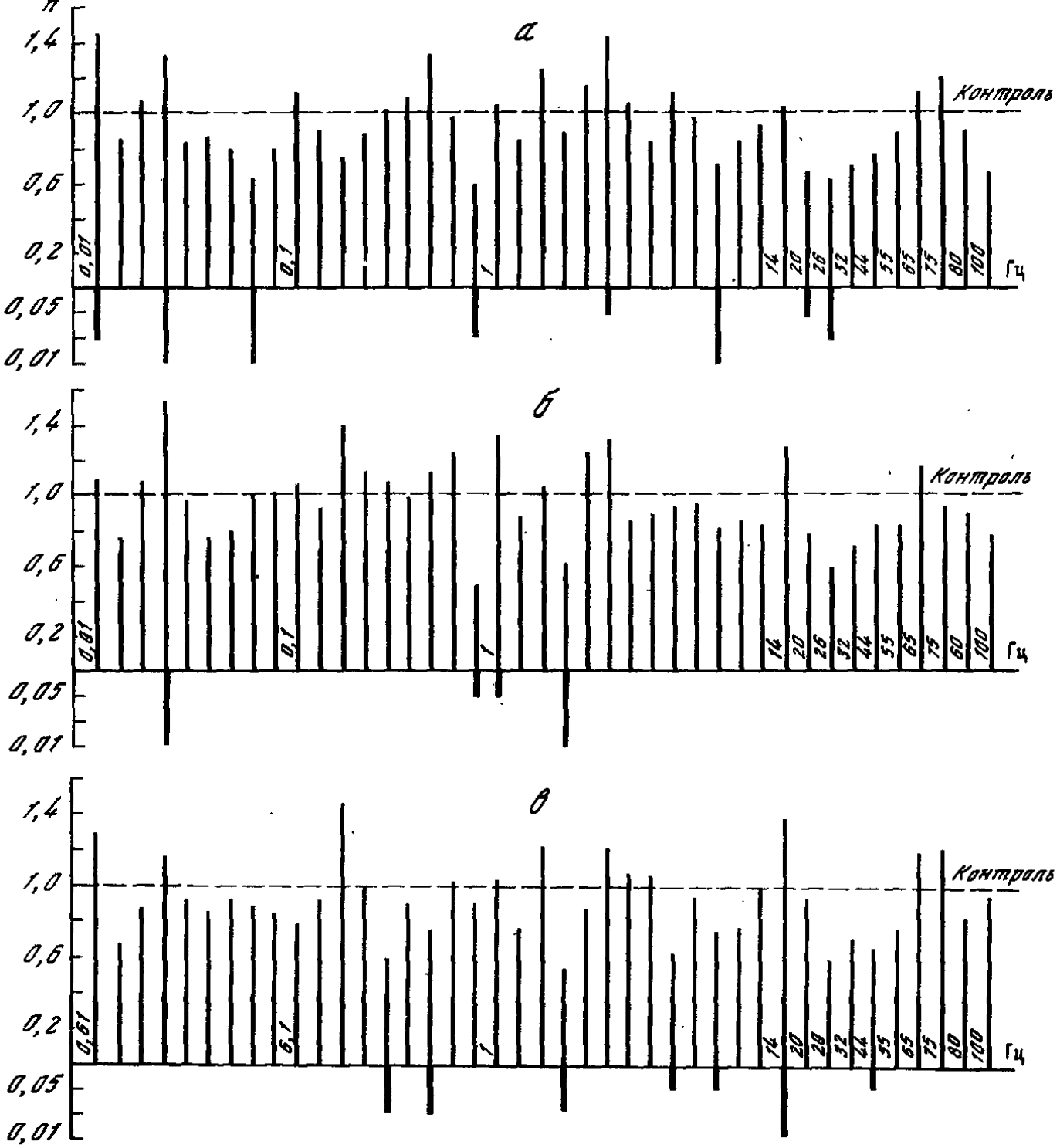
Исследование действия МП на свертывающую и антисвертывающую систему крови представляет большой интерес в связи с тем, что к настоящему времени накоплен значительный экспериментальный и клинический материал, указывающий на наличие такого влияния для отдельных частот [33,34].

Однако отсутствие данных о частотной зависимости физиологического эффекта МП в диапазоне ИНЧ тормозит использование полей этого диапазона в клинике. Начало времени свертывания ($T_{св}$), являясь по своей природе интегральной оценкой взаимодействия свертывающей и антисвертывающей систем крови, в сочетании с методической простотой его определения оказалось чувствительным индикатором биологической активности МП.

Анализ полученных результатов показал, что $T_{св}$ крови зависит как от частоты действующего МП, так и от его напряженности (рис.12). МП частотой 0,01; 0,06-0,07; 0,2-0,3; 0,5-0,7; 0,9; 6; 8; 11 и 80 Гц в целом вызывает увеличение $T_{св}$, а частоты 0,02; 0,08-0,1; 5; 8-10 и 13 Гц его уменьшение. Зависимость $T_{св}$ от напряженности поля носит более сложный характер. Для частот 0,01; 0,06; 0,08; 0,2-0,3; 0,5 и 80 Гц с увеличением напряженности поля $T_{св}$ увеличивается, а для частот 0,02; 0,09-0,1; 0,9; 5 и 8-9 Гц - уменьшается. Для остальных частот зависимость времени свертывания крови от напряженности нелинейно связана с наличием экстремума между крайними значениями исследованных напряженностей полей.

Исследования влияния МП на изменения числа лейкоцитов (рис.13) в периферической крови животных показали, что для белой крови, как правило, характерно наличие лейкопении, которая была более выражена при больших напряженностях полей. Изменения в составе лейкоцитарной формулы в силу большой дисперсии результатов чаще носили недостоверный характер, что объясняется широким диапазоном индивидуальной изменчивости исследуемых показателей у крыс. Следовательно, морфологические характеристики белой крови крыс не могут иметь самостоятельного значения для оценки наличия реакции организма на воздействие МП исследованных характеристик. Эти тесты можно использовать лишь как дополнительные, уточняющие картину физиологических реакций. Оценка влияния МП на ПО и КБ в нейтрофилах периферической крови позволила получить результаты, которые могут быть положены в основу механизма изменения неспецифической реактивности организма при воздействии МП. Как известно, лейкоцитарная ПО вместе с перекисью водорода и йодом образует в нейтрофилах мощную антибактериальную систему, эффективность которой вместе с КБ значительно выше эффекта действия составляющих ее компонентов. Полученные данные свидетельствуют о том, что активность ПО и количество КБ существенно зависят от параметров МП. Частоты 0,02; 0,06 и 10-11 Гц вызывают одновременное увеличение ПО и КБ, а частоты 8-9 Гц их уменьшение. На остальных частотах изменения ПО и КБ разнонаправленны. Зависимость изменения ПО и КБ в нейтрофилах крови от напряженности поля носит нелинейный характер. Увеличение напряженности МП от $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ до 4,06 А/м вызывает одновременное увеличение ПО и КБ на частоте 0,02 Гц и уменьшение на частотах 8-9 Гц.

Изучение динамики содержания комплемента (СК) и содержания лизоцима (СЛ), проведенное в третьей серии экспериментов, выявило монотонный характер изменения этих показателей, за исключением частоты 0,02 Гц,



Р и с. 13. Относительные изменения числа лейкоцитов (n) в периферической крови при воздействии МП ИНЧ

а,б,в - то же, что и на рис. 12

где наблюдалось увеличение СК и СЛ по сравнению с контролем, на всех остальных частотах происходило их уменьшение. Изменение СК и СЛ в зависимости от напряженности МП носит также монотонный характер. При увеличении напряженности поля от $4{,}06 \cdot 10^{-3}$ до 4,06 А/м СК и СЛ, как правило, уменьшается.

Анализ полученных данных с точки зрения реакций целостного организма на воздействие МП позволил выделить частоты 0,02 и 8 Гц при Н = 4,06 А/м. Под влиянием МП частотой 0,02 Гц отчетливо возрастают показатели ПО и КБ, увеличивается содержание СК и СЛ в сыворотке крови,

уменьшается $T_{св}$. Эти явления протекают на фоне лейкопении с наличием сдвига лейкоцитарной формулы вправо. При исследовании белковых фракций сыворотки крови обнаружена тенденция к возрастанию гамма-глобулинов при достоверном уменьшении содержания альбуминов. В целом наблюдаемые изменения свидетельствуют об активирующем действии МП частотой 0,02 Гц и усилении иммунологической устойчивости организма.

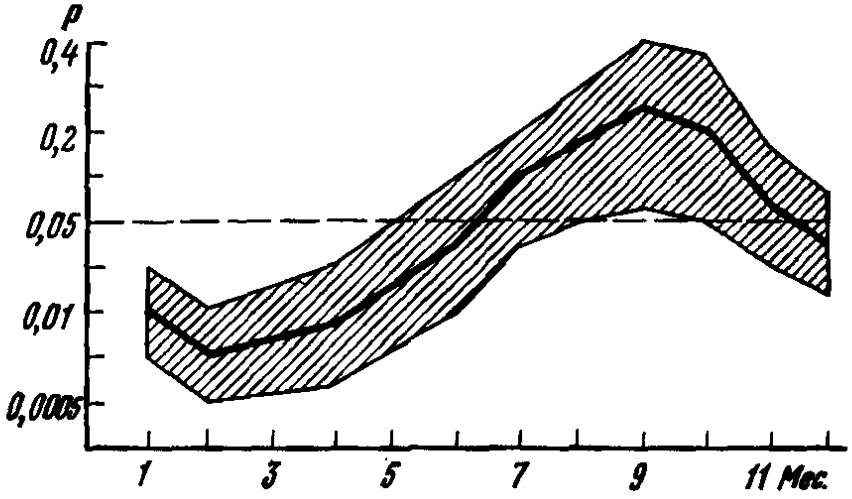
При действии МП 8 Гц наблюдаются явления, в целом противоположные описанным выше, т.е. снижение неспецифической резистентности. Увеличение $T_{св}$ сопровождается уменьшением показателей ПО и КБ, а также СК и СЛ. Эти явления протекают на фоне слабовыраженного лейкоцитоза без изменений в лейкоцитарной формуле. Обнаружена диспротеинемия при более значительном снижении содержания альбумина, которое происходит за счет увеличения α и β-глобулинов. Имеет место тенденция к снижению γ-глобулинов, достоверно уменьшается активность протеаз, а показатели щелочной фосфатазы и кислой фосфатазы в нейтрофилах периферической крови практически не меняются.

Таким образом, при действии МП частотой 8 Гц наблюдается угнетение бактерицидных систем нейтрофилов. В пользу развиваемых представлений о снижении реактивности организма под влиянием МП частотой 8 Гц свидетельствуют результаты исследований, проведенных на крысах с папаиновой эмфиземой. Снижение цитохимических показателей содержания КБ и ПО в нейтрофилах периферической крови этих животных было гораздо более четко выражено, чем у интактных. Признаки эмфиземы легких у этих крыс регистрировались раньше, чем у животных, не находившихся в МП. Одним из возможных путей активирующего или угнетающего действия МП на организм, в зависимости от его параметров, может быть развитие адаптационных реакций, классификация которых предложена в [26,27].

Если при воздействии МП частотой 0,02 или 8 Гц наблюдались, как правило, разнонаправленные сдвиги изучаемых показателей, позволяющие рассматривать их в рамках известных физиологических концепций, то при других частотах изменение показателей носило более сложный характер. Например, в диапазоне 0,5–0,7 Гц повышение $T_{св}$ и ПО сопровождается снижениемКБ, а также СК и СЛ. Изменения в лейкоцитарной формуле неоднозначны . Наблюдаемые изменения несомненно свидетельствуют о наличии достоверного влияния переменного МП, однако сделать какие-либо выводы об изменении неспецифической реактивности не представляется возможным. По-видимому период регистрации (через 3 часа после начала "облучения") был недостаточным для развития в организме нового устойчивого состояния под действием раздражителя, вследствие чего регистрировались некоторые переходные этапы из одного функционального состояния в другое.

Изменение внешних условий проведения экспериментов также отражается на характере реакции организма на воздействие МП. Один из экспериментов при частоте 0,6 Гц был повторен при повышенной температуре окружающего воздуха (31,5±0,5°С), $T_{св}$ при этом достоверно изменилось в противоположную сторону по отношению к результатам, полученным на той же

частоте при температуре воздуха 20±3°С. О зависимости реакции организма от его исходного функционального состояния свидетельствует и полученная в данной работе связь воспроизводимости экспериментов с сезоном года (рис.I4). Как известно, конец лета и начало осени является периодом, когда организм обладает максимальной резистентностью к большинству факторов внешней среды [4I]. Поэтому можно предположить, что в этот период года МП не является достаточно эффективным фактором, способным



Р и с. I4. Изменение уровня значимости Р реакции организма при воздействии МП в зависимости от времени года

отклонять физиологические показатели здорового организма на значительную (регистрируемую) величину. Видимо, в этот период целесообразно использовать более чувствительные тесты или проводить исследования на организмах, адаптационные возможности которых снижены искусственным путем.

Сравнение эффективности действия полей прямоугольной и синусоидальной форм при прочих равных условиях указывает на большую эффективность первых. Это выражалось в более значительных отклонениях изучаемых показателей от контрольных, что имеет некоторое теоретическое обоснование, выполненное с биофизических позиций /42/.

Таким образом, на основании исследований чувствительности крови на воздействие МП ИНЧ в диапазоне 0,0I–I00 Гц установлены физиологически активные частоты: 0,2 Гц; 0,06 Гц; 0,5–0,6 Гц; 5–6 Гц; 8–I2 Гц и 80 Гц. МП этих частот оказывают статистически достоверные изменения в содержании пероксидазы и неферментных катионных белков в нейтрофилах периферической крови, комплемента и лизоцима в сыворотке крови, а также в начальном периоде свертывания крови.

Литература

I. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электрические поля в нейрофизиологии. М.: Наука, I979. I67 с.
2. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Максименко Н.В. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на организм. Киев : Здоровья, I978. I30 с.
3. Лазаревич В.Г. Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. Львов; Вища школа, I978. I93 с.

4. Травкин М.П. Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. – Матер. 2-го Всесоюз. симпоз. Белгород: Гос. пед. ин-т, 1973, 173 с.
5. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.
6. Баньков В.Н. Получение экспериментального сна у кошек путем воздействия низкочастотного модулированного электромагнитного поля.-Бюл. эксперим. биологии, 1972, т. 74, № 9, с. 14-18.
7. Судаков К.Б., Антимоний Г.Д. О гипногенном действии модулированного электромагнитного поля.-Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1977, т. 84, № 8, с. 146-149.
8. Антимоний Г.Д., Бадиков В.И., Кель А.А. и др. Изменение реакции самораздражения у крыс при действии модулированного электромагнитного поля.-Бюл. эксперим. биологии, 1976, т. 82, № 10, с. 1163-1165.
9. Blackman C.F. et al. Intern. Symposium on Biol. Effects of E.M.Waves, Aizlie, Virginia,USA,1977,p.59-62.
10. Эйди Г.Р. Доказательство функционального значения внешних и внутренних электрических низкочастотных полей для деятельности ткани мозга.-В кн.: Функциональное значение электрических процессов головного мозга. М.: Наука, 1977, с. 395-402.
11. Михайловский В.Н., Красногорский Н.Н., Войчишин К.С. и др. О восприятии людьми слабых магнитных полей.-Докл. АН УССР, Серия биол., 1969, № 10, с. 929-933.
12. Сахаров И.В. Изучение сенсомоторных реакций у операторов в слабом ИНЧ ПеМП.-В кн.: Актуальные вопросы магнитобиологии. Симферополь, 1979, с. 29-30.
13. König H., Ankermuller F. Über den Einflus besonders niederfrequenter elektrischer Vorgänge in der Atmosphaere auf den Menschen.-Naturwiss. 1960, Ig.47, N21, S.486-490.
14. Friedman H., Becker R., Bachman C. Effect of Magnetic Field on Reaction Time Performance.-Nature,1967,v.213,N5451,p.949-952.
15. Hamer J.R. Effects of low level, low frequency electric field on human reaction time.-Communication Behav. Biol., 1968, part 12, p.217-221.
16. Persinger M.A. ELF and VLF electromagnetic field effects. New-York, London; Plenum Press, 1974, 311p.
17. Михайлова-Лукашева В.Д., Скрипаль А.В., Мельникова В.П. и др. К исследованию влияния слабых перепадов электромагнитных полей на человека.-Докл. АН БССР, 1972, т. 16, № 12, с. 1147-1149.
18. Атаев М.М. О взаимоотношении изменений напряженности внешнего электромагнитного поля и "напряженности" нервного возбуждения в центральной нервной системе.-Изв. АН СССР, Сер. биол., 1972, № 1, с. 119-122.
19. Gavalas-Medici R.J., Day-Magdaleno S.R. ELF weak electric fields effect schedule-controlled behavior of monkeys.-Nature, 1976, v.261, N4131, p.256-260.

20. Сидякин В.Г., Князева Т.И., Янова Н.П. Сравнительно-физиологическое исследование поведенческих реакций у животных при действии электромагнитного поля как экологического фактора.-В кн.: Адаптации на разных уровнях биологической организации. Сыктывкар, 1982, т. 2, с. 138-139.
21. Вольнский А.М., Владимирский Б.М. Моделирование воздействия магнитной бури на млекопитающих.-В кн.: Солнечно-земная физика. М., 1969, вып. 1, с. 294-297.
22. Вольнский А.М., Бродовская З.И., Темурьянц Н.А. и др. К изучению действия электромагнитных полей низкой частоты на различные системы организма животных.-В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 256-259.
23. Войтинский Е.Я., Гендельс Б.С., Гольцман Б.И. О влиянии слабого магнитного поля на электрическую активность мозга.-В кн.: Магнитное поле и медицина. Фрунзе; Кирг. гос. пед. ин-т, 1974, с.21-22.
24. Wever R. Einflus schwascher elektromagnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen.Naturwiss.,1968,55,N1,s.29-32.
25. Гашникова Л.И., Бордюшков Ю.Н., Квакина Е.Б. Об изменении функций щитовидной железы под влиянием магнитных полей.-В кн.: Реакции биологических систем на слабые магнитные поля. М. : Наука, 1971, с. 135-137.
26. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б. О принципах периодичности в реакции организма на магнитные поля как неспецифический раздражитель.-В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград, Гос. ун-т, 1975, с.18-19.
27. Квакина Е.Б., Николаева В.И., Уколова М.А. О характере неспецифической реакции организма в ответ на длительное воздействие низкочастотным переменным магнитным полем.-В кн.: Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971, с. 122-124.
28. Lafreniere G.F., Persinger M.S. Thyroid Morphology and Activity does not Respond to ELF electromagnetic field exposures.-Experientia, 1979,v,35, N4, p.561-565.
29. Чегодарь А.Я. Влияние электромагнитных полей низкой частоты различной напряженности на сердечно-сосудистую систему животных: Автореф. дис...канд. мед.наук. Симферополь: Мед.ин-т, 1972, 17 с.
30. Темурьянц Н.А. Влияние слабых электромагнитных полей сверхнизкой частоты на морфологию и некоторые показатели метаболизма лейкоцитов периферической крови животных: Автореф. дис...канд. мед. наук. Симферополь; Мед. ин-т, 1971, 19 с.
31. Темурьянц Н.А., Кривошеин Ю.С., Тишкин О.Г. Влияние слабого магнитного поля на функциональную активность нейтрофилов периферической крови.-В кн.:Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с. 64-66.
32. Музалевская Н.И., Шумков Г.Д. Исследование биотропности параметров слабого магнитного поля диапазона сверхнизких частот.-В кн.:Реакция

биологических систем на магнитные поля.М.:Наука,1978, с.199-208.
33.Куксинский В.Е., Русяев В.Ф., Мулындина Г.И. Влияние электромагнитных полей на коагулогические свойства форменных элементов крови.-В кн.:Матер. II науч. конф. молодых ученых.Чита:Мед. ин-т,1974, с. 129-132.
34.Русяев В.Ф., Куксинский В.Е. Изучение действия электромагнитного поля на коагулогические и фибринологические свойства крови.- Биофизика, 1973, т. 18, вып. 1, с. 160-163.
35.Ачкасова Ю.Н.,Брызгунова Н.И.,Сарачан Т.А.,Пяткин К.Д. Влияние на жизнедеятельность микроорганизмов электромагнитных полей, близких к естественным:В кн.:Физико-математические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха.М.:Наука,1975,т.2,с. 131-133.
36.Мигалкин И.В., Калюжин В.А., Карташев А.Г. Некоторые закономерности влияния магнитных полей на сбраживание глюкозы дрожжевыми грибками.-В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1979, вып. 2, с. 65-68.
37.Опалинская А.П.,Агулова Л.П. Исследование влияния магнитных полей сверхнизких и низких частот на ход неравновесных процессов.-В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск;ТГУ, 1978, с.19-24.
38.Агулова Л.П. Исследование действия слабого магнитного поля сверхнизкой частоты на автоколебательную химическую реакцию.-В кн.: Живые системы в электромагнитных полях. Томск; ТГУ, 1979, вып. 2, с. 116-119.
39.Тишкин О.Г. Роль протеаз и их ингибиторов в патогенезе ингибито - ров легких.-Архив патологии, 1979, т. 41, № 3, с. 66-70.
40.Тишкин О.Г. Экспериментальное повреждение легких папаином.-В кн.: Морфогенез и регенерация. Тр. Крымск. мед. ин-та, Симферополь: т. 75, 1978, с. 115-116.
41.Голиков А.П. Сезонные ритмы в физиологии и патологии. М.: Медицина, 1973. 156 с.
42.Берлин Ю.В., Бувин Г.М., Белькевич В.И. и др. Некоторые особенности действия импульсных магнитных полей на электропроводные жидкости и биологические системы.-В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 33-48.

2.4. Избирательная чувствительность бактерий к инфранизкочастотным магнитным полям

С целью выявления биологического действия возмущений геомагнитного поля в модельных экспериментах исследовано влияние на эшерихии синусоидального МП с частотами 0,01; 0,1; 1,0; 8 Гц, с индукцией 10; 50; 100; 200 нТл; поставлена серия экспериментов по изучению биологической активности импульсного магнитного поля (ИМП) с частотами 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,08; 0,1 Гц с индукцией 10; 50; 100; 200 нТл; и 1,0; 6,0; 9,0 Гц - 200 нТл.

Указанные поля создавались кольцами Гельмгольца, установленными в отдельных термостатах. На кольца подавались сигналы от генераторов ГЗ-16 и собранного по микросхеме типа К2844 ДІВ.

Экспериментальной моделью выбран эталонный штамм эшерихии, у которого после четырехчасового культивирования в условиях МП определялась скорость размножения, ферментативная активность, передача генетической информации в конъюгации в условиях поля и в контроле. Всего поставлено 573 опыта, сделаны и статистически обработаны данные высевов из 9596 проб.

Установлено, что синусоидальные МП тормозят накопление числа особей в экспоненциальной фазе размножения. Однако продолжительность фаз одинакова в контроле и в опыте. Наблюдаемое угнетение в среднем равнозначно при всех исследованных напряженностях на одной и той же частоте, что приводит к заключению об отсутствии зависимости эффекта от напряженности МП.

В синусоидальном переменном МП выделена частота 0,01 Гц, на которой при В=10 нТл эффект угнетения скорости размножения состевляет 37,7% по отношению к контролю, принятому за 100%. Изменения генотипа у эшерихии МП не вызывает.

Импульсные МП на каждой из исследованных частот (от 0,01 до 0,06 Гц и на 0,08, 0,1 Гц), как и синусоидальные МП различной напряженности, значительно снижали жизнедеятельность эшерихий, угнетая скорость их деления в экспоненциальной фазе роста. Выделены наиболее эффективные частоты - 0,02, 1 и 6 Гц. Зависимость от напряженности не прослеживалась. В импульсных МП, характеризующихся биологическй активностью, среди испытанных 100 000 колоний эшерихий не отмечено появления ауксотрофных и лактозоотрицательных мутантов. Ферментация углеводов в опыте и контроле была сравнительно одинаковой.

Таким образом, эшерихии бактерии избирательно реагируют на определенные низкочастотные параметры оинусоидальнсго и импульсного МП уменьшением скорости размножения.

2.5. Реакции человека при воздействии на кожу светом различного спектрального состава

Вопрос неадекватного восприятия человеком светового раздражителя уже много лет волнует ученых [1]. Несмотря на тс, что наличие в коже человека участков, чувствительных к электромагнитному излучению видимой области спектра, доказано многими исследователями [2-5], единого мнения о механизме кожно-оптического эффекта не существует. Мы провели массовые эксперименты с применением объективного метода исследования кожно-оптической чувствительности, предложенного в работах [5,6].

Известно, что при действии на глаз испытуемого мелькающим светом в ЭЭГ возникают ритмы, закономерно связанные с частотой световых мельканий [7-9]. Аналогичная реакция (однако выраженная слабее) наблюдается

и при действии слуховых и тактильных ритмических раздражителей [10-12]. В чувствительности кожи человека к свету подобный эффект тоже наблюдается [5,13,14].

В настоящей работе приводятся результаты экспериментов в двух областях видимой части спектра (красной и синей), а также в ультрафиолетовой области. В исследованиях использована методика проведения экспериментов для изучения кожно-оптического эффекта с применением реакции наведенных ритмов [5,13]. Испытуемый с закрытыми глазами находился в экранированной затемненной камере в положении сидя; на ладонь его правой руки, помещенной в светонепроницаемый металлический фотостимулятор, действовали прерывистым светом с частотой 8 либо 12 Гц, обеспечиваемой вращением перед источником излучения дисков с определенным числом отверстий (соответствующим частоте стимуляции), причем на пути светового луча помещались светофильтры, выделяющие необходимый участок спектра. Видеть мелькания света испытуемые не имели возможности, что обеспечивалось полной светонепроницаемостью фотостимулятора.

В первой серии опытов [14] свет электрической лампочки пропускался через водяной (тепловой) фильтр, во второй и в третьей сериях дополнительно применялись светофильтры КС-2 с полосой пропускания 600-2800 мкм и СС-8 с полосой пропускания 360-520 мкм; в четвертой серии использовалось ультрафиолетовое излучение. Для сопоставления результатов различных серий, освещенность пятна (R=1,9 см) на ладони испытуемых во всех экспериментах была одинаковой.

Одновременно с наведением ритма светостимуляции в течение 30-50 с регистрировалась биоэлектрическая активность мозга испытуемого в следующем порядке: делалась фоновая запись в рабочем режиме, затем включался источник света и записывалась биоэлектрическая активность мозга сразу после включения фотостимулятора и через 5 и 10 мин действия прерывистого света. После 10 мин стимуляции снова записывали фон. ЭЭГ регистрировалась монополярно в двух затылочных и двух теменных отведениях.

Работа проводилась с группой в 208 человек. Первичная обработка кривых ЭЭГ проводилась визуально "слепым методом", т.е. считывающий не участвовал в эксперименте и не знал, с каким участком записи (фон, стимуляция, фильтр) он имеет дело. При визуальной обработке на кривой ЭЭГ, соответствующей каждому эксперименту, выбирались (в зависимости от выраженности α-ритма) по возможности чистые, свободные от артефактов и всех других частот (кроме α-ритма) участки длительностью 2-10 с и по ним определялась усредненная частота ЭЭГ (подсчитывалась полусумма чисел положительных и отрицательных амплитудных значений, отнесенная к единице времени). Результаты описанной визуальной обработки независимо от фоновой частоты и частоты стимуляции сопоставляли путем вычисления коэффициента навязывания ритма К, отражающего степень сбли-

Таблица 5. Значения коэффициентов навязывания ритма для теменных и затылочных отведений

	8 Гц						12 Гц					
	ПТ			ЛТ			ПТ			ЛТ		
	КС	СС	УФ	КС	СС	УФ	КС	СС	УФ	КС	СС	УФ
	Теменные отведения											
K_0	0,89*	0,93**	0,81	0,95*	0,92*	0,92***	0,93*	0,84	0,85	0,90	0,98**	0,99***
K_5	0,84	0,88	0,78	0,87	0,96**	0,87*	0,87	0,85*	0,84	0,84	0,93**	0,94***
K_{10}	0,82	0,86	0,64	0,82	0,85	0,81*	0,94*	0,81	0,72	0,86**	0,90	0,92**
	Затылочные отведения											
K_0	0,90	0.98**	0,99***	0,94**	0,89**	1,10***	0,90**	0,94**	1,04***	0,87	0,84**	0,91**
K_5	0,82	0,89**	1,00***	0,86	0,89**	1,00***	0,88*	0,95**	1,07***	0,84	0,83*	1,02***
K_{10}	0,87*	0,95**	0,95***	0,88*	0,88**	1,03***	0,89	0,85**	1,01***	0,85	0,94**	0,98***

* 0,95 P 0,99;

** 0,9 P 0,95;

*** P 0,9.

Для остальных значений достоверность не меньше, чем 0,99.

жения регистрируемого ритма со стимулирующим

$$K = \frac{f_{оп} - f_{ст}}{f_{ф} - f_{ст}}, \qquad (I)$$

где $f_{ф}$ - фоновая частота ритма энцефалограммы, которая изменилась до частоты $f_{оп}$ во время стимуляции светом с частотой $f_{ст}$.

Из формулы (I) видно, что при $K < I$ наблюдается сближение частот; при $K = I$ стимуляция не влияет на частоту фоновой кривой, а при $K > I$ наблюдается расхождение наводимой и регистрируемой частот. Для обработки результатов эксперимента была составлена программа для ЭВМ, позволяющая определять достоверность отличия опытной частоты от частоты фона, достоверность положительности отклонения и достоверность отличия К от единицы (т.е. достоверность наличия эффекта наведения или противоположного эффекта) на основе критерия Стьюдента.

Результаты статистической обработки экспериментов приведены в табл.5, где указаны значения коэффициента навязывания ритма при различной длительности стимуляции: 5-I0 с (K_0), 5 мин (K_5) и I0 мин (K_{I0}), а также достоверность отличия К от единицы.

Для теменных отведений - правого (ПТ) и левого (ЛТ) - эффект прослеживается наиболее четко для всех исследованных участков спектра: синего (СС), красного (КС) и ультрафиолетового (УФ). Наилучшие значения К получены для "ультрафиолетовой серии" в правом отведении, причем величина К оказалась заметно меньше, чем для "красной" и "синей" серий. В то же время в левом отведении результаты мало зависят от спектральной характеристики излучения. Для затылочных отведений (см. табл.5) в УФ диапазоне эффект сближения ритмов отсутствует полностью ($K \sim I$), для синего наблюдается с невысоким уровнем достоверности ($P < 0,9$) и лишь для красного света значения коэффициента К близки к полученным в теменных отведениях как по величине, так и по достоверности их отличия от единицы.

Ярко выраженная локализация усвоения ритма для УФ-излучения и ее отсутствие для более длинноволнового излучения придает дополнительный интерес исследованию эффекта в диапазоне инфракрасного излучения.

Литература

I. Кирсанова А.А. Кожная чувствительность человека к видимым и инфракрасным лучам:(Библиография). - В кн.: Ленинская теория отражения и проблемы психологии. Свердловск: Уральский гос.университет им. Горького, I973, сб.2, с.84-92.

2. Познанский Н.Б. Кожная чувствительность к видимому и инфракрасному облучению. - Физиол.журн., I938, т.24, вып.4, с.228-30I.

3. Гольдберг И.М. Исследование проникающей способности кожно-оптического чувства. - В кн.: Вопросы психологии личности и познания. Нижний Тагил, I966, с.I2-I6.

4. Проблемы кожно-оптической чувствительности. Свердловск: сб.33, I965, I28с.

5. Плеханов Г.Ф., Денисов В.Н. Выявление локализации усвоения α-рит-

ма ЭЭГ при действии на кожу руки человека прерывистого света. М.: ВИНИТИ, 1970, с.26-28.
6. Коларова З.И., Мирзоянц Н.С. Неспецифическая реакция кожного анализатора на световое раздражение у детей раннего возраста. - В кн.: Вопросы психологии личности и познания. Свердловск: СГПИ, 1966, с.65-69.
7. Копылов А.Г. Особенности ЭЭГ-реакций на световые ритмические раздражения: Автореф. дис.... канд.биол.наук Л.: ЛГУ им.Жданова, 1957, с.19-20.
8. Ильянок В.А. Влияние частоты ритмического светового раздражителя на гармонический состав реакции усвоения ритмов мозгом человека. - Журн. высш. нерв. деятельности им. И.П.Павлова, 1967, т.17, вып.2, с.304-312.
9. Данилова Н.Н. Реакция головного мозга в ответ на световые мелькания, совпадающие с диапазоном α-ритма. - Журн.высш.нерв.деятельности им. И.П.Павлова, 1961, т.11, вып.1, с.12-21.
10. Ливанов М.Н. О ритмических раздражениях и взаимоотношении полей в коре головного моэга. - Физиол. журн. им. И.М.Сеченова, 1940, т.28, вып.2-3, с.183.
11. Макарова Л.Г. Биоэлектрические реакции здоровых людей на световые и светозвуковые ритмические воздействия. - Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1962, т.54, № 12, с.7-12.
12. Walter V.J., Walter W.G. The central effect of phithmic sensory stimulation. - EEG Clin.Neurophysiol., 1949, vol. 12, p. 57.
13. Лысенко Н.Н., Плеханов Г.Ф. Определение наличия и распространенности кожно-оптической чувствительности у случайно выбранной группы лиц. - Тр. Сиб. физ.техн. ин-та, 1973, вып.64, с.263-269.
14. Лысенко Н.Н. Изменение кожно-оптической чувствительности человека в зависимости от спектрального состава света. - В кн.: Матер. первой конф. молодых ученых. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1974, вып.2, с.44-46.

2.6 Реакции центральной нервной системы на электромагнитные поля низкой частоты

Среди сложной комбинации факторов внешней среды, действующих на живой организм, существенное значение имеют ЭМП различных параметров /1-8/. Можно допустить, что живые системы за длительный период эволюции адаптировались к умеренным действиям ЭМП, подобно адекватной их реакции на колебания атмосферного давления, освещенности, температуры и влажности воздуха. Большая часть наблюдений на людях и в эксперименте на животных осуществлена при воздействии на них ЭМП СВЧ.

Известны эффекты биологического действия ЭМП низкой частоты и малой напряженности [1,2]. Во многих экспериментах на различных животных по-

казано, что слабые ЭМП и МП низкой частоты биологически активны и изменяют функции различных систем организма теплокровных и холоднокровных животных [3-7]. Но все же остается неясным вопрос, каким образом проявляется действие слабых ЭМП?

Для выяснения некоторых сторон механизма действия ЭМП низкой частоты и малой напряженности на процессы суммации возбуждений в ЦНС были использованы классические приемы, разработанные И.М.Сеченовым [8], который впервые показал, что подпороговые импульсы вызывают рефлекс в том случае, если они следуют друг за другом, раздражая периферические рецепторы или афферентные нервы. Тот факт, что при модуляции ЭМП низкой частоты и малой напряженности в большинстве случаев (даже для высокочувствительных к ним организмов) эффект выявляется с различным, порой довольно значительным, латентным периодом, дает основание относить эти поля к слабым раздражителям.

Различают два вида суммации: последовательную (временную) и пространственную. В первом случае подпороговое воздействие приводит к временной суммации возбуждений, когда серия ритмических стимулов прикладывается к одному и тому же рецептивному полю или чувствительному нерву. Пространственная суммация возбуждений обнаруживается в том случае, когда два или серия раздражений действует одновременно на разные рецепторы, относящиеся к одному и тому же рецептивному полю. Задачей нашего исследования явилось изучение исходного рефлекторного фона временной и пространственной суммации возбуждений с последующим выяснением изменчивости этого основного свойства нервных центров под влиянием воздействия ЭМП низкой частоты и различной напряженности на организм животных. Проведено три серии опытов на 20 взрослых кроликах (самцах), 8 кошках и 4 собаках.

В первой серии исследовали оборонительно-двигательный рефлекс задней лапы у интактного кролика до и во время воздействия ЭМП на организм животного. Для получения указанного рефлекса на время опыта в кожу подошвы правой задней лапы кролика вкалывали игольчатые электроды. Стимуляция производилась универсальным электронным импульсатором УЭИ-I сначала одним подпороговым импульсом, а затем частотой 5, I0, 20, 40. 60, I00 Гц при продолжительности каждого раздражающего импульса 0,5мс. В общем каждое тестирующее действие длилось I0 с, а перерыв между пробами - 5 мин. Для учета суммационного времени рефлекторной реакции на подпороговые стимулы в мышцу бедра-флексора вводились серебряные электроды, которые через усилитель биотоков УБП-I-0I подсоединялись к катодному осциллографу С I-4, с экрана которого потенциалы действия мышцы фотографировались на пленку фотоаппарата Зенит. После получения исходных данных производилось воздействие на кроликов ЭМП 8-I0 Гц при напряженностях - 0;8 В/м; 2,5 В/м; 5,0 В/м.

Вторая серия опытов была осуществлена на кошках, у которых предварительно перерезался спинной мозг на уровне IX-X грудных сегментов.

Для изучения суммационного времени у них выделяли задний и передний корешки в области второго-третьего L_2-L_3 поясничного сегментов спинного мозга. Определялся как и в первой серии рефлекторный эффект на одиночный или на серию допороговых раздражений чувствительного корешка путем подачи прямоугольных импульсов ЭМП указанных частот.

Третья серия опытов на собаках весом 7-8 кг отличалась тем, что у них сначала вырабатывались условные оборонительные, двигательные рефлексы. Для этого индифферентные условные сигналы - звонок, а в последующем и мигающий свет 40-ваттной лампы - подкрепляли электрическим раздражением кожи голеностопного сустава правой задней лапы. Стимуляция производилась через соединенные с импульсатором электроды, вмонтированные в небольшую манжетку, причем прямоугольные импульсы от 2 до 10 В подавались с частотой 50 Гц. Продолжительность раздражения каждым условным сигналом у различных животных заключена в пределах 3-5 с.

Латентный период образованного условного оборонительно-двигательного рефлекса и его интенсивность регистрировалась по методике Петропавловского [9]. В некоторых случаях производили запись электромиограммы икроножной мышцы правой задней лапы путем фиксирования на коже пуговчатых электродов, соединенных с венгерским двухканальным электромиографом типа 21. После выработки разделенных на 5 с условных рефлексов отдельно на звонок и свет, изучали одновременное проявление этих двух условных сигналов в контрольных экспериментах и при воздействии на организм животных ЭМП.

Все животные, использованные в трех сериях опытов, после регистрации исходных данных помещали в кондесатор объемом I $м^3$, к пластинам которого подводилось синусоидальное напряжение от генератора НГПК-3 М. Амплитуда и форма сигнала контролировалась осциллографом. В основном исследовалось биологическое действие ЭМП частоты 8-10 Гц и напряженностью поля 0,8 В/м, а также 2,5 и 5,0 А/м.

Изучались реакции ЦНС как на однофазовое, так и многократные воздействия ЭМП при коротких и более продолжительных экспозициях. Опыты проводили в экранированной, заземленной камере.

В первой серии экспериментов установлено, что одиночное раздражение кожи задней конечности интактного кролика вызывало пороговый эффект при действии сильного тока, а при стимуляции подпороговыми импульсами рефлекс возникал в зависимости от применяемой частоты раздражений, т.е. от временной латентной суммации в нервных клетках ЦНС животного. Если стимуляция рецепторов кожи осуществлялась ритмом 40-60 Гц, то суммация в ЦНС наступала значительно раньше, чем при действии ЭМП 5-10 Гц. Интенсивность рефлекса при этом сопровождалась быстрым увеличением амплитуды потенциалов флексорной мышцы, чего не отмечалось на более низких частотах раздражения.

Однако наиболее четкие результаты суммации возбуждений в ЦНС в контрольных опытах на животных при стимуляции рецепторов различными

частотами, а затем на фоне действия на организм ЭМП низкой частоты и различной напряженности выявляются при использовании суммационной константы Лапика Z, рассчитанной по формуле [10]:

$$V = Z\left(1 - e^{-\frac{E}{Z}}\right), \text{ откуда } Z = -\frac{E}{\ln\frac{L-V}{L}},$$

где V - порог рефлекторной реакции на залпы различной частоты, слабых, подпороговых раздражений чувствительного нерва; L - порог рефлекторной реакции на раздражение чувствительного нерва только одним стимулом; E - интервал между импульсами примененных раздражений различной частоты.

Таким образом, суммация в нервных клетках ЦНС животного при электрическом раздражении чувствительного нерва зависит от силы раздражения, от интервала между раздражениями, от продолжительности каждого раздражения и от их числа.

Суммационная константа Z характеризует скорость угасания подпорогового локального возбуждения в интервале между импульсами раздражения. С повышением частоты раздражений кожи задней правой лапы в пределах от 10 до 60 Гц суммация во времени снижалась в среднем с 16,4±3,2 м/с до 11,6±2,9 м/с $P < 0,01$.

В результате воздействия ЭМП частотой 8 Гц напряженностью 0,8 В/м; 2,5 В/м; 5,0 В/м выявилось двухфазное изменение процесса суммации в ЦНС животных при экспозиции 1 ч и более.

Первая фаза, проявляющаяся в течение 20-25 мин облучения, характеризовалась повышением суммационной способности ЦНС интактного кролика. Во второй фазе после 30-40 мин экспозиции ЭМП у большинства животных наблюдалось снижение рефлекторной возбудимости и уменьшение времени проявления временной суммации, что привело к смещению в первой фазе оптимальной частоты стимуляции кожи задней конечности кролика в сторону более низких частот, в то время как во второй - пришлось применять раздражение более частыми ритмами. Суммационная константа Лапика уменьшилась, особенно при длительной экспозиции и воздействиях напряженностью 2,5 и 5,0 В/м. Следовательно, изменение константы Z при действии ЭМП зависит также от сдвигов подвижности и времени реакций в нейронах ЦНС.

Вторая серия опытов на оперированных кошках, у которых тоническое воздействие головного мозга на функцию нижних отделов спинного мозга было исключено, показала, что ЭМП низкой частоты вызывают относительно быстро снижение возбудимости и уменьшение способности нервных клеток, отграниченных сегментов спинного мозга, суммировать проявление серии редких импульсов, раздражающих чувствительный корешок. Путем учета потенциалов переднего корешка L_3 получено достоверное ($P < 0,01$) снижение рефлекторной возбудимости полисинаптического, флексорного реф-

лекса. Суммационная константа уменьшилась на 52,3% при оптимальной частоте (60 Гц) стимуляции заднего корешка.

Третья серия экспериментов на собаках была произведена в целях выяснения, в какой степени отразится действие применяемых ЭМП на процессы суммации возбуждения в нервных клетках коры больших полушарий головного мозга. У трех собак из четырех на 18–22 сочетании звонка с электрическим раздражением кожи правой задней лапы образовался условный рефлекс. На мигание электролампы оборонительно-двигательный условный рефлекс возник на 30–38 сочетании. В связи с подкреплением слабым током безусловно-рефлекторная реакция была незначительной, а возникший условный рефлекс был еще меньшей амплитуды. Реакция четвертого животного на условные сигналы – звонок и свет – была неодинаковой от опыта к опыту. В этом случае нервная система животного, по-видимому, была слабой. Комбинированное применение звонка и света у первых 3 собак вызывало рост амплитуды рефлекса и биоэлектрического потенциала икроножной мышцы по сравнению с эффектом от каждого условного сигнала порознь. Четвертое животное на такую комбинацию сигналов реагировало уменьшением эффекта, сонливостью – гипноидным состоянием.

В дальнейшем комбинированное действие условных сигналов производилось на фоне действия ЭМП низкой частоты (8 Гц) при напряженности 0,8 и 2,5 В/м. Установлено, что у первых трех собак за 15–30 мин облучения ЭМП наступило значительное увеличение оборонительно-двигательного рефлекса. У четвертой собаки эти процедуры привели к уменьшению рефлексов как на звонок и свет отдельно, так и на их комбинированное действие. Приведенные факты свидетельствуют о том, что в коре больших полушарий собак проявление действия ЭМП может быть разнонаправленным.

Таким образом, действие ЭМП на организм интактных кроликов и собак, а также оперированных кошек способствует изменению интенсивности процесса суммации возбуждений в нервных клетках головного и спинного мозга. Однако, несмотря на достоверные изменения у животных порогов оптимальных ритмов и суммационной константы Лапика, нельзя утверждать, что сдвиги процессов суммации происходят только по этой причине. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения наличия или отсутствия явлений трансформации ритмов возбуждений в нервных клетках ЦНС. До сих пор недостаточно ясно, на какие звенья нейронов действуют ЭМП? Проявляется ли их активация или торможение через синаптические системы или жидкие среды мозга, тканей и органов?

Предполагается [11], что механизм суммации возбуждений в нервных центрах состоит в деполяризации постсинаптической мембраны под влиянием медиатора, выделяемого нервными окончаниями. Однако с точки зрения классической теории синаптического возбуждения объяснить действие ЭМП на нервные клетки не представляется возможным, несмотря на то, что эффект взаимодействия ЭМП с биоэлектрическими процессами в мозговой ткани допускается [12]. Данные [12] могут быть использованы для разработ-

ки механизма усиления суммационной способности нервных клеток под действием ЭМП малой напряженности низких и инфракрасных частот и развития в них торможения от ЭМП большой мощности. Однако следует считаться с тем, что эффект действия ЭМП низкой частоты и малой напряженности зависит от времени экспозиции, что связано с развитием двухфазных изменений возбудимости в нейронах ЦНС.

Литература

I. Волынский А.М. Влияние гальванизации головного мозга на безусловные и условные рефлексы у животных: Автореф. дис. ... д-ра мед.наук. Симферополь, 1965. 35 с.

2. Русинов В.С. Доминанта: электрофиол. исслед. М.: Медицина, 1969. 231 с.

3. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, с.126-150.

4. Ачкасова Ю.Н., Владимирский Б.М., Смирнов А.И. О влиянии магнитного поля с частотой в диапазоне КПК Рс1 на микроорганизмы. - В кн.: Матер. Всесоюз. симпоз. М.: Наука, 1971, с.97-100.

5. Темурьянц Н.А. Влияние МП сверхнизкой частоты и малой напряженности на лейкоциты периферической крови. - Там же, с.43-45.

6. Чегодарь А.Я. К анализу влияние электромагнитного поля низкой частоты и различной напряженности на сердечно-сосудистую систему в условиях длительной экспозиции. - В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, т.53, с.18-22. (Тр. Крым. мед. ин-та).

7. Макеев В.Б., Вальвовская Л.С. Информационное значение слабых электромагнитных полей инфранизкочастотного диапазона. - В кн.: Матер. Всесоюз. науч.-техн. симпоз. М.: Наука, 1975, т.1, с.319-320.

8. Сеченов И.М. Рефлексы головного мозга. Физиология нервной системы. - Избр.тр. М.: Медгиз, 1952, вып.1, с.143-211.

9. Петропавловский В.П. К методике условнодвигательных рефлексов. - Физиол.журн., 1934, т.17, № 2, с.217-226.

10. Lapique L. Beitrag zur Analyse der summarisch Konstant. - Ann. Physiol., Bd.1, 1925, s.132-138.

11. Экклс Дж. Физиология синапсов. М.: Мир, 1966. 395 с.

12. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. - Физиология человека, 1975, т.1, № 1, с.59-73.

2.7. Сенсорные реакции человека при воздействии магнитным полем

На вопрос, может ли человек ощущать постоянное МП, большинство современных исследователей отвечает отрицательно [1-3]. Между тем, ранее отмечалось (ом., например, [4]), что магнитные поля, действуя на кожу человека, могут вызывать ощущения покалывания, дуновения, тяжести, тепла, появления "мурашек" и т.п. Переменные МП могут ощущаться человеком: при действии на голову достаточно интенсивным МП (свыше 20 мТл) в интервале частот 10-100 Гц возникает ощущение световой вспышки [5,6]. Имеются отдельные сообщения о восприятии МП человеком в виде вкусовых ощущений [7] или чувства закладывания носа [8]. Мнение о преобладании субсенсорных путей воздействия МП на человека [9], связанные с общей недооценкой психофизики [10], остается господствующим, хотя сообщение [11] не согласуется с этим мнением.

Задача настоящей работы состоит в исследовании зависимости сенсорной индикации человеком МП от параметров внешнего поля - локализации, экспозиции, направления, индукции и частоты. Источниками МП, как правило, служили соленоиды разных размеров, которые надевали на руку, ногу или голову испытуемого человека, сидевшего в кресле в затемненной звукоизолированной камере. Время воздействия МП - не более 60 с. Интервалы между пробами варьировались от 40 до 100 с. За опыт одному испытуемому давали 6-10 проб, так что длительность опыта обычно не превышала 20 мин. В один день на одном испытуемом проводили 1-4 опыта.

Для создания импульсных МП питание соленоидов осуществляли от выпрямителя ВС-26 через электронный ключ, управляемый электростимулятором ЭСУ-1, который формировал прямоугольные импульсы заданной длительности и частоты.

Кроме того, использовали аппарат лечебный импульсного магнитного поля "Алимп" [12]. Применялся набор из 10 соленоидов, разделенных зазором в 3 см. Каждый соленоид имел диаметр 11 см и толщину 0,5 см. Предплечье правой руки испытуемого помещалось в набор соленоидов, которые могли включаться одновременно, создавая импульсное МП (ИМП) широкой локализации, или последовательно, создавая бегущее ИМП. Включение одного соленоида из набора приводило к генерации ИМП узкой локализации. Измерение напряженности МП производили тесламетром, созданным на основе эффекта Холла.

При возникновении ощущения испытуемый нажимал кнопку (что регистрировалось на чернилопишущем устройстве) и тем самым выключал источник МП. Экспериментатор отмечал время отсчета испытуемого с возникновением у него ощущения, независимо от того, совпадал этот отсчет с временем воздействия МП (реакция) или возникал в интервалах между воздействиями - ложные тревоги (ЛТ).

При обработке результатов по критерию Стьюдента для альтернативной изменчивости оценивали достоверность разницы между числом ответов при действии МП и числом ЛТ, возникающих в отсутствие МП. Поскольку испы-

туемый реагировал не на каждое воздействие МП, вероятность появления реакции оценивалась степенью "прочности" реакции, т.е. процентным отношением числа реакций к числу воздействий. Кроме того, определяли средний латентный период реакции на различные МП у разных испытуемых, а также динамику распределения латентных периодов.

В опыте принимали участие II практически здоровых испытуемых (6 женщин и 5 мужчин в возрасте 20–40 лет, 3 экспериментатора также входили в число испытуемых). Число опытов с каждым испытуемым изменялось в широких пределах (от I0 до 43), поэтому анализ результатов экспериментов производился по данным, полученным на одном испытуемом, а иногда – на группе испытуемых. В последнем случае индивидуальные особенности не учитывались. Все испытуемые знали цель экспериментов и знакомились с результатами протокольной записи сразу после окончания опыта.

Ниже излагаются результаты отдельных серий экспериментов, посвященных выяснению роли разных биотропных параметров МП.

I. Локализация воздействия. В опытах на трех испытуемых исследовали роль раздельных зон локализации воздействия неоднородным постоянным МП индукцией I0,0 мТл. В одной серии исследований воздействовали в случайном порядке на правую руку или на левую ногу испытуемого в одном и том же опыте. В другой серии опытов воздействовали на правую руку или на голову МП той же индукции. Выяснялось, сможет ли испытуемый определить одновременно время и локализацию воздействия. Результаты экспериментов на одном испытуемом показали, что по степени прочности ($68\pm3\%$ – рука, $61\pm4\%$ – нога) и по среднему латентному периоду ($23,4\pm3,5$ с – рука, $24,7\pm1,2$ с – нога) реакции на МП при воздействии на руку и на ногу не раэличаются. В то же время реакции при воздействии на голову возникали реже ($43\pm2\%$) и позже (через $33,9\pm4,6$ с), что достоверно отличало их от реакций при действии на конечности. Число неправильных реакций (например, при действии импульсного МП на голову испытуемый локализовал ощущение в руке) при воздействии МП на руку или на ногу были примерно одинаковыми, а при воздействии на голову их число увеличивалось вдвое. В то же время число ЛТ, локализованных в области головы, было много меньше, чем в области руки или ноги. Таким образом, воздействие МП на голову менее эффективно (речь идет только об использованном в эксперименте показателе!), чем воздействие того же раздражителя на руку или ногу.

В опытах с использованием бегущего ИМП исследовалась зависимость сенсорного эффекта от площади воздействия на руку. Увеличение площади воздействия МП приводит к увеличению биологического эффекта. Импульсное МП I0 Гц, 0,5 мТл узкой локализации не вызывало сенсорной реакции, а импульсное МП широкой локализации испытуемыми ощущалось. Установлено, что эффект действия МП не зависит от места его приложения к кожной поверхности, но увеличивается с увеличением площади воздействия. Это предположение не учитывает возможность локального воздейст-

вия МП на точки акупунктуры, что используется при изучении терапевтического действия МП [13].

2. Экспозиция. В предварительной серии исследований варьировали длительность воздействия МП до 3 мин, но большинство реакций возникало на протяжении первой минуты воздействия. Средние величины латентных периодов заключены в интервале 20-30 с. Это обстоятельство, а также стремление сравнивать результаты с данными, полученными на животных (а им часто давали минутное воздействие МП!), привели нас к выводу ограничить длительность воздействия 60 с.

3. Вектор. При действии различных направлений МП 20,0 мТл: горизонтального (3 испытуемых; 81 воздействие), и вертикального (3 испытуемых; 82 воздействия), получили в первой серии опытов средние значения прочности 68±4% и латентный период реакции 30,0±6,4 с, во второй - 62±3% и 32,3±7,6 с соответственно. Сравнение приведенных цифр показывает, что разница между ними несущественна. Следовательно, в данном эксперименте роль вектора МП для возникновения сенсорной реакции незначительна.

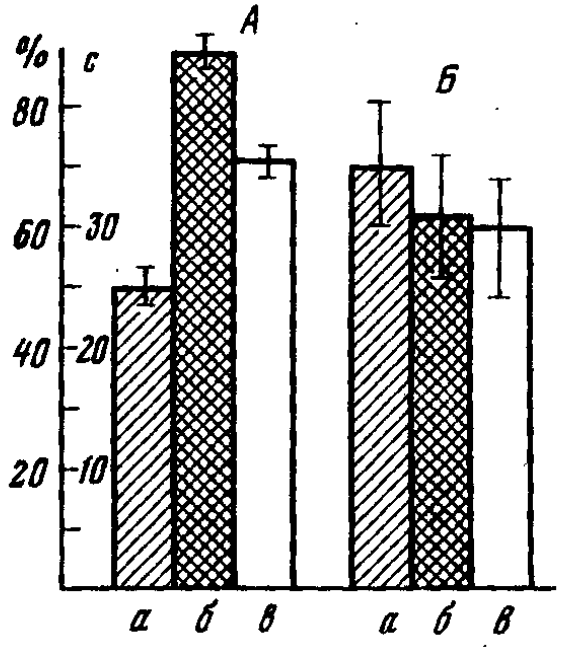
4. Индукция. Пороговое значение индукции для возникновения сенсорной реакции была определена для МП, ИМП, бегущего ИМП. В опытах с МП (горизонтальный вектор) использовали индукции 3,0; 8,0 и 20,0 мТл. Как видно из рис.15, прочность реакции на МП 3,0 мТл у одного испытуемого - около 50%, у другого - 33%. Подсчеты показали, что реакция недостоверна, хотя на обоих испытуемых было оказано 81 воздействие. Между тем, даваемое в тех же опытах в случайном порядке МП индукцией 8,0 мТл (всего 61 воздействие) вызвало реакцию прочностью 83% у первого и 63% у второго испытуемого. Увеличение индукции более чем в 2 раза не привело к увеличению, а даже несколько снизило (до 68%) прочность реакции на МП (рис.15). В другой серии опытов на правую руку того же испытуемого воздействовали вертикальным МП индукцией 25,0; 45,0 и 90,0 мТл. Прочность сенсорной реакции была соответственно 77, 79 и 87%. Иными словами, увеличение индукции МП на порядок не изменяет прочности сенсорной реакции, если индукция уже превысила пороговый уровень. Значение среднего латентного периода имеет тенденцию к недостоверному уменьшению при увеличении индукции МП (так как не увеличивается величина прочности реакции).

Итак, по степени прочности и по распределению латентных периодов сенсорных реакций пороговая индукция МП располагается между 3,0 и 8,0 мТл. По-видимому, этот показатель определяется индивидуальными особенностями испытуемых.

5. Частота. Если МП индукцией 3,0 мТл подавать на тот же соленоид в импульсном режиме с частотой 10 Гц, длительностью прямоугольного импульса 90 мс и воздействовать на тех же трех испытуемых, на которых воздействовали постоянным МП, то наблюдается четкая реакция. Так, у первого испытуемого ИМП вызывало реакцию прочностью 90%, а МП - 50%, у

второго - соответственно 50 и 30%. Следовательно ИМП одной и той же индукции биологически более эффективно, чем постоянное МП.

Использование ИМП индукцией 0,5 мТл показало отсутствие сенсорной реакции у трех испытуемых (прочность реакции 34 и 29%). Статистическая обработка свидетельствовала об отсутствии достоверных различий между числом ответов при действии ИМП и числом ЛТ. Увеличение индукции ИМП до 20,0 мТл не изменило параметров сенсорной реакции в сравнении с ИМП



Р и с. I5. Средняя прочность (А) и средний латентный период (Б) сенсорных реакций при действии на руку постоянным магнитным полем 3 мТл (а), 8 мТл (б) и 20 мТл (в)

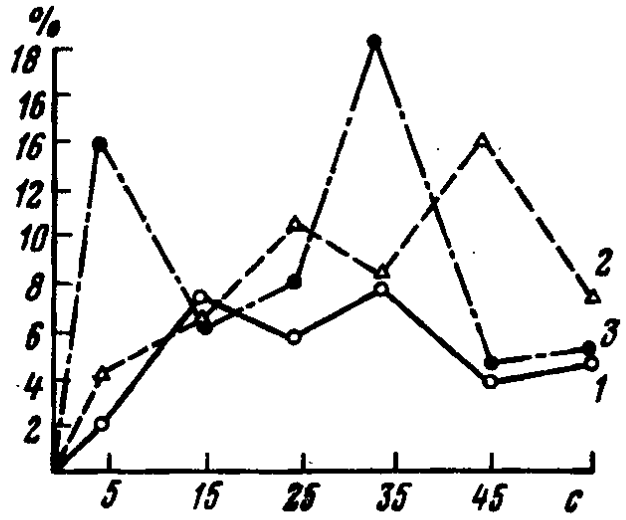
По оси ординат - прочность реакции (%) и время (с)

3,0 мТл. Отсюда следует, что сравнение биологических эффектов разных МП желательно проводить при использовании припороговых индукций МП.

6. Вариации биотропных параметров. В этих сериях экспериментов принимали участие 7 испытуемых. Используя генератор ИМП в качестве источника тока, мы создавали ИМП индукцией 0,5 мТл с помощью одного соленоида или сразу десяти. В третьем варианте создавали бегущее импульсное поле той же индукции. МП узкой локализации не вызывало достоверной реакции (прочность ответа составляла 37%), МП широкой локализации вызывало реакцию в 63% с большим средним латентным периодом, равным 30±6 с, а бегущее импульсное МП вызывало реакцию в 93% случаев. Следовательно, вариации локализации воздействия импульсным МП значительно увеличивают биологическую эффективность МП. Этот вывод подтверждается и данными распределения латентных периодов сенсорных реакций трех испытуемых (рис.I6). Двугорбая кривая напоминает результаты, полученные при использовании ПМП значительной индукции. Возможно, такая форма распределения латентных периодов сенсорных реакций свидетельствует о повышенной биологической эффективности.

Комплекс данных, изложенных в настоящей работе, надежно свидетельствует о возможности сенсорной индикации МП практически любым человеком. В контрольной серии опытов показано, что МП, создаваемое постоянным магнитом, вызывает такую же сенсорную реакцию, как и МП, создаваемое соленоидом. Этим исключается возможное действие слабого на-

гревания соленоида.Поскольку исследуемое МП имеет частоту 10 Гц [14], а наилучшее восприятие вибраций наблюдается при 125Гц [15],то биологическое действие вибрации исключается. Несмотря на то, что сенсорная реакция на МП носит статистический характер,применение современных методов математической обработки выявляет у испытуемых способность определять локализацию магнитного воздействия во времени и в пространстве. Увеличение физиологической силы раздражителя приводи-



Р и с. 16. Распределение латентных периодов τ сенсорных реакций у трех испытуемых при действии на руку импульсным магнитным полем 0,5 мТл узкой локализации (1), широкой локализации (2) или переменной локализации (3)

ло к уменьшению латентного периода [16], что наблюдалось, например, при переходе от МП широкой локализации к бегущему МП. Наиболее важный вывод гласит, что сенсорная реакция на МП носит пороговый характер, причем для постоянного МП нижний порог располагается около 8,0 мТл, для импульсного - около 3,0 мТл, а для бегущего импульсного МП - ниже 0,5 мТл. Сходные цифры получены в [9] и [17] для импульсного МП в экспериментах на животных. Увеличение числа варьируемых биотропных параметров МП может усилить их биологический эффект [18,19 и другие].

Дальнейшие исследования сенсорных реакций человека при действии ЭМП могут развиваться по теоретическому, прикладному и техническому направлениям.

Теоретическая сторона проблемы заключается в том, что кроме привычной быстрой системы начального сенсорного реагирования, включающейся через доли секунды после начала действия раздражителя (свет, звук и т.п.), у человека имеется медленная система начального реагирования. Такая система запускается ЭМП, в частности СВЧ диапазона и МП. Система медленного начального реагирования обнаружена и у кроликов при исследовании ЭЭГ-реакций на различные ЭМП [17]. Следовательно она свойственна по крайней мере ЦНС позвоночных, а, возможно, и другим менее совершенным в эволюционном плане организмам беспозвоночных животных.

Из прикладных направлений на первый план выступает индивидуальная характеристика нервной системы человека по ее чувствительнос-

ти к МП. Предварительные исследования показали, что большинство испытуемых реагирует на МП 10–50 мТл со средним латентным периодом около 30 с, но у некоторых людей сенсорная реакция возникает в среднем через 10 с. Последняя группа для успешного лечения требует меньшее число магнитотерапевтических процедур; вместе с тем она менее приспособлена для выполнения производственных операций в условиях повышенного МП.

Техническое направление исследований связано с созданием более эффективной магнитотерапевтической аппаратуры.

Литература

1. Плеханов Г.Ф. Дестабилизация неравновесных процессов как основа общего механизма биологического действия магнитных полей. – В кн: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с.59-80.
2. Вялов А.М. Клинико-гигиенические и экспериментальные данные о действии МП в условиях производства. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, 1971, с.165-177.
3. Кикут Р.П. Использование магнитобиологических эффектов в лечении артериальных аневризм сосудов головного мозга: Дис. ... д-ра мед. наук. Рига: Мед.ин-т, 1977.
4. Дюрвиль Г. Лечение болезней магнитами. Киев, 1913. 74 с.
5. Соловьев А.Н. К вопросу о механизме биологического действия импульсного магнитного поля. – Докл. АН СССР, 1963, т.149, № 2, с.438-442.
6. Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных и магнитных полей на центральную нервную систему. М.: Наука, 1966. 237 с.
7. Акето О., Силвер П., Тобайс Д. Биологическое действие МП. – Зарубеж. радиоэлектрон., 1972, № 3, с.176-182.
8. Kolin A., Brill N.A., Briberg P.J. Stimulation of irritable tissue by means of an alternating magnetic field. – Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 1959, vol.102, No.1, p.251-255.
9. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 206 с.
10. Бардин К.В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: Наука, 1976. 291с.
11. Холодов Ю.А. Электрофизиологические, поведенческие и перцептивные показатели реакции центральной нервной системы на магнитные поля. – В кн: УП Всесоюзн.конф. по электрофизиологии ЦНС. Каунас, 1976, с.305.
12. Берлин Ю.В. Устройство для возбуждения скользящего МП. – В кн.: Новости мед.техники, 1974, вып.1, с.123-126.
13. Hsu M. Fong Ch. The biomagnetic effect. Its application in acupuncture theory.–Amer. J. Acupuncture, vol.6, No.4, p.289-296.

I4.Гусева Н.Н. Вибрация и нервная система. М.: Медицина, I976. I68 с.
I5.Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, I979. I68 с.
I6.Фресс П., Пиаже Ж. Экспериментальная психология. М.: Прогресс, I966. 20I с.
I7.Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская Н.С., Максименко Н.В. Влияние импульсных электромагнитных полей низкой частоты на организм. Киев: Здоровье, I978. I32 с.
I8.Музалевская Н.И. Физиологические проявления действия магнитного поля малой напряженности в диапазоне сверхнизких частот: Дис. ... канд. биол. наук. Л.: ЛГУ им. Жданова, I978. 26 с.
I9.Майкельсон С.М. Радиоизлучения. Магнитные и электрические поля. - В кн.: Основы космической биологии и медицины. М.: Наука, I975, т.2, кн.2, с.9-40.

3. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА КРОВЬ

3.I. Некоторые электрические свойства крови и ее изменение под действием электромагнитных полей

Кровь - жидкая ткань, движущаяся в кровеносных сосудах и обеспечивающая межорганный обмен, является важнейшей составной частью внутренней среды организма. В настоящем разделе рассматривается электрохимический аспект физико-химической системы, которой является кровь, состоящая из двух взаимодействующих компонентов: плазмы и форменных (клеточных) элементов.

Плазма крови - сложная смесь органических и неорганических веществ, находится в динамическом равновесии с омывающей клетки тканевой и внутриклеточной жидкостями. Два ее главных компонента - вода (90-92%) и белки (7-8%). Небольшая концентрация в плазме глюкозы (0,I%) и солей (0,9%) поддерживается различными регуляторными механизмами приблизительно на постоянном уровне. Форменные элементы крови - эритроциты, лейкоциты и тромбоциты-взвешены в плазме. Эритроциты позвоночных животных содержат гемоглобин, переносящий кислород и углекислоту. У взрослого человека в I $мм^3$ крови содержится около 5 млн эритроцитов. Лейкоциты, которых известно 5 типов - лимфоциты, моноциты, нейтрофилы, эозинофилы и базофилы, выполняют в организме иммунно-защитную функцию. В I $мм^3$ крови их число колеблется от $5 \cdot I0^3$ до $I0^4$. Тромбоциты (кровяные пластинки) - фрагменты крупных клеток, находящиеся в костном мозге, играют важную роль в процессе свертывания крови.

Физико-химические свойства крови (окислительно-восстановительный потенциал, вязкость, осмотическое давление, pH, ионная сила и другие) меняются в узких пределах, так что характеристики крови можно считать стабильными. При значительных изменениях обмена веществ, вызванных внут-

ренними и внешними причинами, адаптационные возможности крови исчерпываются и ее физико-химические параметры могут заметно меняться. Это позволяет рассматривать кровь как одну из наиболее чувствительных сред организма, которая может служить индикатором изменения его состояния под действием внешних и внутренних факторов.

Соотношение ионов водорода (H^+) и гидроксилов (HO^-) в жидкой фазе плазмы определяет значение pH крови - основного электрохимического параметра этой среды. Нейтральное значение pH равно 7,0, при этом концентрации ионов H^+ и HO^- равны друг другу. В кислых растворах pH меньше 7,0, в щелочных - больше. Многочисленными измерениями установлено, что pH крови весьма стабильная величина и составляет в среднем 7,35, т.е. кровь является слабощелочной средой. Величина pH имеет большое физиологическое значение: сдвиг ее в сторону щелочности (алкалоз) или кислотности (ацидоз) вызывает ряд серьезных нарушений в организме. Изменение pH в кислую сторону увеличивает положительный заряд клеток и амфотерных полиионов (частички белка и другие), в щелочную - отрицательный. При определенных значениях pH суммарный заряд частиц становится нулевым, при котором их движение под действием электрического поля прекращается. Это значение pH называется изоэлектрической точкой. Изоэлектрическое состояние является одним из условий, при которых, в частности, происходит денатурация белков. Изоэлектрические значения pH разных амфотерных частиц неодинаковы, поэтому изменения pH могут быть регуляторным механизмом, меняющим функциональную активность, например белков и структур, содержащих протеины, посредством уменьшения или сведения к нулю их суммарного заряда.

Электрические свойства крови выражаются через поверхностный заряд и дзета-потенциал[I] клеток, диэлектрическую проницаемость и электропроводность форменных элементов крови и плазмы.

Форменные элементы крови обладают электрическим зарядом и магнитным моментом /2/. Значение электрического заряда рассчитывается по измеренным величинам электрофоретической подвижности[2] клеток (см. гл.III, п.4, т.2), которая определяется биохимической структурой клеток и свойствами окружающей ионной среды. Электрофоретическая подвижность (ЭФП) эритроцитов человека в физиологическом растворе при pH 7,4 составляет /3/ $0{,}596 \cdot 10^{-4}$ см^2/с·В, лейкоцитов - $0{,}37 \cdot 10^{-4}$. По данным работы /4/, плотность электрического заряда эритроцитов человека в том же растворе при pH 7,3 равна $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ К/см^2, а лейкоцитов - порядка $8 \cdot 10^{-7}$ /5/.

I Электрическим или дзета-потенциалом называется электрический потенциал поверхности, разделяющей неподвижную и подвижную части двойного слоя.

2 Электрофоретическая подвижность клеток - скорость их движения в жидкой среде под влиянием ЭП, напряженностью равной единице.

Основная часть отрицательных зарядов клеточной поверхности создается полисахаридными комплексами, в частности, карбоксильными группами сиаловых кислот /6-8/. У эритроцитов 62% общего отрицательного поверхностного заряда обусловлено нейраминовыми кислотами, у лимфоцитов - 45%, у полиморфноядерных лейкоцитов - 60%. Кроме сиаловых кислот на поверхности целого ряда клеток присутствует и небольшая часть РНК, которая образует анионные комплексы. Они обнаружены на поверхности ретикулоцитов, лимфоцитов и полиморфноядерных лейкоцитов человека /9,10/. Мембраны клеток могут содержать также положительные аминогруппы /9, 11,12/. На поверхности лимфоцитов человека присутствуют как амино-, так и тиогруппы /10/. Тромбоциты, кроме сиаловых кислот, которые определяют до 60% их отрицательного заряда /13/, имеют тиогруппы /14/, аминогруппы /15/, а также фосфатные группировки /16/.

Потенциал клетки в пределах примембранного слоя остается примерно постоянным, по мере удаления от мембраны убывает и в электролите падает до нуля. Численная оценка потенциала на границе "внешний примембранный слой - электролит" привела к значениям, близким к значениям дзета потенциала эритроцитов человека /17/. Детальное сравнение расчетных и экспериментальных данных показало /18/, что послойное распределение зарядов в гликопротеиновом слое можно определить из классической модели путем измерения ЭФП в зависимости от ионной силы раствора[I] . Именно так, изменяя величину ионной силы раствора при фиксированном значении pH, было получено распределение ионогенных групп по глубине примембранного слоя клетки /19/. Однако при интерпретации подобных результатов возникают трудности, связанные с возможностью конформационных изменений, сопровождающие сдвиги ионной силы раствора /20/.

Теоретически изучена /21/ зависимость ЭФП эритроцитов от ионной силы раствора. Информацию о толщине поверхностного слоя и электроосмотическом движении вдоль поверхности клеток можно получить экспериментально. Показано, что глубинные слои гликокаликса электрофоретически эффективны лишь при малой ионной силе. На основе электрофоретических и биохимических данных /22/ оценены потенциал на липидном бислое, потенциал на внешней стороне гликокаликса и его толщина. Рассчитаны величины ЭФП эритроцитов в зависимости от pH при различных ионных силах растворов. Во всей области изменения параметров результаты расчетов близки к экспериментальным данным. Возможное влияние транспорта ионов и молекул через клеточную поверхность на дзета-потенциал изучалось на модельных системах /23/ и живых клетках /24,25/. Исследования на бислойных липидных мембранах показали /23/, что при использовании разных растворов одинаковой ионной силы по обеим сторонам мембраны концентрируется разное число зарядов, что обусловливает трансмембранный потенциал,

---

[I] Ионная сила раствора равна полусумме концентраций ионов, умноженной на квадрат их валентности.

соизмеримый с электрохимическим потенциалом клеточной поверхности. На этой модели основан возможный механизм влияния распределения зарядов на поверхности клетки, на дзета-потенциал через изменение величины электрохимического потенциала клеточной поверхности относительно окружающей жидкости и перестройку двойного электрического слоя.

Экспериментальные исследования соотношения трансмембранного потенциала и поверхностного заряда клеток животных показали [25], что при действии на клетки крови, ткани и органы физиологически активных факторов - температуры, ионизирующей радиации, биологически активных веществ и других - характер изменения трансмембранного потенциала и заряда клеточной поверхности, как правило, одинаков.

Электрические явления движущихся клеток крови и субклеточных структур сопровождаются биомагнитными эффектами [26]. Поверхностные электрические заряды форменных элементов крови при их поступательном движении вызывают появление конвективных токов, что приводит к возникновению электродинамических и электромагнитных явлений. Электрические свойства крови не являются простой суммой характеристик ее компонентов. Например, электропроводность крови значительно меньше, чем плазмы или сыворотки, и в основном определяется концентрацией NaCl. Взвешенные элементы крови (клетки и частицы коллоидов) препятствуют прохождению электрического тока через кровь вследствие их малой проводимости.

Влияние ЭМП на электрические и другие свойства крови может осуществляться непосредственно через рецепторные структуры, что приводит к изменению физико-химических и других характеристик крови и ее компонентов, так и опосредованно через регуляторные системы организма (ЦНС, железы внутренней секреции и т.п.). ЭМП, в частности, вызывает изменение электролитного состава крови [28-31], повышается содержание ионизированного Ca^{2+} и уменьшается число легких ионов в плазме человека [32].

Электрические заряды эритроцитов имеют существенное значение в обменных процессах организма. Есть основания полагать, что уменьшение заряда на эритроцитах приводит к нарушению метаболизма. Электростатическое взаимодействие одноименно заряженных эритроцитов может играть важную роль в предотвращении образования эритроцитарных тромбов [26]. В сочетании с вибрацией, которая нарушает гелевую структуру коллоидных растворов и переводит их в состояние золя, переменное МП увеличивает скорость оседания эритроцитов (СОЭ) [33,34]. Осаждение эритроцитов в пробе крови происходит в результате взаимодействия гравитационных, гидродинамических, электрических и химических сил [26,33]. Следовательно, можно ожидать изменение СОЭ под действием ЭМП [34,35], а также увеличения вязкости крови вследствие ориентации компонентов плазмы [36,37]. СОЭ является одним из важных диагностических тестов, выявляющих патологические состояния организма [38]. Несмотря на то, что электрокинетические характеристики не оцениваются при массовых

клинических анализах крови, их косвенное влияние на СОЭ несомненно. Этот вывод подтверждается многими исследованиями [36,39,40].

В ряде экспериментальных исследований определялось влияние ЭМП различных параметров, а также постоянного МП на содержание форменных элементов крови [41-48].

Изменение состава белой крови при действии МП имеет тенденцию к увеличению числа лейкоцитов [41-44] (см. также п.2.I гл.I). По величине наблюдаемых сдвигов белой крови судят об адаптационных реакциях организма на влияние МП [42]. ЭП [43] вызывает также изменение лейкоцитарной формулы за счет уменьшения числа лейкоцитов у мышей [44]. Однородное ЭМП не вызывало изменения числа клеточных популяций крови [45]. Пульсирующая микроволновая радиация приводит к уменьшению числа лимфоцитов, при этом процентное содержание больших лимфоцитов возрастало [47]. Микроволны влияют на градиент концентрации и транспорт ионов через эритроцитарную мембрану человека [48-49]. Неоднородное МП и высокочастотное ЭМП влияют на дзета-потенциал эритроцитов [50-51].

Итак, кровь - электрохимическая система взаимодействующих компонентов - является важнейшей частью организма, подвергающейся действию внутренних и внешних факторов и влияющей на его физиологическое состояние. Электрические свойства живых систем связаны с наличием и перераспределением зарядов в организме, в частности с движением элементов крови, неоущих заряд и обладающих магнитным моментом. Перенос зарядов зависит от инерционных, гидродинамических и электрических сил, при этом большое значение в транспорте ионов через мембраны имеют электрические поля, как результат наличия высоких значений градиентов потенциала на клеточных мембранах. Ионогенные группы молекул структурированных белков, мукопротеидов, кислых полисахаридов и других веществ, образующих поверхность форменных элементов крови, а также обменные процессы, pH, ионная сила содержимого клеток и плазмы обусловливают величину трансмембранного потенциала, все эти физико-химические субстанции и процессы ответственны за влияние электромагнитных воздействий на биообъекты. Изменение электрохимических характеристик крови является сигналом для включения адаптационных механизмов к перестройке обмена веществ в органах и тканях. Следовательно, кровь является одной из наиболее лабильных систем, через изменение характеристик которой проявляется действие многих внешних и внутренних факторов на организм.

Литература

I. Вилли К., Детье В. Биология (биологические процессы и законы). М.: Мир, I974, 822 с.
2. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, I973, 93 с.
3. Bazin S., Robenaux R. Etude des variations de la charge electrique des leucocytes en function du pH du milien et de leur vitalite — C.R.Soc. Biol., 145,. 1954, p.41-48.

4. Heard D.H., Seaman G.V.F. The influence of pH and ionic strength on the electrokinetic stability of the man erythrocyte membrane.-J. Gen. Physiol., 1960, v.43, N3, p.635-654.
5. Buchenstroth-Bauer G. The normal and pathological haemocytogramm of man. Cell Electrophoresis/Ed. Ambrose E.I., London, 1965, p. 66--72.
6. Oncley J.L. Biophysical concepts of lipoprotein. - Biophysical mechais in vescular homfostasis and intervascular thrombosis, 1965, p. 231-238
7. Seaman G.V.F., Cook G.M.W. Modification of the electrophretic behaviou of the erythrocyte by chemical and enzymatic methods. -In: Cell electr phoresis/ Ed. E.J.Ambrose: Acad. press, 1965.
8. Vassar P.S., Hards J.M., Seaman G.V.E., Surface properties of human lymphocytes. - Biochim et Biophys. acta, 1973, vol. 291, N 1, p. 107-115.
9. Weiss L., The cell periphery. - Intern. Rev. Cytol., 1969, vol. 26, p. 63-105.
10. Mehrishi J.N. Surface molecular components of human lymphocytes. - Intern. Arch. Allergy and Appl. Immunol., 1972, vol. 42, p. 69.
11. Ward P.D., Ambrose E.I. Electrophoretic and chemical characterization of the chargel groups at the surface of murine Ci 3 ascites leukemia cells.- J.Cell Sci., 1969, vol. 4, № 2, p. 289-298.
12. Гофман Э.Г. Динамическая биохимия. М.: Медицина, 1971. 311 с.
13. Seaman G.V.F., Vassr P.S. Changes in the electrokinetic properties of platelets during their aggregation. - Arch. biochem. and biophys., 1966, vol. 117, № 1, p. 10-17.
14. Mehrishi J.N., Grassetti D.R. Sulphydril groups on the surface of intact Ehrilch ascites humours cells, human blood platelets and lymphosytes. - Brit.Emp.Cancer Cф. Ann.Rep., 1969, p. 47.
15. Mehrishi J.N. Possitively cherged amino groups on the surface of normal and cancer cells. - Europ. J. Cancer, 1970, vol. 6, p. 127-137.
16. Mehrishi J.N. Phophatil groups (reseptors) on the surface of human blood platelets. - Nature, 1970, № 226, p. 452-453.
17. Pastushenko V., Donath E. Potential distribution neer the cell coated width a changed glicoprotein layer. - Stud. biophys., 1976, Bd. 56, S. 2B10-202.
19. Haydon D.A., Seaman G.V.F. An estimation of the surface ioncgenic groups of the human erythrocyte and of E coli. - Proc. Roy. Soc, B, 1962, vol. 156, p. 533-549.
18. Pastushenko V., Donath E. On the electrophoretic mobility of cells coated width a charged glicoprotein layer. - Stud. biophys., 1976, Bd. 56, 2B4-B7.
20. Маркосян А.А., Лисовская И.Л., Маркосян Р.А. Электрокинетические характеристики и межклеточные взаимодействия форменных элементов крови. - Успехи физиол. наук, 1977, т.8, № I, с.9I-I08.

21. Donath E., Pastushenko V. Electrophretio Study and cell curface properties, theory and experimental applicability. - Bioelectrochem and Bioenerg., 1980, vol. 7, № 1, p. 31-40.
22. Dolovy K., Godlewski Z. Computation of the erythrocyte cell membrene parametrs from electrophoretical and biochemical data stermlike electrochemical mcdel of the cell membrane. - J.Theor.Biol., 1980, vol. 84, № 4, p. 709-723.
23. McQuarrie D.A., Mulas P.Asymmetric charge distributions in planar bilayer systems. - Biophys.J., 1977, vol. 17, № 2, p. 103-109.
24. Redmann K., Burmeister J. The ingluence of hypotermia on the transnumbrene potencial, zeta-potencial and metabelisme of polymorfonuclear deu Kccytes. - Acta biol.,et med. ger., 1974, vol. 33,p. 187-196.
25. Redmenn K. Experimental investigetions intc the reletionship of trensmembrene pctintial and surface charge of animal cells. - Stud. biophys., 1978, Bd. 74, S. 1-22.
26. Чижевский А.Л. Биофизические механизмы реакции оседания эритроцитов. Новосибирск; Наука, 1980. 180с.
27. Венгер Т.Р. О действии переменного магнитного поля на некоторые функции животных. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.51-54.
28. Лысина Г.Г., Пинес А.Г., Осинская Л.С. К механизму развития гемодинамических сдвигов при воздействии электромагнитных волн радиочастот. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1959, с.17-18.
29. Аристархов В.М., Пирузян Л.А., Маркузе И.И. Действие постоянного магнитного поля на распределение ионов натрия и калия в асцитной опухоли саркома-37. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Кирг. мед. ин-т, 1974, т.100, с.125-126.
30. Маркузе И.И., Пирузян Л.А., Аристархов В.М. Действие постоянного магнитного поля на развитие асцитной опухоли саркома-37. - Магнитное поле в медицине. Фрунзе: Кирг. мед. ин-т, 1974, т.100, с.111-112.
31. Вялов А.М., Духанова В.П. Характеристика некоторых биологических показателей крови при действии магнитных полей в экспериментально-лабораторных условиях. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.59-61.
32. Григорьева В.Х. Действие переменного магнитного поля в комплексе с вибрацией на некоторые показатели сердечно-сосудистой системы крови. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.68-70.
33. Senatra D., Rerag A., Glubilaro G. Biological effects cf low-level very low-freguency (VLF) electric fields of the blood sedementation rat. - Intern.J.Biometeorol., 1978, vol. 22, № 1, p. 59-66.

34. Султанов А.А., Саидов С.М. О влиянии электромагнитного поля на РОЭ крови. - В кн.: Материалы ХУ науч.конф.физиологов, биохимиков и фармакологов Юга РСФСР. Махачкала, 1965, с.297-298.
35. Беклемишев Н.Б. К анализу динамики изменения РОЭ в магнитном поле. - Материалы Всесоюз.симпоэ.: Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы. Баку, 1972, с.30-31.
36. Гак Е.В. К вопросу о первичных процессах действия магнитных полей на биологические объекты. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1966, с.18-19.
37. Добрынин А.У., Миронова Н.К. Магнитобиологическое (биофизическое) изучение РОЭ у больных туберкулезом в условиях санаторного лечения. - В кн.: Актуальные вопросы медицинской магнитобиологии. Саранск: Морд. гос. ун-т, 1977, с.20.
38. Варданян В.А. К вопросу о физической интерпретации влияния магнитного поля на реакцию оседания эритроцитов. - В кн.: Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Саратов, 1978, с.22-23.
39. Варданян В.А., Рапян Н.В., Джингоэян А.К. и др. К вопросу о елиянии магнитных полей на реакцию оседания эритроцитов. - Биол.журн. Армении, 1979, т.32, вып.8, с.782-785.
40. Гарканеев Г.П., Курлов О.В., Гольдберг Е.Р. Реакция системы крови на воздействие постоянных и переменных магнитных полей. - В кн.: Вопросы радиобиологии и гематологии. Томск, 1966, с.212-213.
41. Пирузян Л.А., Глезер,В.М., Дементьев В.А., Ломоносов В.А. Влияние постоянного магнитного поля на кровь. - Материалы Всесоюз.симпоз: Влияние искусственных магнитных полей на живые организмы. Баку, 1972, с.135-136.
42. Гаркави Л.Х., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Изменение состава белой крови как критерий адаптационных реакций организма при воздействии магнитными полями и другими неспецифическими агентами. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе, 1974, с.23-25.
43. Портнов Ф.Г., Израилет Л.И., Бриедис Ю.Э. и др. Некоторые показатели влияния на организм статических электрических полей в условиях эксперимента. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с.129-130.
44. Stramper H., Knapp E., Fischer G. Das Gesamtblutbild der Mans im 50-Hr-Feld bei unterschiedlichen Exponierungszeiten. - Bakteriol. Parasitenk., Infectionskranke. und Hyg. I, Abt.Orig.B.Zentr., 1979, Bd. 169, № 3/4, S. 374-380.
45. Bellosi A., Bresson I., Certaines J. Ruelques effects d'um champ magnetique uniforme sur le sang. - C.r.Soc.biol., 1971 (1972), vol. 165, № 6, p. 1503-1506.
46. Pardeva-Vajlupkovy J. Influence of pulsed microwave radiation on the lymphocytes. USWC/URSI spring meet. Wash., 1979. 477 p.

47. Olcerst R.B. A menlinear microwave radiation effects on the passive efflux of sodium and rubidium from rabbit erythrocytes. USNC/URSI spring. meet. Wash., D.C., 1979. 308 p.
48. Штеллер В.М. Изменение транспорта K^+ и Na^+ в эритроцитах человека под влияние микроволн радиочастот. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с.62-63.
49. Kinorita J., Kazuhiko, Low Tsong, Tian. Voltage-induced pore formation and haemolysis of human erythrocytes. - Biochem. et Biophys. acta, 1977, vol. 471, № 2, p. 227-242.
50. Белоконь А.Н., Травкин М.П., Попов М.П., Голикова Н.Ф. Влияние неоднородного магнитного поля на подвижность и дзет-потенциал эритроцитов крови. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М., 1969, с.13-14.
51. Исмаилов Э.Ш. О влиянии сверхчастотного электромагнитного облучения на электрофоретическую подвижность эритроцитов. - Биофизика, 1976, т.22, вып.33, с.493-498.

3.2. Действие электромагнитных полей на систему свертывания крови

Сердечно-сосудистая система обладает высокой чувствительностью к воздействиям электромагнитных полей. Многочисленными наблюдениями установлено, что в дни повышенной солнечной активности, сопровождающейся геотермальными возмущениями, значительно увеличивается число инфарктов миокарда, наблюдается более тяжелое их течение, возраотает летальноть, более чем в 3 раза повышается число заболеваний мозговым инсультом, учащаются кровотечения у больных туберкулезом, изменяются коагулологические и фибринолитические свойства крови /1-7/. Не только экологические, но и ЭМП в производственной практике также способны вызывать гемодинамические и тромбогеморрагические нарушения /8-9/.

В клинической практике гальванизация, электросон, электронаркоз, электрическая дефибрилляция сердца, электрошоковая терапия вызвают выраженные реакции со стороны свертывающей и фибринолитической способности крови /10-12/. Особую остроту эта проблема приобретает в связи с тем, что терапевтические воздействия направлены на организм пациента, реакции которого существенным образом нарушены и адаптационные возможности онижены. Неоднократно высказывалось мнение, что патологическое влияние электромагнитных полей проявляется сильнее у людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями /13/. Важную роль играют электрические свойства гетеротрансплантантов при протезировании дефектов сосудистой системы. Изучая тромборезистентность трансплантантов из пластических масс, исследователи отмечают важное значение поверхностного электрического заряда. Отрицательный заряд на внутренней поверхности угнета-

ет свертывание крови, в то время как положительный - стимулирует тромбирование протеза. Это дало основание предложить в качестве тромборезистентных материалов для трансплантации электреты, обладающие наведенным электричеоким полем /I4/.

За последнее время достаточно интенсивно разрабатывается тромбогенная теория атеросклероза, которая предполагает, что источником поражения сосудистой стенки является нарушение в системе овертывания крови /I5-I6/. Поскольку ЭМП оказывает выраженное воздействие на гемокоагуляцию, можно ожидать, что оно является одним из достаточно важных этиологических факторов, способствующих развитию атеросклеротических поражений. Коовенным подтверждением такого вывода служит рост заболеваний атеросклерозом по мере "эагрязнения" биосферы алектромагнитными полями. Поэтому проблема исследования механизмов воздейотвия ЭМП и предотвращения патологических реакций в организме человека становится не только локальной проблемой биолсгии, медицины, гигиены, биофизики, но и приобретает весьма актуальную социальную значимость.

Свертывание крови представляет собой последовательность сопряженных реакций ферментативной и физико-химической природы. По современным представлениям гемокоагуляцию можно разделить на три этапа: I) образование протромбиназы; 2) активацию этим ферментом протромбина и переход последнего в каталитически активную форму - тромбин; 3) трансформацию растворимого плазменного белка фибриногена в нерастворимый фибриновый гель, в котором заключены клетки крови. В этом процессе принимают участие плазменные факторы, форменные алементы крови, коагулологические соединения стенок сосудов сердца и других тканей /I7/. В дальнейшем фибриновые сгустки могут растворяться в сосудистом русле плазмином, который образуется из профермента - плазминогена - также в результате комплекса биохимических реакций. Активаторы этого процесса содержатся в форменных элементах крови, сосудистой стенке и других тканях.

За последние годы накопилось достаточное число фактов, свидетельствующих о том, что гемокоагуляция стимулируется не только при повреждении сосудистого эндотелия, но и при изменении функционального соотоя - ния организма. Было установлено /I8-I9/, что сосудистая стенка способна выделять вещества, ускоряющие свертывание крови и фибринолиз, при самых различных физиологических и патологических воздействиях. Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные и клинические наблюдения не оставляют сомнений в биологической эффективности ЭМП и его способ - ности изменять коагулологический и фибринолитический потенциал крови. Однако эти данные во многом противоречивы, часто касаются реакций отдельных компонентов гемостаза, не позволяя создать целостное представление о динамике системы свертывания крови, практически отсутствуют убедительно обоснованные модели механизмов действия физических факторов на рассматриваемую физиологическую систему. Окончательное решение вопроса о механизмах действия ЭМП возможно только на базе комплексно-

го анализа реакций отдельных звеньев системы гомеостаза как в условиях целого организма, так и в опытах in vitro.

В нашей лаборатории на протяжении длительного времени исследуются реакции системы свертывания крови и ее отдельных компонентов на различные электромагнитные воздействия. Эксперименты выполнены на 500 собаках, 250 крысах, 200 мышах и образцах крови, полученных у 500 человек. Для оценки состояния системы свертывания крови использовался комплекс лабораторных методов, позволяющих изучить свойства плазменных прокоагулянтов и фибринолитических агентов, агрегацию клеток крови, реакцию освобождения факторов гемокоагуляции из форменных элементов крови и сосудистой стенки, применялась световая и электронная микроскопия. В качестве физического воздействия использовался постоянный электрический ток (10-1000мкА), переменный электрический ток (20-$2 \cdot 10^4$ Гц, 0,1-2 мА/см^2) , переменное ЭП (0,5-30 В/см; 50-$2 \cdot 10^4$ Гц), постоянное магнитное (0,02-0,03 Тл) и электрическое (200-400 В/см) поля, высокочастотное (40 МГц; 0,8 В/см) и СВЧ ЭМП (12,6 см; 0,08-5 мВт/см^2).

Постоянный электрический ток in vitro сокращает время рекальцификации, удлиняет тромбиновое время и способствует уменьшению концентрации фибриногена в плазме собак, бедной тромбоцитами. Следует отметить, что в этих опытах на аноде регистрируется отложение фибрина, пропорциональное силе действующего тока. Анализ коагулологических свойств плазмы позволяет сделать вывод, что в области катода уменьшается активность ряда плазменных факторов [20, 21]. По-видимому, эти сдвиги обусловлены в основном электролитическими феноменами, поскольку в подобных опытах используют металлические электроды. Высказывается мнение, что в этом процессе нельзя исключить и реакций ферментативной природы [22, 23].

Постоянный электрический ток в наших опытах способствовал агрегации кровяных пластинок при достаточно низкой амплитуде, приближающейся к величине тока, который генерируется в организме демаркационным потенциалом, возникающим при травматизации тканей. Установлено [24], что гепарин угнетает, а тромбин, адреналин, АДФ, холинхлорат, фибриноген ускоряет склеивание тромбоцитов.

Как известно, стабильность форменных элементов в кровотоке обеспечивается поверхностным электрическим зарядом. Отрицательный заряд образует атмосферу из противоионов и препятствует сближению клеток на расстояния, достаточные для образования межповерхностных химических связей. Постоянное ЭП, поляризуя ионную атмосферу, должно уменьшать силу отталкивания между клетками крови, способствуя их агрегации. Однако нельзя исключить и действия другого механизма стимулирующего эффекта. По-видимому, постоянный электрический ток увеличивает проницаемость тромбоцитарной мембраны по отношению к эндогенным индукторам агрегации (АДФ, адреналину, серотонину, тромбоксану А). Освобождение этих соединений из кровяных пластинок также будет активировать процесс оклеивания клеток. Аналогичным действием обладают используемые химические индукторы

агрегации. Возможно, этим обстоятельством объясняется синергическое действие электрического тока и фармакологических агентов на процесс склеивания тромбоцитов. Молекула гепарина в растворе имеет значительный отрицательный заряд, обусловленный диссоциацией сульфатных групп. Осаждение ее на поверхность тромбоцитов должно увеличивать электрокинетический заряд, препятствуя тем самым агрегации.

При микроскопическом исследовании установлено, что постоянный электрический ток вызывает склеивание форменных элементов крови и эмболизацию сосудистого русла у лягушек. Как и в предыдущих опытах адреналин, холинхлорат и АДФ укоряли, а гепарин тормозил этот процесс.

Предварительное воздействие постоянным электрическим током (10–40 мкА) на верхнюю конечность человека достоверно уменьшает время кровотечения, что свидетельствует об активации микроциркуляторного гемостаза. Наибольшей эффективностью в этом случае обладает положительный электрод. Очевидно, в основе стимулирующего эффекта лежит способность тока изменять физико-химические свойства клеток и выделять из них вещества, ускоряющие агрегацию. Однако в этом процессе большое значение имеет освобождение коагулологически активных соединений из сосудистой стенки. Так, было показано, что постоянный электрический ток, проходящий через сосудистую стенку, способствует выделению из нее факторов свертывания крови, при этом анод в большей степени стимулирует выброс прокоагулянтов, а катод – веществ, угнетающих свертывание крови [25]. Несомненно, из сосудистой стенки могут выделяться также индукторы агрегации.

Гемостатическое действие постоянного электрического тока в настоящее время находит применение в клинической практике. Так, анод используется для гемостаза при оперативных вмешательствах на паренхиматозных органах [26], для тромбирования аневризм [27], остановки кровотечений из варикозно расширенных вен пищевода [28]. Отрицательный электрод предлагается использовать для угнетения свертывания крови в тех случаях, когда имеется опасность тромбообразования [29–31].

ЭМП и МП угнетают свертывающую способность крови. В этом случае наиболее сильно подавляются тромбопластическая и фибриназная активности. Подобные сдвиги выявляются при действии физическим фактором как на кровь, так и на бестромбоцитную плазму. Однако в последнем случае ингибирующий эффект выражен в большей степени.

Существенный интерес представляет способность ЭМП воздействовать на фибринолиз. Удалось установить, что лизирующая способность крови снижается во всем исследованном диапазоне частот за исключением 1000 и 2000 Гц, где выявляется достоверное сокращение времени растворения сгустков. Стимулирующий эффект ЭМП регистрируется в области 1,5–3 В/см, в то время как при малых напряженностях эффект исчезает, а при больших интенсивностях поля наблюдается угнетение фибринолиза.

НЧ и СВЧ ЭМП ускоряют агрегацию кровяных пластинок, причем активируется в основном вторая фаза процесса, связанная с освобождением из

тромбоцитов эндогенных индукторов агрегации. Реакция сопровождается снижением электрокинетического потенциала и выделением из кровяных пластинок факторов 3,4 и соединений, угнетающих фибринолиз. Электронно-микроскопическое исследование таких тромбоцитов выявляет изменение их морфологии, особенно α-гранул, плотность которых после опыта уменьшается. Поскольку эти органеллы аккумулируют фактор 3, следует заключить, что ЭМП способствует выделению данного прокоагулянта в окружающую среду. ЭМП уменьшает электрокинетический заряд эритроцитов при воздействии как на организм, так и на экстрагированную кровь, снижает их гемолитическую резистентность и освобождает вещества, ускоряющие свертывание крови. В отдельных случаях из эритроцитов выделяются вещества с антигепариновой активностью и ингибиторы фибринолиза.

Результаты исследования реакций форменных элементов позволяют сделать вывод, что электромагнитные воздействия способствуют выделению факторов, ускоряющих гемокоагуляцию, уменьшают электрический заряд клеток и тем самым стимулируют агрегацию форменных элементов крови. При помощи кондуктометрического метода удалось выявить стимулирующее действие ЭМП на агрегацию клеток непосредственно в кровотоке экспериментальных животных. Все эти данные свидетельствуют о том, что биологические эффекты ЭМП на клеточном уровне реализуются в первую очередь за счет изменения свойств клеточных мембран.

Возникает вопрос о реакции системы свертывания крови при воздействии физического фактора на целостный организм. В проведенных опытах было показано, что переменный электрический ток при однократном воздействии подавляет свертывающую и фибринолитичеокую способность крови за исключением частоты 1000 Гц, на которой наблюдается ускоренный фибринолиз в крови человека, собаки и крысы. У человека стимуляция фибринолиза достигается подпороговым значением физического раздражителя, что имеет большое практическое значение. Детальный анализ явления при помощи фибриновых пластин показал, что физический фактор в большей степени подавляет ингибиторы фибринолиза (антиплазмин) по сравнению с активаторами. Поэтому обнаруженный феномен можно объяснить нарушением баланса факторов, принимающих участие в лизисе сгустка, в пользу активаторов данного процесса.

При действии переменного электрического тока на изолированную в гуморальном отношении сосудистую стенку собаки появляются факторы, ускоряющие овертывание крови и стимулирующие фибринолиз [32]. Следует ожидать, что подобный эффект является основой терапевтического применения электростимуляции мышц для активации фибринолиза у пациентов в послеоперационном периоде для профилактики тромбоза [33].

У крыс, находившихся в статическом ЭП в течение 10 дней, наблюдается резкое ускорение свертывания крови. В некоторых экспериментах не удавалось получить кровь, поскольку она коагулировала даже в присутствии антиксагулянта. Аналогичные результаты были получены в работе [33],

где показано, что статичеоксе ЭП (10-50 кВ/м) через 24 ч ускоряет первую, вторую и начало третьей фазы свертывания крови.

Поскольку в процессе свертывания крови принимают участие не только плазменные факторы, но и коагулологические соединения сосудистой стенки и других тканей, важно выяснить, как изменяется активность тканевых соединений при воздействии ЭМП. После облучения мышей ЭМП СВЧ (80-120 мкВт/см^2, 15 мин) у них извлекали головной мозг, сердце, печень, икроножную мышцу и гстсвили из тканей экстракты в физиологическом растворе. В дальнейшем исследовали влияние этих гомогенатов на свертывающую и фибринолитическую активнооть плазмы собак, бедной тромбоцитами.

Результаты проведенных опытов доказывают, что однократное воздействие физическим фактором вызывает значительную стимуляцию коагулологической активности экстрактов. Одновременно резко возрастает способность экстрактов ускорять растворение фибриновых сгустков и увеличивается активность антигепаринового фактора. Облучение животных в течение 3 дней сопровождается угнетением коагулологической спссобности тканей. Фибринолитичеокая активность также уменьшается, однако остается более высокой, чем в контроле.

Изменение свертывающей способности тканей, пздвергнутых облучению ЭМП, стимулировало исследования взаимосвязи этих сдвигов с динамикой показателей гемокоагуляции. Воздействие ЭМП СВЧ на свертывающую способность сердца и аорты крыс изучали в сопоставлении с показателями крови. После однократного облучения ЭМП СВЧ тромбопластическая активность в тканях возрастает, а в крови угнетается. Соответотвующим образом изменяется лизирующая способность субстратов. Увеличение длительности экспериментов до 5 дней еще больше стимулирует свертывающую активность кроли и тканей крыс. Фибринолитичеокая способность тканей в этих опытах достигает максимальной выраженности. Растворяющая активность крови угнетается еще больше, чем при однократном воздействии. Следует обратить внимание на значительное нарастание антитромбиновых свойств как аорты, так и миокарда. После облучения крыс в течение 15 дней отмечается новая вслна коагулологической динамики. В крови животных, как и в тканях, выявляется стойкая гипокоагуляция, нарастает антитрсмбиновнй эффект и резко угнетается фибринолиз. Результат анализа электрической активности при этом свидетельствует о значительном снижении вольтажа зубцов электрокардиограммы и выраженной брадикардии.

Исследование гемокоагуляционных свойств крови и тканей крыс, помещенных в НЧ ЭМП, показало аналогичные фазные изменения. Сразу после начала воздействия наблюдается уменьшение свертывающей активности крови и стимуляция тканевых соединений. Следует отметить ускорение фибринолиза в крови после экспериментального воздействия. На третий день опытсв регистрируется гиперкоагулемия с одновременным угнетением тканевых факторов свертывания крови. Увеличение длительности опытного облучения

до 20 дней приводит к подавлению свертывающей и фибринолитической активности как тканей, так и крови.

Результаты исследования реакций системы свертывания крови на целостном организме показывают, что коагулолгическая динамика является следствием изменения не только плазменных факторов, но и выделения тканевых соединений в кровоток.

Коллоидное состояние плазмы контролируется комплексом ферментных систем, из которых определяющее значение имеют энзимы, участвующие в первой фазе гемокоагуляции. В образовании коагулологически активных комплексов важную роль играют гидрофобно-гидрофильные взаимодействия, обеспечивающие конформационную сопряженность факторов свертывания крови [34].

В ЭМП свертывающая способность плазмы угнетаетоя. Очевидно, физический агент нарушает пространственную структуру как проотетических группировок ферментов, так и макромолекулярных матриц, на которых образуются активные комплексы. Доказательством подобного вывода могут служить эксперименты [35, 36], в которых выявлены физико-химические изменения биополимеров крови в ЭМП (изменение спектра поглощения, электрофоретических свойств и т.д.). Кроме того, в ЭМП изменяются физические свойства электролитов в результате образования аквакомплексов [37]. Наиболее важное значение при этом имеют гексааквакомплексы кальция, стабилизированные в полостях додекаэдрической структуры. Иммобилизация кальция, необходимого практически для всех фаз свертывания крови, должна приводить к гипокоагуляции [38]. Следотвием подобных эффектов будет подавление тромбопластической активности, что и выявляется в экспериментах. По-видимому, аналогичные механизмы лежат в основе изменения фибринолитических свойств крови.

Наблюдающееся увеличение тромбопластической активности в тканях обусловлено, по-видимому, структурными повреждениями клеточных мембран, что подтверждается экспериментами по изучению изменения свойотв форменных элементов крови, подвергнутых воздействию ЭМП. У "облученных" клеток уменьшается электрофоретическая подвижность, изменяются агрегационные свойства, повышается прницаемость по отношению к свертывающим факторам, изменяется транспорт электрогенных ионов K^+ и Na^+ [39].

Структурной основой клеточных мембран олужат фосфолипиды (фосфатидилэтаноламин, фосфатидилсерин, фосфатидилхолин и др.), обладающие мощным тромбопластическим действием, поэтому освобождение их из мембран будет повышать свертывающую способность тканей. Поступление этих соединений в кровоток, по крайней мере из оосудиотого эндотелия и эндокарда, приведет к активации свертывающей способности крови. Продолжительное воздействие ЭМП может вызвать истощение тканевых запасов прокоагулянтов, а также инактивацию их в кровотоке и тканях. В этом случае свертывающая способность крови и тканей должна уменьшаться, что и подтверждается экспериментальными данными.

С позиции рассмотренных представлений получает убедительное объяснение фазность тромбогеморрагических осложнений при геомагнитных возмущениях. Так, статистический анализ показывает, что наибольшее число инфарктов миокарда развивается в первые 24–48 ч от начала магнитной бури /40/. Очевидно, что в этот период существенным образом должна активироваться свертывающая система крови и угнетаться фибринолиз. В дальнейшем в зависимости от интенсивности геомагнитных возмущений может наступить снижение тромбопластической активности, нарастание концентрации антитромбинов с последующим кровотечением. Действительно, как показывают клинические наблюдения, наиболее часто кровотечения развиваются на 3–4-е сутки от момента развития магнитной бури /5/. Подобная фазность тромбогеморрагических проявлений обусловлена различной чувствительностью системы свертывания крови и временным сдвигом, необходимым для развития соответствующих физиологических реакций. Результирующий эффект определяется совокупностью изменений плазменных факторов, форменных элементов крови и тканей. При этом существенную роль играют нарушения клеточных мембран, которые, по-видимому, определяют интегративную реакцию системы свертывания крови. Важное значение для результирующего эффекта имеют интенсивность и длительность действия ЭМП, а также физиологическое состояние компонентов системы свертывания крови. Выраженность тромбогеморрагических реакций достигает максимального значения у пациентов, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями: активной формой ревматизма, атеросклерозом, гипертонической болезнью и др. В зависимости от этих факторов может измениться длительность отдельных фаз коагулологической динамики и степень их выраженности.

Выше были рассмотрены первичные механизмы действия ЭМП на компоненты системы гомеостаза. Однако не следует забывать, что гемокоагуляционный потенциал постоянно регулируется нейрогуморальным путем в пределах, отвечающих функциональному состоянию организма. Поскольку ЦНС обладает максимальной чувствительностью к воздействию ЭМП /41/, следует ожидать, что изменение свертывающей способности крови обусловлено не только первичными механизмами, но и реакциями центральных регулятсрных систем. Действительно, облучение низкочастотными ЭМП рефлексогенных зон (каротидного синуса, дуги аорты) сопровождается закономерной стимуляцией свертывания крови /42/. Кроме того, нарушение электромагнитного режима будет обеспечивать стрессовую реакцию и должно активировать симпато-адреналовую систему. Увеличение катехоламинов в крови при этом, с одной стороны, будет стимулировать свертывающую способность крови, а с другой – способствовать агрегации форменных элементов крови, провоцируя тромбоэмболизацию. В любом случае реакции системы свертывания крови на воздействие электромагнитных полей представляет сложный мультипараметрический процесс, в котором принимают участие все компоненты рассматриваемой системы.

Литература

I. Подшибякин А.К., Зосимович И.Д., Шахова В.И. и др. Геомагнитные возмущения и заболеваемость инфарктом миокарда. – Геофизика и астрономия. Информ. бюл., 1975, № 14, с. 191–195.

2. Рывкин Б.А., Рывкина Ф.З. К вопросу о влиянии внешних физических факторов на течение и исход инфаркта миокарда. – В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 277.

3. Гневышев М.Н., Новикова К.Ф., Оль А.И., Токарева Н.В. Скоропостижная омерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. – В кн.: Воздействие солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 179–187.

4. Алабовский Ю.И., Бабенко А.Н. Смертность от сосудистых заболеваний головного мозга в годы с различным уровнем солнечной активности. – В кн.: Воздействие солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 189–190.

5. Петраник Е.И., Наврощкий В.В., Ажицкий Ю.А. и др. Частота легочных кровохарканий и кровотечений в период прохождения атмосферных фронтов и изменения магнитного поля Земли. – В кн.: Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, 1973, с. 71–73.

6. Рождеотвенская Е.Д., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на фибринолитическую систему крови. – Клин. медицина, 1969, т. 47, № 7, с. 65–70.

7. Балуда В.П. Условия регуляции и нормализации гемостаза. – В кн.: Актуальные проблема гемостазиологии. М.: Наука, 1979, с. 14–26.

8. Douri P., Boisselier B., Bernard I.G. Effect pathologiques sur l'homme des rayonnements électromagnétiques U.H.F. Des aériens radars. A-propos d'une observation.–Sem.hôp.Paris, 1970, vol.46.№ 42, p.2681–2683.

9. Richardson A.W. Blood coagulation changes due to electromagnetic microwave irradiations. – Blood, 1959, vol. 14, № 11, p. 1237–1243.

10. Малолетина Л.А. Влияние гальванического тока на некоторые показатели гемостаза у кроликов. – В кн.: Актуальные вопросы невропатологии и нейрохирургии. Минск: Наука и техника, 1975, вып. 8, с. 202–209.

11. Левицкая Л.А., Кондратьева Н.И. Изменение свертывающей системы крови собак при электронаркозе, вызванном различными видами тока. – В кн.: Электросон, электроанестезия (электронаркоз). М., 1966, с. 56–58.

12. Нечаев Э.А., Сомова Т.В. Влияние электричеокой дефибрилляции сердца на свертывающую систему крови. – Кровообращение, 1973, т. 6, № 4, с. 61–62.

13. Рождественская Е.Д., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на систему свертывания крови и частоту гемсррагических ссложнений. – В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 275–276.

14. Murphy P., Holly F., van Someren L. et al. Антитромбогенные свойст-

ва электризованных полимеров. – В кн.: Полимеры в медицине. М.: Мир, 1969, с. 152-167.
15. Чазов Е.И. Взаимоотношение атеросклероза и тромбоза. – В кн.: Матер. конф. по пробл. свертывания крови. Баку, 1966, с. 309-310.
16. Born G.V.R. Atherosclerosis and thrombosis. – Giorn.ital.cardiol., 1974, vol. 4, № 2, p. 230-236.
17. Кузник Б.И., Скипетров В.П. Форменные элементы крови, сосудистая стенка, гемостаз и тромбоз. М.: Медицина, 1974. 307 с.
18. Кузник Б.И. О роли форменных элементов крови и тканевых факторов сосудистой стенки в процессе гемостаза: Дис . ... д-ра мед. наук. Чита: Мед. ин-т, 1964.
19. Кузник Б.И., Мищенко В.П., Русяев В.Ф. О выделении факторов свертывания крови из сосудистой стенки при инъекции адреналина. – Cor et Vasa, 1969, т. II, № 2, с. 146-153.
20. Агеева Н.М. Активация агентов противосвертывающей системы в плазме. – В кн.: Матер. конф. по пробл. свертывания крови. Баку, 1966, с. 9.
21. Naumovski A., Dejanov J. The influence of constant electric current on the coagulation of blood. – Acta med. jugosl., 1964, vol. 18, № 1, p. 67-74.
22. Русяев В.Ф. К механизму действия постоянного электрического тока на процесс свертывания крови. – В кн.: Матер. 2-й науч. конф. межобл. о-ва патофизиологов Восточной Сибири и Дальнего Востока. Благовещенск, 1975, с. 73-74.
23. Duic L., Stinivasan S., Sawyer P.N. Electrochemical behaviour of blood cafgulation factors. – J.Electrochem. Soc., 1973, vol. 120, № 3, p. 348-353.
24. Setna S.S., Rosental R.L. Effect of physical and chemical agents on platelet morphology in Relation to coagulation. – Acta Haematol., 1958, vol. 19, № 4/5, p. 222-230.
25. Русяев В.Ф. Связь электрической поляризации сосудистой стенки с выходом факторов свертывания крови в общий кровоток. – В кн.: Теоретические и клинические вопросы проблемы свертывания крови. Саратов, 1968, с. 147-152.
26. Sawyer P.N., Dennis C., Wesolwski S.A. Electrical hemostasis in uncotrollable bleeding states. – Ann. Surg., 1961, vol. 154, № 4, p. 556-562.
27. Mullan S., Raimondi A.J., Dobben G., Vailati G., Hekmatpanch J. Electricaly induced thrombosis in intravascular aneurysms. – J.Neurosurg., 1965, vol. 22, № 6, p. 539-547.
28. Sawyer P.N., Wesolwski S.A. Development a tube for electrical thrombosis of esophageal varices. – Surg. Forum., 1962, № 13, p. 328-330.
29. Schwartz S.I. Prevention and production of thrombosis by alterations in electric enviropment. – Surg., Gynecol and Obstetr., 1959, vol. 108, № 5, p. 533-536.

30. Русяев В.Ф. Кондуктометрический метод исследования агрегации форменных элементов крови. – Мед. техника, 1976, № 1, с. 10–14.
31. Русяев В.Ф. Выброс факторов свертывания крови из сосудистой стенки при раздражении ее переменным электрическим током. – В кн.: Теоретические и клиничеокие аспекты процессов незаболевания, заболевания и выздоровления. Иркутск: Мед. ин-т, 1973, с. 93–94.
32. Brose N.L., Negus D. Prevention of postoperative leg vein thrombosis by electricas musele stimulation. An eyaluation with ^{125}J-labelled fibrinogen. – Brit.Med., 1970, vol. 3, № 5723, p. 615–618.
33. Медведев Б.М., Дядечко М.И. Влияние электризации полимерных материалов на свертывающую систему крови. – В кн.: Проблемы клинической биофизики. Влияние на организм статических электрических полей, аэроионов и электроаэрозолей. Рига, 1972, с. 63–66.
34. Vromen L. A resemblance between the clotting of blocd plasma and the breakdown of cytoplasma. – Nature, 1965, vol. 205, № 4970, p. 496–497.
35. Bellossi A., Fauran F. Effect d'un champ magnétique uniforme sur le sevum et le plasma. Etude spectrophotométrique. – C.r. Soc.Biol., 1973, vol. 166, № 6/7, p. 980–983.
36. Малышев В.М., Колесник Ф.А. Электромагнитные волны сверхвысокой частоты и их воздействие на человека. Л.: Медицина, Ленингр. отд-ние, 1968. 87 с.
37. Кисловский Л.Д. О метастабильных структурах в водных растворах. – Докл. АН СССР, 1967, т. 175, № 6, с. 1277–1299.
38. Кисловский Л.Д. О возможном молекулярном механизме влияния солнечной активности на процессы в биосфере. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.:Наука, 1971, с. 147–164
39. Штемлер В.М. Исследования авторегуляции ионного транспорта в эритроцитах при воздействии микроволн. – В кн.: IУ Всесоюз. конф. по бионике. М.; 1973, т. 3, с. 87–92.
40. Новикова К.Ф., Токарева Н.В., Гневышев М.Н., Оль А.И. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. – В кн.: Адаптация организма при физических воздействиях. Вильнюс, 1969, с. 242–244.
41. Холодов Ю.А., Шишло М.А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии. М.: Наука, 1979. 168 с.
42. Боенко И.Д.,Влияние ЭМП звукового и радиочастотного диапазона на транспорт газов и на процессы свертывания крови. – В кн.: Кровь и электромагнитные колебания низкой частоты. Воронеж, 1974 (Тр. Воронеж. мед. ин-та) т. 89, с. 69–87.

4. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МЕТАБОЛИЗМ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ

4.I. Особенности обмена веществ и его регуляции при воздействии электромагнитных полей

Эпоха научно-технической революции и урбанизация связаны с возрастающими масштабами применения ЭМП во многих отраслях промышленности и народного хозяйства. В результате на рабочих местах некоторых производств и исследовательских лабораторий МП может достигать 50-90 мТл с возможным увеличением в несколько раз [1]. Путем обследования лиц, подвергавшихся действию МП в производственных условиях, установлены признаки нарушения у них обмена веществ, функций нервной, сердечно-сосудистой, эндокринной и других систем [2]. Следовательно, МП может сказывать существенное влияние на человека, если напряженность антропогенных полей значительно выше природных МП, к которым человек адаптирован в процессе эволюции. Однако рассматривать действие МП на человека и животных только как повреждающего фактора было бы неправильным, поскольку, изменяя характеристики поля и его экспозицию, можно получить различные, подчас диаметрально противоположные, эффекты [3]. Поэтому в последние годы все более широко и не без успеха используют МП в медицине для лечения ряда заболеваний.

Исследования на клеточном уровне свидетельствуют о высокой чувствительности к действию МП мембранных механизмов транспорта ионов, особенно калия, кальция, железа и др. [4-6]. Можно предполагать, что под влиянием МП меняется мембранный потенциал, о чем свидетельствует существенное изменение активности АТФаз, а также состояние дисульфидно-тиолового обмена [5-7]. Следовательно, на МП реагируют наиболее лабильные системы - химические и энергетические процессы, электрохимические реакции транспорта ионов, локализованные в мембранах. Эти реакции четко прослеживаются на органном и организменном уровнях. Так, при исследовании тканей мозга отмечено изменение электрической активности через секунды и доли секунд после воздействия МП. Меняются и некоторые химические свойства (способность к окрашиванию) астроцитов, но уже при более продолжительном сроке, исчисляемом минутами. Особенно чувствителен к действию МП гипоталамус [8].

При изучении влияния на метаболизм мозга низкочастотных слабых МП, сравнимых по напряженности с ГМП, установлено изменение конформации и свойств белков ткани мозга, дестабилизация липопротеидной основы клеточных мембран, изменение активности ферментов энергетического обмена, особенно АТФаз. Отмечается более четко выраженное снижение активности этих ферментов в опытах на животных по сравнению с данными на изолированных тканях [7]. Следовательно, действие МП на уровне организма обусловлено прямым или опосредованным воздействием на физико-химические процессы и регуляторные системы обмена веществ, в результате которого

изменяется окорость синтеза и распада биосубстратов в различных поли - ферментных системах. Эти прсцессы происходят как в ЦНС, так и в других системах. Однако мозг и оссбенно гипоталамо-гипофизарная область весьма чувствительны к действию МП, по-видимсму, вследствие чрезвычайной лабильности физикс-химических процессов в ее клетках, а также вследствие высокого положения их в иерархической лестнице регуляции, широкого комплекса прямых и сбратных связей. Поэтому стимуляция дея - тельности гипоталамо-гипофизарной сбласти тотчас же вызывает цепную реакцию активации ряда эндокринных органов-мишеней, а затем и многочисленных разветвленных метаболических процессов. Важнсе зиачение имеют и парагипофизарные пути регуляции.

О ведущей роли высших нейро-эндокринных центров в формировании от - ветной реакции на действие МП свидетельствуют данные об активации ги - пофиза, выбросе тропных гормснов, стимулирующих функции надпочечников, щитовидной железы, семенников /9/. При воздействии переменного МП 20 мТл, 50 Гц уже через 5-8 мин в крови возрастает уровень II-оксикортикостероидов, достигая значительных величин через I5-30 мин. Удаление гипофиза снимает этот эффект /I0/. Влияние МП проявляется, однако, не только при воздействии на весь организм, но и (в более ослабленном виде) на любую его часть.

Особенности эндокринного профиля дают основание предполагать, что под действием МП имеет место системная реакция желез внутренней секреции, в которой детерминирующим фактсром является активация гипоталамо-гипофизарнсй системы, вызванной раздражителем - магнитным полем. Повидимсму, эти реакции еще не очень хорошс сбалансированы и целенаправлены, однако они выполняют основную физиологическую функцию - повышают резистентность организма и характерны для "аварийной стадии" общего адаптационного синдрома Селье.

При увеличении срока непрерывной экспозиции до 6-24 ч активность всех звеньев гипофизарно-надпочечниковой системы остается повышенной, существенно увеличивается содержание в крови тироксина /II/, тестостерона /I2/, изменяются показатели функции симпатоадреналсвой системы /I3/. Известнс, что катехоламины гипоталамуса играют триггерную роль в регуляции адренокортикальной функции гипофиза, активация ее при стрессе характеризуется снижением уровня норадреналина в указанной области. Поэтому обнаруженное уменьшение норадреналина в гипоталамусе при действии МП /I3/ можно рассматривать как показатель его активной реакции на действие физического фактора.

Следовательно, МП и при продолжительной непрерывной экспозиции оказывает существенно активирующее влияние на функциональное состояние гипоталамо-гипофизарной системы. Подтверждает этот вывод отсутствие изменений уровня II-оксикортикостерсидов в крови при действии МП на гипофизэктомированных животных, а также предупреждение реакции симпатоадреналовой системы на воздействие МП при введении фенобарбитала, бло-

кирующего передачу импульсов от ретикулярной формации на кору мозга /13,14/. Под влиянием МП происходит накопление ацетилхолинсподобных веществ, угнетение ацетилхолинэстеразы /15/, повышение уровня серотонина в мышечной ткани /16/.

При воздействии МП промышленной частоты 20 мТл активируются процессы метаболизма, направленные на обеспечение энергетического гомеостаза органов, при этом мобилизуется гликоген, липиды, активируется глико - лиз, несколько снижается активность ряда ферментов цикла трикарбоновых кислот. При исследовании митохондрий отмечено повышение проницаемости мембран, ослабление энергетической регуляции дыхания и развитие низкоэнергетического сдвига.

Объяснением некоторых особенностей метаболизма в период продолжительного воздействия МП является высокая активность эндокринных желез, регулируемых тропными гормонами. В то же время существенной чертой гормонального профиля является снижение уровня свободного, биологически активного инсулина /17/, что свидетельствует о появлении признаков относительной инсулярной недостаточности.

Важным компонентом генеза биологической реакции на магнитное поле является наличие тканевой гипоксии, причиной которой являются расст - ройство гемо- и лимфодинамики с явлениями стаза /18/, повышение проницаемости сосудистых стенок и мембран, изменение свойств гемоглобина и эритроцитов /19,20/.

Следовательно, при непрерывном продолжительном (6–24 ч) воздействии МП 20 мТл 50 Гц отмечается существенная активация процессов метаболизма, в регуляции которых определяющую роль играет повышенная функция гипоталамо-гипофизарной системы, активация желез, регулируемых тропными гормонами. В результате формируется новый уровень физиологической координации процессов обмена, направленных прежде всего на стабилизацию энергетического обеспечения мозга, сердца, семенников и других органов. Однако данные морфологических и биохимических исследований свидетельствуют о том, что этот новый уровень обменных процесоов не обеспечивает гомеостаз, поскольку в семенниках отмечается существенное нарушение сперматогенеза /21/, в миокарде видны очаговые нарушения структуры кардиомиоцитов и другие аномалии.

Поскольку определяющим фактором в формировании адаптивной реакции на воздействие МП является стимуляция центральных нейросерреторных механизмов, то уже через несколько часов после выключения поля исчезают признаки стимуляции эндокринных желез, еще больше снижается уровень свободного инсулина, в то же время прогрессируют изменения метаболизма, наблюдаемые в период воздействия МП, нарастают морфологические изменения в тканях. Меняется соотношение путей окисления глюкозы за счет снижения интенсивности аэробного и активации гликолитического пути, энергетически менее эффективного. Определенное значение в механизме компенсации имеет переключение дыхания на окисление сукцината. Однако

нарушения метаболизма не выходят за рамки функциональных сдвигов, так как опыты с введением стимуляторов эндокринных желез - АКТГ и хориогонадотропного гормона свидетельствуют о сохранении функциональных резервов, хотя и менее выраженных, чем у интактных животных. Следовательно, для периода репарации после многочасового непрерывного воздействия МП средней напряженности промышленной частоты характерно снижение активности эндокринных желез, регуляторами которых являются тропные гормоны гипофиза, прогрессирование структурных нарушений. Складывается впечатление, что ведущую роль в формировании адаптивной реакции в этот период играют не центральные, а тканевые механизмы, в основе которых лежит изменение функционального состояния митохондрий. Эти особенности обмена можно рассматривать как защитно-компенсаторные, поскольку они способствуют дальнейшей активации метаболизма.

Значительный практический интерес представляют данные о влиянии на организм многократного и хронического воздействия МП 20 мТл промышленной частоты. В отличие от однократного воздействия поля тех же параметров, применение его в течение 5 дней по 6,5 ч в сутки приводит к снижению активности гипоталамо-гипофизарной системы и регулируемых ею эндокринных желез. Причиной может быть истощение функции центральных звеньев системы, а также ограничение гормоногенеза в эндокринных железах. Об этом свидетельствуют данные о снижении уровня АКТГ в гипофизе, отсутствие выраженной реакции на введение стимуляторов - АКТГ и хориогонадотропного гормона.

Снижение функционального уровня эндокринной системы, в том числе инсулярного аппарата (уменьшение содержания в плазме крови не только свободного, но и иммунореактивного, и общего инсулина), в значительной степени определяет состояние процессов метаболизма. Отмечается существенное угнетение активности ферментов тканевого дыхания (включая сукцинатдегидрогеназу), активация аварийных гликолитических процессов. Центральным звеном является нарушение функции митохондрий - значительное повышение протонной проницаемости мембран, ослабление энергетического контроля дыхания, глубокий низкоэнергетический сдвиг, активация АТФаз /12,21/. По сравнению с изменениями, вызванными однократным воздействием МП, отмечается не только нарастание сдвигов метаболизма, но и появление иных качественных соотношений за счет включения новых защитно-компенсаторных механизмов.

Однако складывается впечатление, что несмотря на мобилизацию защитных механизмов полноценной адаптации не наблюдается, поскольку уровень нормальной функции органов в полном объеме не восстанавливается. В значительной мере это относится к оценке деятельности семенников. Видимо, в данной ситуации, как и при гипоксии, угнетение функции тестикул и снижение в них уровня метаболизма является формой адаптации и спасения индивидуального организма ценой утраты способности к воспроизведению, а, следовательно, и значимости для биологического вида.

Период восстановления после многократного воздействия МП значительно отличается от аналогичного времени при однократном сеансе. Выключение поля уже не знаменуется резким переходом в состоянии нейроэндокринной системы, поскольку при многократном воздействии не отмечалось ее активации. Соответственно не выявляется значительной динамики в показателях метаболизма в течение длительного времени. Восстановление показателей констатируется только через 3 недели после прекращения действия магнитного поля.

Столь существенные и длительные изменения структуры и функции, имеющие много общих черт с так называемым синдромом капилляротрофической недостаточности, дают основание рассматривать их как состояние "предболезни", поскольку оно характеризуется истощением процессов управления и регуляции, падением уровня функционирования организма в целом. Дальнейшее увеличение продолжительности воздействия МП приводит к еще более выраженному повреждению органов и особенно семенников /22/. Следовательно, хроническое многомесячное воздействие МП приводит к таким изменениям в организме, которые могут расцениваться как патологические, т.е. развивается переход в нозологическую стадию процесса.

Таким образом, в формирование характера и интенсивности ответной реакции на воздействие МП на уровне организма включается прежде всего нейроэндокринная система, физико-химические реакции клеток которой, по-видимому, более лабильны, чем в других тканях, а физиологическая роль определяется их местом на высшем уровне регуляции. Активация нейроэндокринной системы запускает сложную цепь метаболических реакций, направленных прежде всего на сохранение энергетического гомеостаза организма. При длительном или интенсивном воздействии МП может быть истощение энергетических и регуляторных ресурсов. Дискоординации тонко сбалансированных процессов обмена способствуют нарастание тканевой гипоксии, изменение сосудисто-тканевой проницаемости, которые могут развиваться и вследствие прямого действия МП. Детерминирующую роль в механизме метаболических реакций играет повышение проницаемости митохондриальных мембран, нарушение активнооти дыхательных ферментов, ослабление энергетической регуляции процессов окислительного фосфорилирования. Дальнейшее развитие реакции характеризуется нарастанием морфологичеоких изменений и развитием патологического состояния, т.е. прослеживается развитие процесса по уровням: информация - энергия - структура.

Можно отметить несколько особенностей ответных реакций на МП. Причинами развития разнонаправленных отклонений от контрольного уровня при действии слабых МП (порядка 0,05 мТл) могут быть колебательные процессы структур, индивидуальные особенности оистемы, наложение внешних ЭМП или других физических факторов /19/. При морфологическом анализе тканей часто встречается мозаичность изменений: наряду с выраженными нарушениями структуры обнаруживаются практически неизменные участки. Можно предполагать, что реакция зависит от фазы клеточного цикла деления,

в которой они находятся в момент воздействия физического стимула, поскольку периоды митоза различаются по чувствительности к действию внешних факторов. Этот эффект не является прерогативой МП, он наблюдается при действии радиации и других факторов. Для МП характерна также обратимость вызванных им нарушений. Степень и продолжительность периода репарации зависит от характера и степени нарушений. При хронических воздействиях репарация затягивается на длительное время и может быть недостаточно полной.

При обобщении полученных данных о генезе сдвигов метаболизма и его регуляции под действием МП можно выделить несколько компонентов: 1) нейроэндокринные сдвиги; 2) изменение проницаемости мембран митохондрий, клеток, сосудов; 3) возникновение энергетического дефицита; 4) развитие тканевой гипоксии; 5) нарушение метаболизма и процессов биосинтеза.

Наличие многих компонентов свидетельствует о сложном полипатогенетическом характере реакции, поскольку каждый из перечисленных факторов полностью не объясняет особенности воздействия МП на биологические объекты. Каждый из них в той или иной степени включается в реакции, вызванные любым стрессором, свидетельствуя тем самым о неспецифическом характере. В то же время известно, что в зависимости от специфики действия раздражителя и от биологических особенностей организма его реакции могут быть различными по интенсивности проявлений, срокам их возникновения, отдаленным результатам и т.д. /23/.
случае МП эта специфичность проявляется прежде всего в первичных физико-химических реакциях, которые в дальнейшем включают общие адаптивные неспецифические механизмы. Однако в них можно уловить особенности, обусловленные характером стимула, его интенсивностью, продолжительностью, частотой. В этом плане действие МП имеет ряд отличительных черт, поскольку им свойственны высокая проницаемость, низкая энергия, отсутствие в организме специфических рецепторов для восприятия.

Низкая энергетическая значимость МП - причина разногласий между биологами и физиками в понимании механизма его действия на организм животного. Действительно, энергия МП недостаточна для разрушения пептидных, водородных и иных связей. Для изменения активности чистого фермента требуется поле порядка десятых долей Тл, слабо реагируют на МП изолированные митохондрии. К сожалению, физиками не учитывается, что в организме животного имеется созданная эволюцией специализированная регуляторная нейроэндокринная сиотема, которая может преобразовать ничтожный по энергии информационный сигнал в мощную цепную адаптивную метаболическую реакцию, когда казалось бы незначительные вмешательства могут привести к невероятным по масштабам, на первый взгляд, неадекватным последствиям /24/. Именно поэтому необходимо детальное изучение действия поля не только на электронно-молекулярном, клеточном, но главным образом на организменном уровне, поскольку, изменяя напряжен-

ность, частоту, продолжительность воздействия МП, можно вызвать активацию или угнетение процессов обмена веществ /9/, а длительные хронические воздействия могут привести к патологическим изменениям в организме. Это прежде всего относится к семенникам вследствие их высокой магниточувствительности.

Литература

I. Вялов А.М. Клинико-гигиенические и экспериментальные материалы к обоснованию предельно допустимого уровня магнитных полей в условиях производства. – В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М.: Наука, 1972, с. 7–14.
2. Рубин В.И., Мельникова Г.Я., Довбуш Э.Г., Денисова С.Г., Гарцуева В. Некоторые показатели энергетического и углеводного обменов у лиц, работающих в магнитных полях. – В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев, 1976, с. 117.
3. Гаркави Х.Л., Квакина Е.Б., Уколова М.А. Адаптационные реакции и резистентность организма. Ростов н/ Д : Изд-во Рост. ун-та, 1979. 126 с.
4. Богач П.Г., Давидковская Т.Л. Влияние постоянного магнитного поля на ионную проницаемость мембран клеток гладких мышц. – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 9–10.
5. Иванова С.Н. Некоторые биофизические аспекты механизма действия магнитных полей на структурные компоненты крови. – В кн.: Применение магнитных полей в медицине, биологии и сельском хозяйстве. Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1978, с. 33–37.
6. Жданова Н.Ф. Исследование системы медиаторных рецепторов в сердце и влияние на нее постоянного магнитного поля: Автореф. дис. ... канд. бисл. наук. М.: МОЛГМИ, 1976, 24 с.
7. Павлова Р.Н., Музалевская Н.И., Соколовский В.В. Некоторые биохимические аспекты дейотвия слабых низкочастотных магнитных полей. – В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 49–58.
8. Холодов Ю.А.Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 208 с.
9. Удинцев Н.А., Мороз В.В. О механизме реакции гипофизарно-надпочечниковой системы на стрессовое действие переменного магнитного поля. – Патол. физиология и эксперим. терапия, 1976, № 6, с. 72–74.
10. Меркулова Л.М. Морфо-гистохимические изменения в скелетных мышцах животных при действии импульсного электромагнитного поля: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Казань: Мед. ин-т, 1975. 16 с.
11. Колесова Н.И., Волошина Э.И., Удинцев Н.А. К патогенезу инсулиновой недостаточности при действии переменным магнитным полем промышленной частоты. – Патол. физиолсгия и эксперим. терапия, 1978, № 6, с. 71–73.

I2. Торопцев И.В. Морфологическая характеристика биологического действия магнитных полей. – Арх. патологии, I968, т. 30, № 3, с. 3–I2.
I3. Барсегян Л.Х. Исследование действия постоянного магнитного поля на физико-химические свойства гемоглобина, активность цитохром-С-оксидазы, концентрации свободных радикалов in vitro и in vivo: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т медико-биол. проблем, I974. I9 с.
I4. Щепетильникова А.И. Морфогистохимическая характеристика семенников при воздействии магнитными полями. – В кн.: Влияние магнитных полей на семенники. Томск: изд-во Том. ун-та, I980, с. 64–85.
I5. Бордюшков Ю.Н., Гашникова Л.И., Квакина Е.Б. Реакция эндокринной системы на воздействие низкочастотным переменным и постоянным магнитным полем. – В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М.: Наука, I972, с. 48–52.
I6. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитных полей на сердце. Томск: изд-вс Том. ун-та, I977. I24 с.
I7. Васильев Г.А., Медведев Ю.А., Хмельницкий О.К. Эндокринная система при кислородном голодании. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I974. I72 с.
I8. Казначеев В.П. Биосистема и адаптация. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, I973. I25 с.
I9. Удинцев Н.А., Мороз В.В. Реакция гипофизарно-надпочечниковой системы на действие переменного магнитного поля. – Бюл. эксперим. биологии и медицины, I974, т. 57, № 6, с. 5I–53.
20. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Максименко Н.В. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на организм. Киев: Здоровье, I978. I32 с.
2I. Удинцев Н.А., Хлынин С.М. Влияние магнитного поля на семенники. Томск: Изд-во Том. ун-та, I980, I26с.
22. Серебров В.Ю. Влияние переменного магнитного поля и антигена на функциональное состояние щитовидной железы и некоторые метаболические звенья, чувствительные к тиреоидным гормонам: Автореф. дис.... канд. мед. наук. Томск: Мед. ин-т, I980. 20 с.
23. Горизонтов П.Д. Гомеостаз. М.: Медицина, I976, 429 с.
24. Жданов Ю.А. Пусковая причинность. – Вопр. философии, I976, № 6, с. 87–92.

4.2. Действие электромагнитных полей различных частотных диапазонов на метаболизм и ферментные системы организма

К настоящему времени убедительно доказано, что ЭМП различных диапазонов обладают выраженным биологическим действием /I–3/. Несмотря на существование различных точек зрения относительно первичных физико-химических механизмов взаимодействия ЭМП с биообъектами, большинство исследователей единодушны в том, что ЭМП оказывает влияние прежде всего

на физико-химические процессы, а через них и на скорость биохимических реакций, а также на состояние регулирующих их систем. Именно нарушения этих процессов можно считать пусковыми, обусловливающими проявление биологических эффектов ЭМП на клеточном, органном и системном уровнях /4/.

Анализ имеющихся в литературе экспериментальных и клинических данных позволяет констатировать, что под влиянием ЭМП широкого диапазона частот в организме животных и человека возникают выраженные расстройства в сфере углеводного /2, 5-8/, энергетического /2, 7-II/, белкового /2, I2, I3/, азотистого /2, 5, 6, I2-I5/, липидного /2, I2, I6/, нуклеинового /2, 6, I7, I8/ и электролитного /2, I5/ обменов, а также в отдельных звеньях эндокринной системы регуляции метаболических процессов /2, 7, 8, I9/.

В некоторых работах предприняты попытки уточнить возможные биохимические механизмы влияния ЭМП на интенсивность окислительных процессов и их сопряжение с фосфорилированием /2, 9-II/. Получены убедительные данные /7,8/ о роли ферментных и эндокринных систем в возникновении расстройств углеводно-энергетического обмена в печени, сердце и семенниках при воздействии ЭМП ИНЧ (50 Гц). Корреляция между изменениями уровня нуклеиновых кислот и активностью их деполимераз в органах экспериментальных животных выявлена при облучении ЭМП СВЧ и ОВЧ /2, I7, I8/. Следует отметить, однако, что в подавляющем большинстве работ изучение состояния биохимических процессов проводилось не комплексно, что не позволяет установить причинно-следственные связи между изменяющимися метаболическими показателями, их зависимость от интенсивности и частоты ЭМП. Кроме того, экспериментальные исследования выполнены на раэличных видах животных, что затрудняет экстраполяцию данных с одного вида животных на другой, а тем более на организм человека.

В связи с изложенным нами проведены систематические исследования по изучению особенностей влияния ЭМП различных диапазонов на биохимичес - кие процеосы в организме. На белых крысах изучено влияние электричес - ких и магнитных составляющих ЭМП в диапазонах 48 МГц, 70 кГц, 7 кГц, а также магнитной составляющей с частотой 50 Гц в непрерывном (ЭМП) и импульсном (ИЭМП) режимах генерации.

Полученные данные свидетельствуют о многообразии нарушений обменных процессов, возникающих в организме под влиянием ЭМП исследованных па - раметров. Степень их выраженности, как это наиболее отчетливо установлено нами на примере магнитной составляющей, определяется частотой, режимом модуляции (непрерывный, импульсный), напряженностью и экспозицией воздействия (табл. 6.).

Остановимся на особенностях нарушений метаболизма, возникающих при действии на организм магнитной составляющей импульсного ЭМП частотой 7 кГц. Реэультаты исследований /20/ свидетельствуют о том, что общим для всех исследованных органов (головной мозг, печень, сердце, скелет-

Т а б л и ц а 6. Действующие и пороговые напряженности (А/м) переменных МП различных частот, оказывающие влияние на биохимические процессы в организме

Частота поля	Характер генерации	Действующие напряженности		Пороговые напряженности
		Многократное воздействие (I5–25 сеансов)	Хроническое воздействие (6 мес.)	Хроническое воздействие (6 мес.)
48 МГц	Непрерывный	I0	2	I
70 кГц	- " - " -	50	50	5
7 кГц	- " - " -	2400	750	75
7 кГц	Импульсный	72000	24000	2400
50 Гц	Непрерывный	32000	7500	75
50 Гц	Импульсный	7500	7500	750

ные мышцы) явилось разобщение процессов окисления с фосфорилированием, обусловленное влиянием ИЭМП на компоненты электронно-транспортной цепи митохондрий (снижение уровня восстановленного никотинамидадениндинуклеотида, угнетение активности цитохром-С-оксидазы); нарушение углеводного обмена, проявляющееся в снижении уровня гликогена с одновременным накоплением молочной и пировиноградной кислот; возникновение дефицита макроэргических соединений (аденозинтрифосфорная кислота, креатинфосфат). В азотистом метаболизме наиболее характерным явилось накопление аммиака в крови, печени, сердечной, скелетной мышцах и семенниках. Несмотря на однонаправленность изменений в уровне аммиака, биохимические механизмы, обусловившие эти изменения, различны. Так, в печени воздействие ИЭМП угнетало образование аммиака из адениловой кислоты, но ускоряло распад белков, нарушало процессы устранения аммиака в форме мочевины, но приводило к компенсаторному усилению связывания его в виде глютамина /2I/. В сердце /22/ и скелетных мышцах /23/ усиление образования аммиака происходило вследствие активации аденоэин- и аденилатдезаминазы в отсутствие соответотвующего усиления процессов, приводящих к его связыванию. В тканях мозга в зависимости от интенсивности действующего поля преобладало либо замедление (72 кА/м), либо интенсификация (24 кА/м) процессов аммиакообразования с сопутствующим замедлением связывания аммиака /24/. Различным было влияние напряженности ИЭМП и на обмен нуклеиновых кислот /25,26/. Так, если под действием поля напряженностью 72 кА/м происходило снижение содержания РНК и ДНК вследствие активации деполимераз нуклеиновых кислот в головном мозге, печени и семенниках, то под влиянием ИЭМП напряженностью 24 кА/м содержание РНК снижалось только в семенниках. Изменения же содержания ДНК носили фазный характер. Следовательно, в зависимости от параметров внешнего

поля и специфики обмена веществ в том или ином органе механизмы возникновения и развития нарушений обменных процессов различны.

Направленность изменений отдельных видов обмена веществ существенно зависит от частотной характеристики ЭМП и режима его модуляции. В частности, для всех исследованных диапазонов частот (48 МГц, 70 кГц, 7 кГц, 50 Гц) наблюдалось снижение интенсивности процессов анаэробного гликолиза. Импульсный режим генерации ЭМП 7 кГц и 50 Гц по сравнению с непрерывным приводил в большинстве случаев не к замедлению, а, напротив, к интенсификации процессов анаэробного гликолиза.

Следует отметить наличие зависимости характера биохимических изменений от составляющих поля. Действие электрической составляющей ЭМП частотой 70 и 7 кГц в основном сопровождается повышением содержания молочной кислоты и аммиака в тканях, что связано с нарушением окислительных превращений углеводов и снижением активности систем, устраняющих избыток ионов аммония. При облучении биообъекта магнитной составляющей ЭМП в том же диапазоне отмечалось снижение содержания глюкозы, аммиака и глютамина и повышение амидного азота белков [5,27].

Различие в действии магнитной и электрической составляющих еще более четко прослеживается по их влиянию на азотистый метаболизм нервной ткани под влиянием ЭМП 48 МГц. Для магнитного поля 48 МГц характерно снижение содержания аммиака, обусловленное повышением интенсивности амидирования белков мозга, тогда как при действии электрической составляющей, приблизительно равной по энергии магнитной, отмечается накопление аммиака, вызванное снижением активности процессов синтеза глютамина и амидирования белков [5,27].

Чем же обусловлены эти различия?

Ответ на этот вопрос, как следует из проведенных исследований [5, 20, 22, 24, 27-29], заключается в различном влиянии ЭМП отдельных частотных диапазонов и режимов их генерации на кинетику ферментативных реакций. О возможности непосредственного воздействия ЭМП исследованных параметров на конформацию белков-ферментов тканей указывают полученные нами данные [30] об изменении электрофоретической подвижности сывороточных белков, что обусловлено изменением количества реакционноспособных групп белковых молекул, и, в частности, амидных и сульфгидрильных.

При обсуждении вопроса о возможных механизмах влияния ЭМП на активность ферментов следует учитывать и данные об изменении соотношения в клетках свободной и связанной воды. В частности, изменение структурированности воды в тканях может вызвать изменение под действием ИЭМП и ЭМП ОВЧ кинетики ферментативных реакций [4,27]. Для одних ферментов (глютаминсинтетаза печени, аденилатдезаминаза мозга, печени, сердца и мышц, рибонуклеаза и аденозинтрифосфатаза мозга, дезоксирибонуклеаза печени и семенников) ИЭМП выступает в роли активатора, тогда как для других (каталаза и псевдохолинэстераза крови, глютаматдегидрогеназа печени, цитохромоксидаза, кретинкиназа, холинэстераза, глютаминсинте-

таза, дезоксирибонуклеаза мозга) ЭМП является своеобразным ингибитором. На активность таких ферментов, как пероксидаза крови, лактатдегидрогеназа мозга, печени и семенников, гексокиназа мозга, цитохромоксидаза печени, глютаминаза мозга и печени, поле вообще не оказывает существенного влияния.

Важно подчеркнуть, что in vivo даже на один и тот же фермент ЭМП оказывали разное влияние в зависимости от его органной принадлежности. При объяснении этого факта не должно возникать, по-видимому, серьезных затруднений, так как известно, что ферменты, катализирующие одну и ту же реакцию, но локализованные в различных органах, зачастую отличаются по аминокислотному составу. Именно это обусловливает оптимальные значения pH среды и т.д. В связи с изложенным становится понятным, что при одинаковом изменении структурированности воды степень изменений активности ферментов и их направленность будет различной, что вызвано различной степенью конформационных изменений в белках-ферментах.

Весьма характерна для действия ЭМП различных диапазонов их способность изменять интенсивность окислительных процессов, а для отдельных диапазонов ЭМП /2, 8-II, 20, 27, 28/ - и сопряженность процессов окисления с фосфорилированием. Следствием этого является изменение при воздействии ЭМП 7 кГц и 50 Гц соотношения окисленной и восстановленной форм никотинамидадениндинуклеотида и флавопротеидов /27-29/. Конкретный механизм этого явления не ясен. Возможно, что он связан с нарушением структурной целостности митохондриальных мембран /31/.

С целью экспериментальной проверки высказанного предположения нами была предпринята попытка in vitro выяснить возможность непосредственного влияния ЭМП как на структуру и функциональную активность митохондрий, так и на активность некоторых ферментов, изменявшихся при действии ЭМП на целостный организм. Установлено, что облучение ферментативных экстрактов лактатдегидрогеназы, цитохромоксидазы мозга, печени, рибо- и дезоксирибонуклеаз мозга, печени и семенников (ИЭМП, 72 кА/м), креатинкиназы мозга и аденозинтрифосфатазы мозга и печени крыс (ЭМП $E = I$ кВ/м, $H = 800$А/м) не оказывало влияния на активность ферментов. Эти данные дают основание полагать, что изменения активности ферментов, возникающие под влиянием ЭМП in vivo не являются следствием непосредственного влияния полей на конформацию и каталитические свойства ферментов, а обусловлены, по-видимому, нарушением регулирующих систем.

Показано /32/, что ЭМП оказывают существенное влияние на функциональное состояние мозгового и коркового слоя надпочечников, что проявляется в снижении уровня адреналина в надпочечных железах при действии ИЭМП, ЭМП 70 кГц и в его повышении под влиянием ЭМП 7 кГц и 50 Гц, а также в увеличении концентрации 11-оксикортикостероидов в плазме крови под влиянием ЭМП 41 МГц, 70 кГц, 7 кГц и 50 Гц.

По современным представлениям, важная роль в регуляции азотистого

обмена принадлежит стероидным гормонам, в частности андрогенам. Показано /33/, что под влиянием ИЭМП содержание тестостерона в оттекающей от семенников крови снижается с I,32±0,35 мкг% у контрольных животных до 0,23±0,0I мкг% у облученных крыс.

Естественно предположить, что недостаток тестостерона в организме мог повлиять на интенсивность и направленность отдельных биохимических процессов. С целью проверки этого предположения после воздействия ИЭМП на гонадэктомированных крыс, одновременно получавших тестостерон, были определены биохимические показатели. Установлено, что генадэктомия крыс-самцов приводит к сдвигам, аналогичным тем, которые возникали при облучении их ИЭМП. Введение тестостерон-пропионата (I мг/кг) животным, подвергнутым воздействию ИЭМП, не влияет на сниженный уровень гликогена во всех исследованных органах, но корригирует содержание молочной кислоты и аммиака и увеличивает уровень РНК в печени. Получен - ные данные подтверждают предположение о роли нарушений в системе гипофиз-гонады в возникновении и развитии некоторых метаболических расст - ройств в организме.

Наряду с этим изменения отдельных биохимических процессов, в частности отклонения в сопряженности процессов окисления с фосфорилированием, при действии ЭМП ОВЧ, ОНЧ и ИНЧ не могли быть объяснены сдвигами концентрации адреналина, глюкокортикоидов и тестостерона в организме.

Среди всех гормонов наибольшим разобщающим эффектом обладают тиреоидные гормоны. Это послужило основанием для предположения о том, что именно с дисфункцией щитовидной железы могли быть связаны наблюдаемые сдвиги процессов окислительного фосфорилирования. Такое предположение представлялось тем более вероятным, что при воздействии ИЭМП и ЭМП НЧ (70 кГц) обнаруживались морфологические признаки гиперфункции щитовидной железы /34/. Прямые доказательства роли гиперфункции щитовидной железы в механизме разобщающего эффекта ЭМП, в частности ИЭМП, были получены /35/ при введении мерказолила. Одновременные с облучением инъекции указанного тиреостатика в дозах 0,8–3,2 мг/кг предотвращали разобщение процессов окисления с фосфорилированием. Полученные данные являются дополнительным аргументом в пользу того, что развитие многочисленных отклонений в метаболизме, возникающих при действии различных диапазонов обусловлено сдвигами нейроэндокринных систем регуляции.

Таким образом, под влиянием ЭМП различных частотных диапазонов в организме животных и человека возникает комплекс метаболических сдви - гов, затрагивающий практически все известные виды обмена веществ, включая обмен углеводов, белков, аминокислот, липидов, нуклеиновых кислот, медиаторов и гормонов. Степень выраженности возникающих изменений, их напрвленность, как правило, зависят от экспозиции и физических параметров (частоты, составляющей поля, режима модуляции, скважности, напря - женности) действующего поля. Основой возникающих биохимических сдвигов

является извращение кинетики ферментативных реакций, обусловленное изменением под влиянием ЭМП физико-химических условий проявления каталитической активности ферментов вследствие изменения структурированнос - ти воды, ионного транспорта, возникновения индукционных токов, с од - ной стороны, и нарушения нейрогуморальных систем регуляции метаболических процессов - с другой.

Литература

I. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, I968. 287 с.

2. Думанский Ю.Д., Сердюк А.М., Лось И.П. Влияние электромагнитных полей радиочастот на человека. Киев: Здоровье, I975. 205 с.

3. Холодов Ю.А. Реакция нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, I975. 206 с.

4. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И.,О биохимических механизмах воздействия на организм животных электромагнитных полей различных диапазонов. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, I975, т. I, с. I90-I98.

5.Мищенко Л.И. Влияние электромагнитных полей ультравысокой частоты на биохимические процессы в нервной ткани животных: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Харьков; Мед. ин-т, I970. I8 с.

6.Мищенко Л.И., Евтушенко Г.И. Влияние переменного электромагнитного поля на обмен углеводов и азотистых веществ в организме животных. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград; Изд-во Калинингр. ун-та, I975. с. I29-I30.

7. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитных полей на сердце. Томск: Изд-во Том. ун-та, I977. I20 с.

8. Удинцев Н.А., Хлынин С.М. Влияние магнитных полей на семенники. Томск: Изд-во Том. ун-та, I980. I26 с.

9. Файтельберг-Бланк В.Р., Сивориновский Г.А. Биоэнергетика организма животных при действии ультразвука и электромагнитных полей 3,2 см диапазона. - В кн.: Влияние физических стимуляторов на организм и продуктивность сельскохозяйственных животных и птиц. Одесса, I975, с. 89-96.

I0.Шишло М.А., Кубли С.Х., Нужный В.П. Биоэнергетика и регулирующие системы организма при действии магнитных полей. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, I978, с. 8I-I02.

II.Рудиченко В.Ф. Некоторые аспекты энергетического обмена у животных, облученных ЭМП промышленной частоты. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, I975, т. I, о. 5I-53.

I2.Павлова И.В., Дрогичина Э.А., Гельфон И.А., Садчикова М.Н. Биохимические изменения при хроническом воздействии ЭМП сверхвысоких час -

тот. – В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М.; 1968, с. 124 – 126.

13. Гончарова Н.Н., Карамышев В.Б., Максименко Н.В., Островская И.С. Результаты комплексного изучения влияния ЭМП метрового диапазона.– Там же, с. 29–31.

14. Сынгаевская В.А., Игнатьева О.С., Синенко Г.Ф. Биохимические изменения в организме животных и людей при СВЧ воздействии. – В кн.: Принципы и критерии оценки биологического действия радиоволн. Л.: 1973, с. 34–36.

15. Лазаревич В.Г. Влияние электромагнитных полей на обмен веществ в организме. Львов: Вища школа, 1978. 113 с.

16. Чудновская И.В., Воробьев Ю.А. Состояние здоровья и некоторые биохимические показатели у работающих с СВЧ полем. – В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., 1972, с. 23–24.

17. Никогосян С.В. Влияние 10-см волн на содержание нуклеиновых кислот в органах животных. – В кн.: О биологическом действии электромагнитных полей радиочастот. М., 1964, с. 66–67.

18. Вибе Б.Г. Исследование физиологических механизмов действия высокочастотных электромагнитных полей на обмен нуклеиновых кислот во внутренних органах: Автореф. дис... д-ра биол. наук. Одесса, 1971. 29с.

19. Мурашов Б.Ф., Краснобаев П.Е. Реакция гипоталамогипофизарнонадпочечниковой системы при воздействии СВЧ поля. – Воен.-мед. журн., 1975, № 1, с. 57–61.

20. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Биохимические аспекты биологического действия импульсных электромагнитных полей низкой частоты. – Гигиена труда и профзаболевания, 1972, № 6, с. 13–17.

21. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Нарушения обмена веществ и функционального состояния печени при воздействии импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – В кн.: Гигиена труда и профзаболевания, 1974, № 2, с. 11–13.

22. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Нарушения метаболизма сердца при воздействии импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – Кардиология, 1972, т. 12, № 7, с. 101–105.

23. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности обмена веществ в скелетных мышцах крыс под влиянием импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – Укр. биохим. журн., т. 43, № 3, с. 356–361.

24. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности азотистого обмена головного мозга крыс при действии импульсного электромагнитного поля низкой частоты. – Укр. биохим. журн., 1972, т. 42, № 3, с. 307–311.

25. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности азотистого и нуклеинового обмена головного мозга крыс при изменении функционального состояния ЦНС, вызванного импульсными электромагнитными полями. – В кн.: IУ Всесоюз. конф. по нейрохимии. Л., 1972, с. 81.

26. Колодуб Ф.А., Евтушенко Г.И. Особенности нарушений метаболизма семенников при воздействии импульсных магнитных полей. – В кн.: Гигиеническая оценка магнитных полей. М., 1972, с. 85–88.
27. Колодуб Ф.А., Мищенко Л.И. Биохимические аспекты воздействия на организм электромагнитных полей различных диапазонов. – В кн.: Актуальные вопросы гигиены труда и профпатологии в машиностроительной и химической промышленности. Харьков, 1973, с. 76–79.
28. Колодуб Ф.А., Чернышева О.Н. Особенности углеводно-энергетического и азотистого обмена в головном мозгу крыс под влиянием магнитных полей промышленной частоты. – Укр. биохим. журн., 1980, т. 52, № 3, с. 299–304.
29. Колодуб Ф.А., Чернышева О.Н., Евтушенко Г.И. Особенности метаболизма сердца крыс под влиянием переменных магнитных полей различных параметров. – Кардиология, 1981, № 4, с. 82–85.
30. Колодуб Ф.А. Влияние импульсного электромагнитного поля низкой частоты на углеводно-энергетический и азотистый обмен организма: Автореф. дис.... канд. мед. наук. Харьков, 1970. 19 с.
31. Колодуб Ф.А., Синица И.Н. Структура и функциональная активность митохондрий при воздействии импульсных магнитных полей. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Изд-во Калининград. ун-та, 1975, с. 153.
32. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Максименко Н.В. Влияние импульсных электромагнитных полей низкой частоты на организм. Киев: Здоровье, 1978. 130 с.
33. Евтушенко Г.И., Колодуб Ф.А., Островская И.С., Тимченко А.Н., Чернышева О.Н. Морфо-функциональное состояние системы гипофиз-гонады при воздействии на организм электромагнитных полей различных диапазонов. – Гигиена труда и проф. заболевания, 1976, № 6, с. 52–54.
34. Яшина Л.Н. К оценке функционального состояния щитовидной железы при воздействии электромагнитных полей различных диапазонов. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Изд-во Калинингр. ун-та, 1975, с. 123–124.
35. Колодуб Ф.А., Чернышева О.Н., Синица И.Н. Роль тиреоидных гормонов в механизме разобщающего действия электромагнитных полей на процессы окислительного фосфорилирования. – В кн.: IУ Всесоюз. биохимический съезд. М., т. 2, 1979, с. 101.

4.3. Изменение ферментативной активности лейкоцитов при действии электромагнитных полей на организм

В ряде работ последних лет [1-3], посвященных изучению активности ферментов клеток крови, показано, что при различных физиологических и патологических состояниях происходят существенные изменения показателей активности дегидрогеназ циркулирующих лимфоцитов, причем метаболизм лимфоидной системы весьма полно отражает состояние организма. При параллельном проведении количественной оценки активности ферментов лимфоцитов и органов с последующей корреляционной обработкой данных оказалось, что существует определенная взаимосвязь между показателями метаболизма лимфоцитов и органов (в частности, миокарда) при различных состояниях: гипоксии [1], развитии криза отторжения пересаженного сердца [4], при физиологически протекающем онтогенезе [3]. Наличие корреляционных связей между ферментами лимфоцитов и органов и сила этих связей зависят от состояния организма. Чем тяжелее патологическое состояние организма, тем больше ферментный статус лимфоцитов отражает изменения во внутренних органах.

Показано, что периферические лимфоциты по уровню активности дигидрогеназ делятся на две субпопуляции: меньшую (10-15% лимфоцитов с высокой активностью окислительно-восстановительных ферментов) и большую (85-90% клеток с низкими значениями активности ферментов), причем эти соотношения могут меняться в зависимости от характера воздействия различных факторов на организм [5]. При некоторых патологических состояниях организма средняя активность ферментов лимфоцитов не изменяется и о сдвигах в организме можно судить, лишь используя статистические параметры распределения лимфоцитов по активности фермента.

Таким образом, особенности изменений активности дегидрогеназ лимфоцитов позволяют использовать цитохимические показатели для оценки характера течения различных заболеваний (инфаркта миокарда, пневмонии, бронхиальной астмы, лейкоза и др.).

В настоящее время накоплен обширный экспериментальный материал, доказывающий влияние ЭМП на различные характеристики крови (свертываемость, СОЭ, число лейкоцитов и др.). Показано также, что при гелиогеомагнитных возмущениях увеличивается число случаев сердечно-сосудистых катастроф [6, 7].

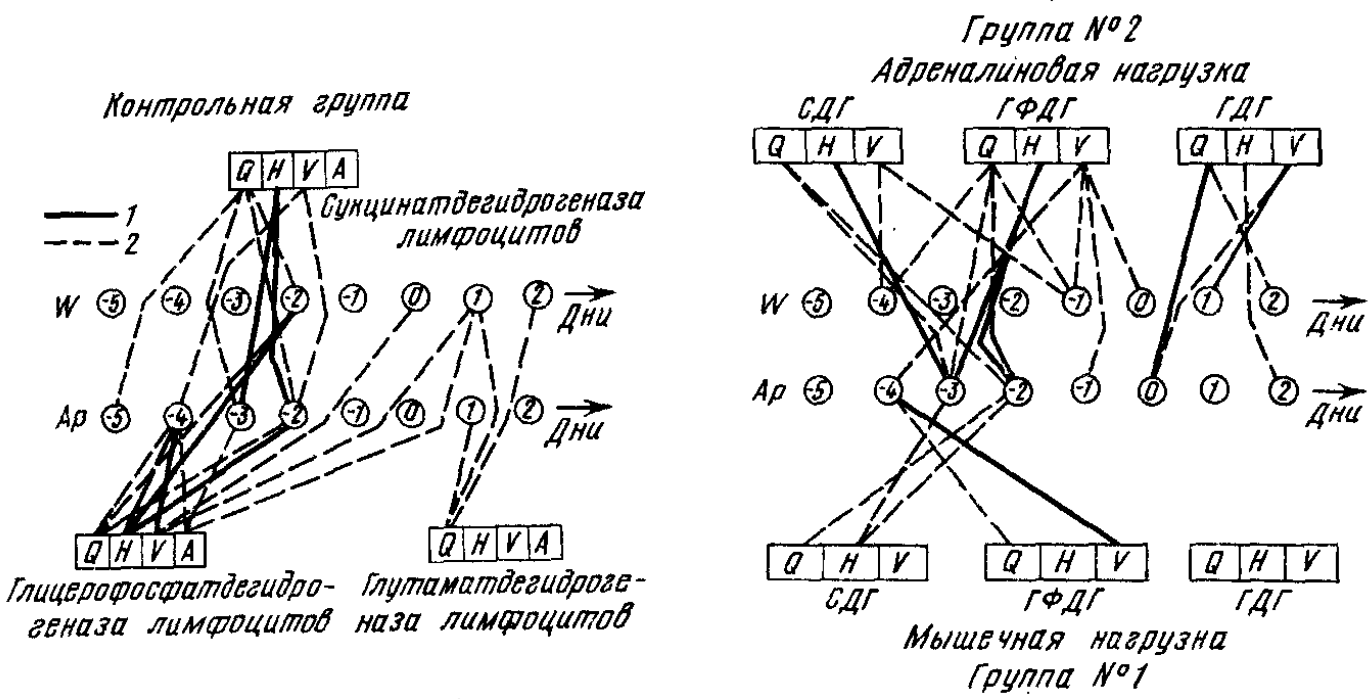
Цель наших исследований – проверка предположения о возможном влиянии изменений параметров внешней среды на сдвиги в показателях метаболизма лимфоцитов и миокарда.

Эксперимент был проведен на мышах линии $C_{57}Bl/6$. Выбор животных обусловлен, в частности, высокой интенсивностью обмена веществ, что в некоторой степени имитирует интенсивный метаболизм у человека на ранних этапах жизни. В работе использованы количественные цито- и гистохимические методы определения активности сукцинатдегидрогеназы (СДГ), глицерофосфатдегидрогеназы (ГФДГ) и глютаматдегидрогеназы (ГДГ) в лим-

фоцитах и миокарде /8/. Выбор этих ферментов обусловлен тем, что их активность и ее изменения характеризуют состояние основных метаболических путей в клетке. За активность фермента в лимфоците принимается число гранул формазана. Определение активности фермента в 50 лимфоцитах позволяет провести статистический анализ структуры популяции лимфоцитов по ферментативной активности, который дает возможность выявить характер разнородности клеток (коэффициент вариации V), преобладающую субпопуляцию (коэффициент асимметрии А), степень разнообразия клеток (коэффициент энтропии информации Н) и др.

Для выявления влияния внешней среды на организм в различных физиологических состояниях животные были разделены на три группы. Первую группу составили мыши, подвергавшиеся умеренной мышечной нагрузке (плавание в течение I ч, 5 сеансов), второй группе мышей вводили внутрибрюшинно раствор адреналина (0,3 мл 0,01%-ного раствора, 5 введений), третью группу составили мыши, не подвергавшиеся никаким воздействиям и находившиеся в одинаковых с опытными условиях (контрольная группа). Эксперимент предусматривал изменение гелиогеомагнитной ситуации и длился 3 мес. Из параметров внешней среды учитывали относительное число солнечных пятен (W) и планетарный индекс геомагнитной возмущенности (Ар).

Полученные корреляционные связи параметров распределения лимфоцитов по активности ферментов у мышей контрольной группы с физическими показателями внешней среды представлены на рис. I7. Фермент ГФДГ является более информативным, чем СДГ и ГДГ, т.е. имеет большее число корреляционных связей. Однако для всех перечисленных выше ферментов справедливо падение среднего уровня их активности через I–4 дня после увеличения солнечной активности, напряженности ГМП. Под влиянием факторов внешней среды происходит перестройка структуры популяции лимфоцитов по активности ферментов, что находит свое отражение в корреляционных связях коэффициентов вариации и энтропии информации. Реакция на внешнюю среду метаболических систем лимфоцитов, как подвергавшихся мышечной нагрузке (рис. I8), так и получавших гормон, отличается от реакции мышей контрольной группы. У первой группы мышей число корреляционных связей достоверно уменьшается, а у второй группы — увеличивается. Ферменты миокарда также реагируют на изменение внешней среды. Примечательно, что СДГ миокарда у мышей второй группы совсем не имеет корреляционных связей. Возможно, это происходит из-за того, что уровень СДГ понизился на 35% относительно контрольного. При увеличении солнечной активности, напряженности ГМП происходит снижение активности ферментов лимфоцитов и миокарда. Для здорового организма это снижение ферментативной активности протекает по типу адаптивной реакции, метаболизм организма постоянно перестраивается в соответствии с изменениями, происходящими во внешней среде. Для больного организма эта реакция может оказаться гибельной, так как уровень его ферментов в большинстве слу-



Р и с. I7. Корреляционные связи активности ферментов лимфоцитов с параметрами внешней среды для мышей контрольной группы

Р и с. I8. Корреляционные связи активности ферментов лимфоцитов с параметрами внешней среды в эксперименте на мышах, подвергавшихся действию мышечной и адреналиновой нагрузки

чаев понижен и дальнейшее понижение ухудшит сложившуюся патологическую ситуацию. Этот вывод согласуется с цитохимическими исследованиями больных со стенокардией /9/, а также объясняет увеличение числа больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями в периоды резких изменений на Солнце. Влияние внешней среды ослабляется, если животные испытывают умеренную физическую нагрузку, аналогично результатам Селье, показавшего, что животные, подвергавшиеся предварительному воздействию стрессора (мышечной нагрузке) становятся устойчивыми (резистентными) к воздействию стрессора на сердце /I0/. Адреналиновая нагрузка приводит организм в соотояние внутриорганной патологии, организм станевится неспособным правильно реагировать на изменения во внешней среде, что может привести к летальному исходу.

Итак, параметры внешней среды коррелируют с цитохимическими и гистохимическими показателями ферментативной активности. Характер связей зависит от физиологического сестояния организма. Умеренная физическая нагрузка и, возможно, положительный эмоциональный настрой должны в некоторой степени улучшать адаптацию организма к изменяющимся факторам внешней среды. Падение активности дегидрогеназ у живого организма после магнитной бури не обязательно приведет к развитию сердечно-сосудистой катастрофы, но, с одной стороны, сделает его более чувствительным к инфицированию, и возникшая в этот период инфекция и интоксикация будут протекать более тяжело /II/, а с другой стороны, снижение активно-

сти дегидрогеназ облегчит разрушение лимфоцитов и осуществление трофической функции. В последнем случае может произойти ускорение процессов роста и дифференцировки.

Литература

I. Духсва З.Н. Изменения энзиматической активности лимфоцитов и различных органов под воздействием гипоксического фактора: Дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1976. 148 с.

2. Вялушкина М.Д. Динамика энзиматического статуса бластных клеток при остром лейкозе у детей под влиянием современной терапии: Дис. ... канд. мед. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1973. 160 с.

3. Суслова Г.Ф. Динамика некоторых ферментных сиотем лимфоцитов и органов в условиях нормального развития и патологии: Дис. ... канд. биол. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1975. 173 с.

4. Фролова М.А., Гудкова Р.Г., Большухина Л.А., Духова З.Н., Фальковский Г.Э. О механизмах изменения дегидрогеназ лимфоцитов при трансплантации сердца. – Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1976, т. 4, с. 423-425.

5. Нарциссов Р.П. Цитохимия ферментов лейкоцитов в педиатрии: Дис. ... д-ра мед. наук. М.: Ин-т педиатрии АМН СССР, 1970. 304 с.

6. Гневышев М.И., Новикова К.Ф., Оль А.И., Токарева Н.В. Скоропостижная смерть от сердечно-сосудистых заболеваний и солнечная активность. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 179-187.

7. Рождественская Е.Д., Новикова К.Ф. Влияние солнечной активности на фибринолитическую сиотему крови. – В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 193-197.

8. Нарциссов Р.П. Применение п-нитротетразолия фиолетового для количественной цитохимии дегидрогеназ лимфоцитов человека. – Арх. анатомии, гистологии и эмбриологии, 1969, т. 5, с. 75-81.

9. Селье Г. На уровне целого организма. М.: Наука, 1972. 122 с.

10. Атаханов Ш.Э. Изучение активности СДГ, ГФДГ, ЛДГ циркулирующих лимфоцитов у больных стенокардией. – В кн.: Актуальные вопросы кардиологии; Тез. III Межресп. конф. молод. ученых. Каунас, 1975, с. 20-21.

11. Катсова Л.К., Катоова Р.К., Нарциссов Р.П. Координация ферментных систем лимфоцитов и резистентность мышей к действию стафилококкового токсина. – Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1975, т.6, с.74-77.

4.4. Действие магнитного поля на ферментные системы организмов

Биологическая активность МП может быть связана, как известно, с возникновением ЭДС в живых объектах, с изменением ориентации несферических пара- и диамагнитных частиц и молекул, имеющих магнитный момент, а также с влиянием МП на перемещение свободных радикалов пара- и диамагнитных молекул [1-5]. При этом подчеркивается, что в основе биомагнитных эффектов лежит изменение физико-химических процессов в клетках и окружающей их среде. Высказано мнение [6], что парамагнитные и диамагнитные вещества в живом организме под воздействием МП могут изменять обычную скорость биохимических процессов. В частности, установлено [7], что сильные магнитные поля влияют на ротационное движение цитоплазмы клеток, вызывают поляризацию диполей и ориентируют их по силовым линиям, что в свою очередь приводит к изменению поступления в клетку воды и ионов электролитов.

В окислительно-восстановительных реакциях отмечен [8] ускоряющий эффект МП на восстановление перманганата калия и хромовой кислоты. Задерживающее действие наблюдалось в отношении восстановления хлорида железа. При некоторых других реакциях двухвалентного железа и кобальта, как и при эстерификации и азотировании, эффекта не отмечалось.

Переменное МП частотой 50 Гц оказывает влияние на процесс окислительного фосфорилирования в тканях животных. При шестидневной обработке морских свинок магнитным полем количество эстерифицированного фосфора в печени возрастало по сравнению с контролем на 4,7%, а количество адсорбированного кислорода уменьшалось на 5%. Более длительное воздействие МП (9 дней) усиливало эстерификацию фосфора на 12% и снижало адсорбцию кислорода на 8,1%. Отношение Р/О в первом случае возрастало на 10,1%, а во втором - на 20,8%. Под влиянием восьмидневной обработки животных переменным МП увеличивалась проницаемость биологических мембран [9].

Показано [10], что МП 0,35-0,5 Тл обладает последействием и угнетает интенсивность окислительных процессов в тканях мышей. Предварительное " омагничивание" животных сопровождалось значительным снижением (на 6-12%) потребления кислорода. Отмечено [11] прогрессивное снижение активности пероксидазы крови кроликов при ежедневном 20-60-минутном воздействии на голову животных неоднородного МП порядка $10-10^2$ мТл. Уровень фермента к концу 3-й недели опыта был ничтожно мал. После трех-семидневного перерыва в экспериментах активность пероксидазы вновь возрастала.

Иное действие на окислительные ферменты крови кролика оказывала энергия электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного спектров [12]. После однократного воздействия ЭМП на животных при всех применяемых частотах активность каталазы и пероксидазы снижалась. При повторных воздействиях активность ферментов возрастала и находилась в определенной частотной зависимости. Установлено также, что степень сни-

жения активности пероксидазы и каталазы при одинаковой частоте находится в прямой зависимости от индукции МП. После прекращения воздействия ЭМП уровень нормальной активности ферментов восстанавливался через 3-4 ч. МП 50 мТл изменяло некоторые свойства азотистого обмена в головном мозгу белых крыс [13]. Обнаружено повышенное содержание аммиака, глутаминовой, аспарагиновой и гамма-аминомасляной кислот, активирование трансаминазы, гамма-аминомасляной и альфакетоглутаровой кислот, уменьшение глутамина и торможение активности щавелевоуксусной кислоты.

Гистохимические исследования [14] показали, что под воздействием МП (B = 0,45 Тл, градиент - 50 мТл/см, экспозиция - 24-72 ч) в митохондриях клеток печени мышей усиливается активность сукцинатдегидрогеназы, глутаматдегидрогеназы и малатдегидрогеназы. Активность ферментов, локализованных в гиалоплазме (лактатдегидрогеназы, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы), существенно не изменяется. МП той же напряженности влияет на энергетические процессы и в изолированных митохондриях. Установлена зависимость [15] активности энзимов в МП от pH среды. При одних опытах при pH 3 МП 13 Тл после экспозиции в 2-3 ч повышалс активность трипсина (на 24%) и химотрипсина (на 22%), в других - при воздействии того же МП на раствор трипсина при pH 8, активность энзима заметно снижалась (на 10%).

На основе спектрофотометрического способа изучения кислотофосфатазной активности серозальных макрофагов белых мышей, выдержанных в слабом МП (меньше 80 нТл), установлено [15] снижение содержания кислотофосфатаз в клетках. Среднее числовое значение для мышей, находившихся в ГМП, былс 19,3, а для "магнитной" серии - 13,6. Из этого сделан вывод, что макрофагальная реакция в полях низкой интенсивности должна снижаться, так как кислотофосфатазная активность находится в прямой зависимости от фагоцитарной.

Существует мнение, что эффективность действия МП на биологические объекты определяется не параметрами поля , а структурной организацией ферментов или наличием в них магниточувствительных элементов. Ввиду этого интересно было проследить кинетику разложения перекиси водорода комплексом этилендиаминтетраацетат (ЭДТА) с Fe^{+3} и каталазой, в активном центре которой содержалась та же парамагнитная частица железа [16]. Эффект "омагничивания" проявлялся в ускорении реакции разложения перекиси водорода с максимумом 20±5% для каталазы и 24±5% для [Fe^{+3}(ЭДТА)].

Несколько исследований посвящено влиянию МП на ферменты микроорганизмов. В результате обнаружено [17] уменьшение триплетных образований в реакционных центрах фотосинтетических бактерий *Rhodopseudomonas spheroides* , подвергнутых воздействию МП. При этом исследовались хроматофоры дикого типа бактерий, имеющих железо-убихиноновый комплекс, и мутант R-26, в реакционных центрах которого содержался лишь убихинон. Примечательно, что эффект ингибирования выявлялся в поле 5-10 мТл, усиливался при повышении напряженности до 50 мТл и не зависел от наличия

функционального железа. Максимальная величина ингибиции триплетных соединений для препаратов с железо-убихиноновым комплексом составляла 25%, а для тех же препаратов без железа - 35%. Иные результаты получали при изучении дегидрогеназ золотистого стафилококка и дрожжей [18]. Эти микробы "омагничивались" 18 ч в МП порядка 50 мТл. У опытных штаммов стафилококка дегидрогеназная активность возрастала на 32,6-44,6%, а у дрожжей - на 19,5-30,9%.

Изучая разнообразные стороны жизнедеятельности 21 вида бактерий и 10 видов актиномицетов, подвергнутых действию постоянного, переменного и импульсного МП от 0,05 мТл до 4,5 Тл, мы показали [17], что процесс "омагничивания" изменяет многие видовые признаки микроорганизмов: скорость роста, культуральные, морфологические, антигенные свойства и даже вирулентность, их чувствительность к антибиотикам, фагу, температуре и некоторым другим факторам внешней среды.

Изменчивость биологичеоких свойств микробов, как правило, возникает при длительном пассировании культур в МП. Кратковременное влияние МП сказывается в основном лишь на скорости размножения клеток. Большинство отмеченных нами биомагнитных эффектов у "омагниченных" микроорганизмов, естественно, имеют временный, преходящий характер и связаны с модификационной (ненаследственной) изменчивостью. Тем не менее МП могут оказывать мутагенное действие на микробы.

Наиболее ярким подтверждением такого вывода явилось получение в результате длительного действия импульсного поля (В = 22-45 Тл) беспигментного "магнитного" мутанта стафилококка УФ-3, сохранившего только морфологические особенности исходного варианта. Глубокие изменения биологических свойств были обнаружены у стафилококка 209Р, пассированного в ослабленном МП. В этих условиях выращивания на восемнадцатом пассаже значительная часть (9,1%) колоний микроба ослизнялась, а затем лизировалась.

Действие переменного МП (В = 18 мТл) резко проявлялось в отношении вульгарного протея и сенной палочки. В популяции протея после длительных пассажей в переменном поле, наряду с типичными для контроля Н-формами колоний, дающими сплошной расползающийся рост, на средах выделялись гладкие О-формы как результат потери клетками микроба Н-антигена. Следствием "омагничивания" в переменном поле сенной палочки явилось образование на средах трояКого рода колоний, из которых влажные формы, напоминавшие пуговицы с вогнутой поверхностью, коническим центром и валиком по периферии, полностью утрачивали присущие контрольному штамму структурные особенности вида.

Выраженные изменения антигенной структуры были установлены также при изучении иммуногенных свойств различных разновидностей кишечных палочек, длительно пассированных в МП напряженностью всего лишь 0,05 мТл. В этих опытах "магнитные" варианты кишечных палочек характеризовались не только слабой иммуногенной активностью, но и низкой агглюти-

набельностью в антисыворотках, полученных в результате иммунизации кроликов контрольными штаммами бактерий.

Серьезным доказательством влияния МП на генетический аппарат микробов является их индуцирующее действие на лизогенные бактерии E.coli штамм К-12. В условиях магнитной возмущенности подавляется или элиминируется продукция колицинов и экстрахромосомная стрептомицинорезистентность у золотистых стафилококков.

По нашему мнению, в основе всех форм изменчивости у "омагниченных" микроорганизмов, независимо от их сущности, лежат резкие сдвиги в биохимических процессах. Так, исследование активности ферментов у многих видов и штаммов микробов, подвергнутых действию различных МП, выявило глубокое нарушение у них окислительно-восстановительных процессов. В зависимости от видовых особенностей испытанных тест-микробов и характера внешнего МП активность ферментов то повышалась, то угнеталась. Зачастую на фоне повышенной или даже высокой активности одного фермента наблюдалось выраженное угнетение другого (других) или наоборот. При всем многообразии эффектов действия МП на ферменты микробов можно было установить некоторые закономерности. Магнитные поля, обладая избирательным действием, как правило, угнетали активность каталазы и пероксидазы. Изменчивость дегидрогеназ в равной мере зависила как от характера действующего МП, так и от видовых свойств "омагниченных" микробов.

Внешние магнитные поля изменяли также синтез нуклеиновых кислот. В общем, это касалось обмена РНК, так как незначительная степень повышения или снижения количества ДНК у некоторых "магнитных" штаммов микробов после статистической обработки оказалась недостоверной.

Из изложенного следует, что изменение роста и деления клеток, культуральных и других биологических свойств бактерий и актиномицетов, утрата ими видовых признаков и появление новых разновидностей и вариантов является следствием действия МП на ферментные системы и, главным образом, на углеводный и белковый обмен микроорганизмов.

Литература

1. Павлович С.А. Магниточувствительность и магнитовосприимчивость микроорганизмов. - Минск: Беларусь, 1981, 172с.
2. Реакции биологических систем на магнитные поля, М.:Наука, 1978, 216 с.
3. Ахмеров У.Ш. О некоторых магнитобиологических явлениях.- В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.33-39.
4. Аристархов В.М., Пирузян Л.А. О возможном молекулярном механизме биологического действия магнитного поля.- В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с.179-182.
5. Mulley Z.N., Mulley J.L. Magnetic susceptibility: trends in instrumentation research and applications. - Annal. Chem., 1964, v.36, p. 404-419.

6. Valentinuzzi M., Rotational diffusion in a magnetic field and its possible magnetobiological implications. - In: Biological effects of magnetic fields. N.-Y., Plenum Press, 1964, p.63-73.
7. Савостин П.В. Магнито-физиологические эффекты у растений.- Тр.Моск. Дома ученых, 1937, вып.I, с III-II9.
8. Bhatnagar S.S., Mathus K.N., Kapur R.N. The effects of magnetic field on certain chemical reactions. - Phil. Mag., 1963, v.8, p.457-473.
9. Jitarui P., Hefco V. L'influence du champ magnetique sur les phosphorisation oxydatives. - Ann. Stiint. ale univer. Al. i cura ser. nouva, sect. II, 1964, v.10, N1, p.13-18.
10. Тишанькин В.Ф. Влияние магнитного поля на свертывание крови.- В кн.: Биологическое и лечебное действие магнитного поля и строгопериодической вибрации. Пермь, 1948, с. 87-92.
11. Белоконь А.Н., Травкин М.П., Бородачева З.Н. Влияние неоднородного магнитного поля на изменение активности некоторых окислительно-восстановительных ферментов крови.- В кн.: Тез. докл. по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М.:1966,с.12-13.
12. Чирков М.М. Влияние энергии электромагнитных колебаний звукового и радиочастотного спектра на окислительные ферменты крови.- В кн.: Матер. ХУ науч. конф. физиологов, биохимиков, фармакологов Юга РСФСР. Махачкала, 1965, с. 346-347.
13. Коган А.Б., Щербакова Г.В. О биохимических изменениях в динамике некоторых сторон азотистого обмена в головном мозге белых крыс при действии постоянного магнитного поля.- В кн.: Тез. докл. по изучению влияния магнитных полей на биологические объекты. М.:1966, с. 39-40.
14. Шишло М.А., Шимкевич Л.Л. Активность окислительных ферментов в печени мышей при действии постоянного магнитного поля на интактный организм.- Патол.физиол. и экспер.терапия, 1966, т.10,№3, с.65-66.
15. Conley C.C., Mills W.J., Cook P.A. Enzyme activity in macrophages from animals exposed to a very low magnetic field. - III International Biomagnetic Symposium. Chicago, Illinois, 1966, p.13-15.
16. Влияние магнитного поля на скорость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{3+}/Л.М.Вайнер, А.В.Подоплелов, Т.В.Лешина и др.- Биофизика, 1978, т.23, вып.2, с. 234-241.
17. Hoff A.J., Rodemaker H., Grodelle R., Duysens L.N.M. On the magnetic fields dependence of the triplet state in reaction centers of photosynthetic bacteria. - Biochem. Biophys. Acta, 1977, v.460, N3, p.547-554.
18. Nimatan E.M. Reactia de dehidrogenare la bacterii si levuri sub influenta cimpului magnetic. - Analele etiint. Univ. "Al. J. Cusa", Sect., 1974, v.20, N2, p.55-58.

4.5. Электрохимическая модель метаболизма

Все живое, как известно,- это сложные, в основном белково-водные системы, гомеостатически функционирующие и самоорганизующиеся за счет потребления энергии обмена веществ (метаболизма) /I-3/. Несмотря на большой интерес к проблеме, энергетика живого, механизмы ее регулировки и взаимодействия с различными внешними факторами, включая ГМП, до конца еще не выяснены /3-6/. В частности, привлекает внимание тот факт, что на фосфолипидных моделях и на биообъектах in vitro эффект воздействия ЭМП не воспроизводится /7/. Благодаря успехам биохимии в последние годы выявился круг вопросов, решение которых потребовало привлечения представлений современной электрохимии. К ним относится процесс возникновения и передачи нервного возбуждения /8,9/. Без электрохимии не удается также понять и энергетику метаболизма на клеточном и на тканевом уровнях организации живого /I0-I5/. В настоящем разделе с позиций электрохимии полупроводников рассматривается энергетика метаболизма живых организмов и роль ГМП в их формировании. В основу рассмотрения положена электрохимическая модель, сочетающая в себе требования биоэнергетики и биокибернетики.

Электрические свойства различных биообъектов: их электропотенциалы /I6-20/, вентильные /20-22/, электретные /23/ и другие /24,I8/ эффекты обнаруживают удивительно много общего. Так, примерно одинаково расположение электрически активных участков на теле животных, одинаково неспецифично изменение их свойств под влиянием различных внешних воздействий, одинакова ритмичность изменений физиологических функций и т.д. При умирании организма исчезают и его особые электрические свойства. Все это свидетельствует о неотъемлемости, фундаментальности, способности живого генерировать электрические и связанные с ними электромагнитные поля (см. т.I, гл.I, раздел 3). Взаимосвязь электромагнитных явлений с метаболическими реакциями в живых системах вытекает из работ многих исследователей. В работах /II-I3/ установлено, что в клетках разность электрических потенциалов возникает на мембранах митохондрий вследствие пространственного разделения реакций окисления богатых энергией веществ и восстановления кислорода, сопровождающегося образованием аденазинтрифосфата /II,I2/. Мембрана сопрягает эти реакции, транслируя протонную и электронную разность потенциалов с одной ее стороны на другую. Электрические потенциалы в тканях животных и растений, возникающие как интегральный результат баланса процессов переноса электронов и протонов в клетках ткани, рассмотрены в/I4,I5,25/.На основе законов неравновесной термодинамики и правила Понтрягина для многокомпонентных систем показано, что разбаланс тока в пользу восстановительных реакций должен сдвигать потенциал живой ткани в отрицательную сторону, а разбаланс тока в пользу окислительных реакций - в положительную сторону /I5,25/. Качественно этот вывод согласуется с экспериментом. Однако для количественного описания процесов в живом

организме, например процессов адаптации, требовалось, чтобы электрохимические реакции могли регулироваться с помощью другой, например химической (гормональной) или электрической (нервной) системы /15/.

С нашей точки зрения, в качестве регулирующей системы целесообразно исследовать электрическую регуляцию, поскольку она является более эффективной и быстродействующей по сравнению с гормональной, тем более, что гормональная система также управляется и регулируется электрическими импульсами, обеспечивая тем самым дополнительное увеличение надежности работы организма. Однако главным достоинством электрической регуляции является то, что она позволяет на единой энергетической (электрической) основе обеспечивать не только процессы обмена веществ, но и процессы возникновения и передачи нервного возбуждения, а также некоторые другие стороны жизнедеятельности организма.

Согласно предлагаемой электрохимической модели главные, во всяком случае, определяющие кинетику, звенья в цепи метаболических процессов протекают по электрохимическому механизму - с разделением в пространстве катодных и анодных актов — на любом уровне организации. При этом образуется замкнутая электрическая цепь, способная осуществлять автоматический контроль и регулировку. Организм в целом в таком случае можно уподобить самоуправляемой батарее электрохимических генераторов (ЭХГ), в которой роль анодов и катодов играют отдельные органы, связанные между собой и с потребителем энергии в единую электрическую цепь, при помощи которой осуществляется их взаиморегуляция. Система в целом функционирует, утилизируя энергию топлива - веществ-восстановителей, доставляемых и перерабатываемых органами пищеварения, в которых преобладает анодная функция. Необходимый для этого окислитель доставляется и перерабатывается органами с преобладающей катодной функцией - легкими и сердечно-сосудистой системой. К органам-катодам следует, по-видимому, также отнести органы, выводящие из организма окисленные продукты метаболизма, - печень, почки.

Непременным условием стабильности электродвижущей силы в любом ЭХГ является, как известно, наличие препятствующих саморазряду границ раздела между проводниками тока с разным типом проводимости: ионного проводника внутри каждой ячейки ЭХГ и электронных проводников, соединяющих разные ячейки в батарею и подводящих ток к потребителю. Ионными проводниками в живых организмах являются электролиты: кровь, лимфа и т.д. Относительно электронных проводников существовало ошибочное мнение, что в биообъектах их вообще нет, и поэтому невозможен и электрохимический метаболизм /26/. Здесь явное недоразумение. Металлических токоотводов, подобных тем, которые используются в технических ЭХГ, в живых системах нет. Но, как теперь хорошо известно, живое - это целый набор самых разнообразных органических полупроводниковых систем с различным типом (n и p) и разной величиной электронной проводимости (от проводимости

изолятора до близкой к металличеокой[1]). Многие особые свойства живого в овоей основе являются полупроводниковыми. К ним относятся, например, так называемые вентильные эффекты, наблюдающиеся в активных точках кожи животных, когда прохождение электрического тока в одном (пропускном) направлении сравнительно легко, но затруднено в обратном (запорном) направлении. Как известно, вентильные эффекты могут возникать на границе раздела между полупроводниками с разным типом проводимости при наложении электричеокого поля /27,28/. Вентильные эффекты должны обеопечивать одностороннее перемещение электричеокого тока в био-ЭХГ и последовательное перемещение зон повышенной активноети от одного органа к другому.

Важным следствием полупроводниковой природы сред в био-ЭХГ является сильная зависимоеть их электрических и электрохимических свойств от факторов, влияющих на энергетическую структуру полупроводников. Действительно, как показано в /29-35/, реакционная способность полупроводникового электрода определяется природой и концентрацией собственных и примесных дефектов: овободных электронов в зоне проводимоети, дырок в валентной зоне и локальных примесных подуровней в запрещенной зоне. Свет и другие электромагнитные излучения, давление, нагрев, введение электроактивных примесей, наложение электрических и магнитных полей и т.д., изменяя концентрацию дефектов, тем оамым могут неспецифически изменять реакционную опособность полупроводниковых электродов. Так, например, введение ничтожных количеств акцепторов электронов, увеличивая концентрацию дырок в валентной зоне, резко ускоряет анодные реакции. В случае введения в полупроводниковый электрод примесей-доноров электронов увеличится концентрация электронов в эоне проводимости. Это приведет к ускорению катодных, но замедлению анодных реакций /30-32/. Обратим внимание на сильную завиоимость скоростей электродных реакций от потенциала: его изменение на 58 мВ вызывает изменение тока в десять раз. Все эти, а также ряд других явлений, в основе которых лежит вляние примесей на реакционную опособность полупроводниковых электродов, например электрокатализ, эффекты"памяти", "тренировки", "отравления", адаптации

---

[1] От металла полупроводник отличается наличием в его энергетической отруктуре эоны запрещенных соотояний для электронов, что обусловливает наличие носителей тока двух типов: p-тип - электроны в валентной зоне и n-тип - электроны в зоне проводимости, а также сильную неспецифическую зависимость от всех факторов, изменяющих энергетическую отруктуру полупроводника. Так, все факторы, изменяющие концентрацию свободных носителей тока, соответственным образом изменяют проводимость и реакционную способность. Это свет, давление, тепло, примеси электроактивных веществ, электричеокий ток, электрические и магнитные поля и т.д. Помимо электронной, некоторым полупроводникам свойственна ионная проводимость, которая в некоторых случаях бывает преобладающей /27/.

и т.д., должны иметь и, по-видимому, имеют в живой природе широкое распространение и многообразие видов.

Рассмотрим полупроводниковую электрохимическую модель метаболизма более подробно для клеточного уровня, в частности на примере работы митохондрий. Предполагаем, что на внутренней стороне фосфолипидной мембраны, окружающей митохондрию, на участках с особыми каталитическими свойствами происходит анодное окисление продуктов пищеварения. Вследствие этого на них устанавливается более отрицательный электрохимический потенциал, свойственный этим реакциям. На других местах мембраны, с другими каталитическими группами, происходит катодное восстановление окислителей, например кислорода и на них устанавливается более положительный электрохимический потенциал, свойственный окислителю. Мембрана выполняет таким образом роль электрохимического генератора, превращающего химическую энергию, содержащуюся в метаболитах, в электроэнергию. Электрический ток (поток электронов и ионов) между анодом и катодом в мембране определяется разностью потенциалов и электропроводностью мембраны. Протекая через мембрану, он снижает разность потенциалов между анодом и катодом тем сильнее, чем меньше реакционная способность электродов (их электрохимическая буферность). Последняя, как упоминалось выше, у полупроводникового электрода сильно и по разному для анода и катода зависит от примесных дефектов в их запрещенной зоне. Обратим внимание на то, что анодное окисление продуктов пищеварения на аноде всегда сопровождается образованием в качестве продукта реакции ионов водорода, т.е. подкислением электролита. Вследствие ионного равновесия это ведет к обогащению поверхности электрода протонами, на ней, как говорят, образуется "слой пространственного заряда". Катодное восстановление кислорода сопровождается, наоборот, подщелачиванием электролита и обеднением поверхности электрода протонами, поскольку в этом случае они в реакции расходуются.

В биомембране протоны образуют донорные подуровни, которые активируют катодную, но пассивируют анодную реакции. Поэтому они в принципе способны осуществлять отрицательную обратную связь между этими реакциями. Действительно, образуясь в анодной реакции, протоны снижают анодный потенциал, причем вначале равновесно - на 58 мВ на единицу pH, а затем, по мере развития пассивации, все более и более резко. Когда слой пространственного заряда, расширяясь, наконец достигнет участков, где протекает катодная реакция, катализируемая протонами, установится более положительный потенциал, свойственный этой реакции. При достаточном количестве окислителя этот потенциал будет держаться до тех пор, пока не станет заметным "истощение" слоя пространственного заряда. Тогда потенциал начнет смещаться в сторону более отрицательных значений. Когда истощенный слой достигнет анодных участков, снова возникнет их активация и все повторится сначала.

В результате протонной саморегуляции в клетке возникает замкнутый

электрохимический метаболический контур, работающий ритмично во времени и в пространстве и с определенной последовательностью изменения его параметров. Кратко мы назвали его "био-ЭХГ". Значения электрохимических потенциалов и pH в био-ЭХГ автоматически удерживаются в определенных границах, обеспечивая тем самым внутри контура электрический и химический гомеостаз. Если учесть еще и температурный гомеостаз, то получим в результате объемную область жизнеспособности, внутри которой клетка функционирует нормально, а вне ее - погибает.

Модель био-ЭХГ позволяет понять неспецифичность метаболического ответа клетки на разнообразные внешние воздействия, связанную с самокомпенсацией метаболических сдвигов, удерживающей клетку в пределах области жизнеспособности. Она указывает также на возможность воздействия и управления метаболизмом клетки извне, через факторы, влияющие на концентрацию протонов в мембране. Такую роль могут выполнять, например, электрические импульсы, поступающие от соседних клеток, от нервной системы или от электроактивных веществ, адсорбирующихся на клеточной мембране. Все это позволяет понять механизм согласованной работы различных участков тела живого организма, действующего как энергетически единое целое. Электричество при этом служит связующим звеном точно так же, как и в технической энергетике, где его используют для объединения и перераспределения различных видов энергии.

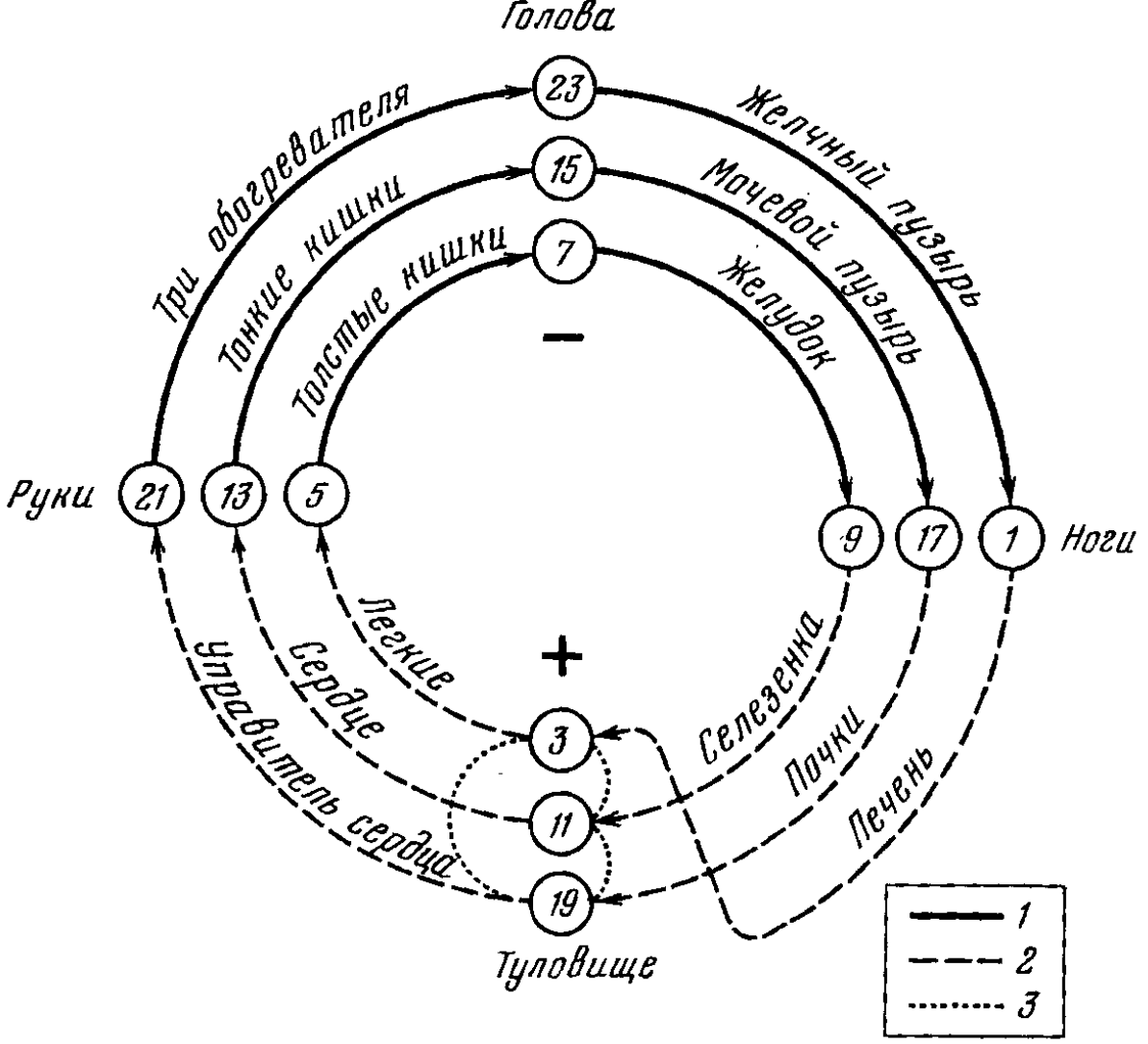
Следует подчеркнуть, что в основе модели лежат явления, которые мы назвали "электрохимические полевые эффекты" протонов в клеточной мембране. Они аналогичны полевым эффектам, широко применяемым в электронике, с тем отличием, что относятся не к электронным, а к электрохимическим явлениям, наблюдающимся на стыке электроники с электрохимией. Эти явления представляют не менее широкие и разнообразные возможности, чем явления в электронике, однако никем пока не учитывались. Можно показать, что в зависимости от соотношения интенсивностей электронных, ионных и примесных переходов в мембране и на ее границе с электролитом можно получить как силовые электрохимические метаболические эффекты от неэнергоемких управляющих сигналов, так и, наоборот, большие электрические сигналы от слабых электрохимических реакций. Эти эффекты стирают грань между биокибернетикой и биоэнергетикой, превращая их отличия в чисто количественные и непринципиальные. Одновременно исчезают принципиальные различия между обыкновенными и нервными клетками, также сводясь к количественным вариантам. Последнее утверждение согласуется с представлением о единстве устройства всего живого и на всех уровнях его организации. Оно кажется естественным, если учесть, что нервные клетки в фило- и онтогенезе развиваются из обычных клеток в результате усовершенствования их способности передавать управляющий (электрический) импульс.

Длительная работа любого ЭХГ требует подачи реагентов и отвода продуктов реакции от электродов. В технических ЭХГ этого достигают прокачкой растворов, что требует специального оборудования и дополнительных

энергетических затрат. Применение ритмичности во времени и в пространстве при работе био-ЭХГ, использующей самопроизвольную диффузию веществ, увеличивает его эффективность. Однако такая двойная ритмичность сама нуждается в устройстве, синхронизирующем ее с ритмично изменяющимися условиями земной жизни (с суточными, месячными и другими ритмами). Эту роль можно приписать ГМП. Синхронизация с ним метаболических ритмов может быть понята, если учесть пульсацию электрического тока в электрических контурах клетки, генерирующую свое ЭМП. Значимость ГМП для жизни привела к подстройке ЭМП клеток к ГМП и к закреплению этой синхронизации в генетическом коде. Вместе с фактом невозможности полноценного функционирования живого в отсутствие ГМП это свидетельствует, на наш взгляд, в пользу земного происхождения и развития жизни.

Поскольку любой организм развивается всегда из одной единственной клетки, в которой закодированы все его основные свойства, можно полагать, что принципы работы био-ЭХГ, установленные для клеточного уровня организации живого, должны обязательно отразиться и получить развитие на организменном уровне. Это кажется тем вероятнее, что, как показали работы по методу тканевых культур, в каждой клетке имеются функциональные зачатки всех органов организма, хотя большинство из них законсервировано за ненадобностью. Развитие клеточного био-ЭХГ до организменного уровня должно привести к тому, что в организме роль отдельных реакционных групп, действующих в клетке, выполняют уже целые органы. Т.е. должны быть органы, несущие преимущественно функции анода и органы, несущие преимущественно функции катода. Активирование работы первых должно сопровождаться подкислением среды, тогда как активирование работы вторых должно сопровождаться подщелачиванием. Уменьшение pH должно стимулировать работу органа-катода, но пассивировать работу органа-анода, обеспечивая отрицательную обратную связь между ними, точно так же, как это имеет место в клетке. Все органы должны быть связаны в единую электрическую цепь и функционировать ритмично во времени и в пространстве: зона реактивности должна последовательно перемещаться с одного органа на другой в строгом порядке. Однонаправленное перемещение реакционной зоны по цепи органов должно сопровождаться изменением их потенциалов и соответствующими изменениями pH. Оно должно обеспечивать сохранение, в определенных пределах, электрического и химического гомеостаза как в отдельных органах, так и во всем организме в целом. Отклонения электрических потенциалов и pH в органах от их нормальных значений, овидетельствующие о приближении к границам жизнеспособности организма, могут служить признаком заболевания этого органа.

Эти выводы хорошо согласуются с результатами исследования электрических свойств и pH органов человека и с закономерностями, найденными в древневосточной медицине, используемыми современной рефлексотерапией. Согласно им, по меридианам (каналам) инь и ян циркулирует "энергия", которая поступает в организм с пищей и воздухом. В определенном ритме она



Р и с. I9. Схема расположения на теле человека электрических потенциалов и меридианов типа ян (I) и инь (2); 3 - второстепенные связи между меридианами. В кружках указано время суток перехода энергии из одного меридиана в другой

проходит по ним и по связанным с ними внутренним органам и активным точкам на коже, которые образуют единую замкнутую цепь /36-41/.

На рис. 19 дана схема меридианов, спроецированная на четыре основные части тела. Дополнительные меридианы, указанные пунктиром на рис. I9, не связаны с какими-либо определенными органами тела и непригодны для излечения болезней - они служат как бы "аварийным сбросом" и используются только для снятия острой патологии.

Над каждым органом-меридианом указан связанный с ним внутренний орган, состояние которого он отображает. Согласно теории рефлексотерапии патология внутренних органов связана с задержкой перехода энергии из одного меридиана в другой, что может быть обнаружено по изменению энергетического состояния меридиана и связанных с ним активных точек кожи. Изменяется их температура, плотность, возникает болезненность и, как показали многочисленные современные исследования, резко изменяются их электрические свойства: электрохимические потенциалы, электропроводность, вентильный эффект, ассиметричность и т.д. /I6-25, 36-47/.

Гистохимические исследования показали, что активные точки кожи насы-

щены нервными рецепторами в значительно большей степени, чем другие участки кожи /43–45/. Исследование сопротивления постоянному и переменному электрическому току показывает, что по ходу меридианов (в направлении, указанном на рисунке стрелками) оно заметно снижено относительно точек вне меридианов и в направлении, обратном указанному стрелками /20, 21, 36,37, 41,42/. Некоторые авторы отмечают соответствие хода меридианов симпатическим и парасимпатическим путям нервной системы /37,39,40/. Тем не менее, вряд ли целесообразно отождествлять меридианы с таким четко морфологически оформленным субстратом, как нерв, поскольку геометрические размеры меридианов и активных точек непостоянны: они увеличиваются при увеличении степени возбуждения меридиана /16,20/. Поэтому меридианы следует рассматривать как пути преимущественного протекания электрического тока в организме, возникающего в результате метаболических электрохимических реакций.

Измерения электрических потенциалов в активных точках и вдоль меридианов подтверждают этот вывод. Действительно, оказалось, что потенциалы, измеренные вдоль одного и того же меридиана, отличаются друг от друга незначительно, но резко отличны от потенциалов на других меридианах и на участках тела вне меридиана /16,20,36/. Следует заметить, что данные по электропотенциалам кожи человека, полученные различными исследователями, характеризуются значительным разбросом, что может быть связано как с методическими ошибками, так и с нестабильностью параметров у исследуемых биообъектов. Указанные эффекты снижают точность измерений. Наиболее надежные данные удается получить при помощи прибора, специально разработанного для этих целей – биопотенциалометра БПМ –01 и 02. Прибор имеет высокое входное сопротивление (10^{10} Ом) и безводочные, неполяризующиеся стерилизуемые электролитические ключи, через которые осуществляется его контакт с измеряемым биологическим объектом /48/. Было показано, что у здоровых людей в спокойном состоянии электрохимические потенциалы кожи находятся в пределах $\pm$ 50 мВ. Воспалительные процессы во внутренних органах сдвигают эти потенциалы на соответствующих воспаленному органу участках кожи в сторону более положительных значений до + 60÷100мВ /49–52/. На рис. 19 электрические потенциалы кожи спроецированы на обобщенную схему человека, на которой изображены также меридианы древневосточной медицины. Из рис. можно видеть, что все меридианы ян замыкаются между собой через голову, а все меридианы инь – через туловище. Первые меридианы связаны с органами, поставляющими и перерабатывающими восстановитель (пищу), а вторые – с органами, доставляющими и перерабатывающими окислитель (кислород) или выводящими окисленные продукты метаболизма из организма. Интересно, что все переходы из меридианов ян в меридианы инь расположены в пальцах ног, а все переходы из меридианов инь в меридианы ян – в пальцах рук, т.е. в наиболее подвижных участках тела. Целесообразность такого размещения переходов между разноименными меридианами становится понятной, если при-

нять во внимание, что именно в этих местах переход энергии затруднен более всего, а движение (самомассаж) его облегчает. Интересно также отметить, что все основные лечебные точки, применяемые в восточной рефлексотерапии, расположены именно в этих же самых областях[37-40]. Физиологически оправданной представляется также последовательность размещения некоторых пар разноименных меридианов: желчного пузыря и печени, мочевого пузыря и почек, желудка и поджелудочной железы - селезенки. Примечательно, что разного типа меридианы, попарно чередуясь, образуют единую электрохимическую замкнутую цепь, представляющую собой как бы батарею из трех ЭХГ, соединенных между собой последовательно в единый контур.

Таким образом, экспериментальные данные по измерению электрических потенциалов на теле человека подтверждают существование меридианов с преобладанием в них либо анодной, либо катодной функции и замкнутой энергетической цепи с ритмичным однонаправленным перемещением в ней зоны повышенной реактивности.

С организменной моделью био-ЭХГ согласуется ряд известных в физиологии фактов, таких, например, как факт подщелачивания крови и клеточных сред при интенсифицировании легочного дыхания, подкисление их при интенсифицировании пищеварения, взаимная компенсация метаболических и дыхательных сдвигов в кислотно-щелочном равновесии и др. Согласуется с нею и неспецифичность ответа организма на разнообразные внешние воздействия, которые вызывают либо возбуждение, либо торможение. Электрофизиотерапия (электропунктура, электрофорез, ионотерапия) также может оказывать либо возбуждающее действие (если к телу прикладывают электрод, соединенный с отрицательным полюсом источника тока), либо тормозное (если электрод соединен с положительным полюсом)[42].

Из приведенного материала следует, что основные закономерности метаболизма на клеточном и организменном уровнях организации живой материи могут быть описаны одной и той же моделью био-ЭХГ. На обоих уровнях метаболизм и его управление подчиняются электрохимическим закономерностям, одинаков механизм саморегуляции метаболических реакций, однонаправленные ритмы во времени и в пространстве, сопряжение электрического гомеостаза с химическим, неспецифичность ответа на внешние раздражители. Однако ряд фрагментов в организменной и клеточной моделях не нашел пока соответствия. Так, например,в клеточной модели установлен лишь один, а в организменной три элемента био-ЭХГ. В организменной модели не найден орган-аналог системе АТФ/АДФ. Возможно, что дальнейшие исследования помогут установить эти недостающие аналоги. Это позволило бы ввести в принцип соответствие между разными уровнями организации живой материи. В этом случае можно было бы без проведения прямых экспериментов по закономерностям, найденным для организменного уровня, предсказывать закономерности для клеточного, а возможно, даже и для субклеточного уровня.

В заключение следует отметить, что предлагаемая электрохимическая модель метаболизма позволяет описать и объяснить основные закономерности жизнедеятельности живого на различных уровнях его организации. Главная сущность и новизна модели заключается в механизме отрицательной обратной связи, обусловливаемой протонным электрохимическим эффектом в биомембранах. С ним связаны биоритмы и генерирование ЭМП.

Литература

I. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологичеоких макромолекул. М.: Мир, I973. 2I4 о.

2. Лидоренко Н.С. Исследование биоэлектрической активности организма и его энергообмена со средой. – В кн.: Проблемы измерений в медицине и в биологии: Тез. IX Междунар. конф. по измерительной технике и приборостроению. Суздаль: НТОШ, I98I. с. 6–8.

3. Рэкер Э. Биоэнергетические механизмы: новые взгляды. М.: Мир, I979, гл. 8, о. 2I6.

4. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, I978.3I5с.

5. Эйген М., Винклер Р. Игра жизни. М.: Наука, I979. 96 с.

6. Сент-Дьерди А. Биоэнергетика. М.: Физматгиз, I960. I55 с.

7. Тезисы докладов симпозиума "Биологическое действие электромагнитных полей". М.: Изд-во АН СССР, I982. I67 с.

8. Мембраны: ионные каналы. /Под ред. Чизмаджева Ю.А. М.: Мир, I98I. 320 с.

9. Маркин В.С., Пастушенко В.Ф., Чизмаджев Ю.А. Теория возбудимых сред. М.: Наука, I98I. 276с.

10. Mitchell P. Aspect of chemiosmotic hipotesys.–Proc. of Biochem. Soc., 1970, vol.116, №4, 5F;

II. Скулачев В.П., Козлов И.А. Протонные аденазинтрифосфатазы: молеку – лярно-биологические генераторы тока. М.: Наука, I977. 93 с.

I2. Скулачев В.П. Рассказы о биоэнергетике. М. : Молодая гвардия, I982. I9I о.

I3. Овчинников Ю.А., Иванов В.Т., Шкроб А.М. Мембранно-активные комп – лексы. М.: Наука, I974. с. 342.

I4. Котеску И. К вопросу о биохимической теории природы биоэлектрических потенциалов: Конф. Румын. физиологов (резюме). Бухарест: А.Р.Н.Р. I960. с. 69.

I5. Дечев Г.А. Исследование сети обменных процессов как целостной сис – темы о помощью биоэлектрических и редоко потенциалов: Автореф. дис... д-ра биол. наук. М.: Ин-т биофизики АН СССР, I968. 35 с.

I6. Горев В.П. Электродермография в эксперименте и клинике: Докл. по дис. д-ра мед. наук. М.: Ин-т норм. и патол. физиологии, I965. 35 с.

I7. Коловский Р.А. Биоэлектрические потенциалы древесных растений. Новосибирск: Наука, I980. 229с.

I8. Торнуев Ю.В. К вопросу об электростатическом поле человека. – Физиология человека, I980, т. 6, № I, с. I48–I52.

19. Протасов В.Р., Бондарчук А.И., Ольшанский В.М. Введение в электроэкологию. М.: Наука, 1982. 336 с.
20. Шевелев О.А. Особенности электродермальных зон кожи и организация их афферентных связей: Дис... канд. мед. наук. М.: Ун-т Дружбы народов им. П. Лумумбы, 1980. 286 с.
21. Гаврилов А.В. К исследованию ВАХ в области точек акупунктуры.- В кн.: Технические вопросы рефлексотерапии и вопросы диагностики. Калинин: Гос. ун-т , 1981. с. 38–42.
22. Коломоец Б.Т., Шпунт В.Х., Марков Ю.В. Динамика ВАХ тела человека. - Письма в ЖЭТФ, 1979, т.5, вып. 19, с. 216–221.
23. Кулин Е.Т. Биоэлектретный эффект. Минск: Наука и техника,1980.215с.
24. Инюшин В.М. Элементы теории биологического поля. Алма-Ата; Гос. ун-т , 1978. 97 с.
25. Дечев Г.А., Матвеев М. А. Окислительно-восстановительный дебит в биологических объектах как результат управляемых необратимых процессов в открытых системах. - Биофизика, 1969, т. 14, № 6,с.963–967.
26. Бурлакова Е.Д., Вепринцев Б.И., Кольс О.Р., Кригер Ю.А. Исследова - ние биологических явлений в тканях и клетках. М.: Высшая школа, 1961. с. 162–237.
27. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.:Наука, 1977. с. 274–277.
28. Мямлин В.А., Плесков Ю.В. Электрохимия полупроводников. М.: Наука, 1965. 337 с.
29. Оше Е.К., Розенфельд И.А. Внутренний фотоэффект в электрохимических и коррозионных системах. М.: ВИНИТИ, 1978, т. 7, с. 111–158.
30. Оше А.И., Оше Е.К. Разупорядоченность поверхностных окислов на никеле и его пассивация. - Электрохимия, 1971, т.7, № 10, с.1419–1422.
31. Оше А.И. Разупорядочение и обратимость хлорсеребряных электродов.— В кн.: Тез. докл. III обл. науч.-техн. конф. по электрохимии, коррозии и защите металлов в неводных и смешанных растворителях. Тамбов, 1982. с. 65.
32. Лидоренко Н.С., Оше А.И. О стандартных потенциалах электродов типа Ag/A_gX и сотвенной разупорядоченности солей.- ДАН СССР, 1980, т.250, № 3, с. 658–661.
33. Оше А.И., Уруов К.Х. Абоолютные потенциалы и нулевые точки. - В кн.: Тез. докл. VI Всес. конф. по электрохимии. М., 1982, т. 2, с. 74.
34. Оше Е.К., Розенфельд И.Л., Батракова Л.В. Отклонение от стехиометрии поверхностных окислов на титане в условиях активного растворения и пассивации. - Защита металлов, 1977, т. 13, №3, с. 303–307.
35. Оше А.И. Исследование анодного окисления пассивных металлов с помощью потенциостатической хронсамперометрии.- В кн.: Новые методы исследования коррозии металлов. М.: Наука, 1973. с.80–88.
36. Zhu Zong-xiang. Research advances in the electrical specifity

Meridiens and Acupuncture points. - Am. J. Acupunct., 1981, vol.9, № 3, p.203-216.
37. Вогралик В.Г., Вогралик М.В. Иглорефлексотерапия. Горький:Волго-Вятское книжн. изд-во, 1978. 295 с.
38. Лувсан Г. Очерки методов восточной рефлексотерапии. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1980. 278 с.
39. Тыкочинская Э.Д. Основы иглорефлексотерапии. М.: Медицина, 1979. 343 с.
40. Табеева Д.М. Руководство по иглорефлексотерапии. М.: Медицина, 1982. 560 с.
41. Уоррен Ф. Медицинская акупунктура. Киев: Вища школа, 1981. 223 с.
42. Портнов Ф.Г. Электропунктура и рефлексотерапия. Рига: Зинатне, 1980. 220 с.
43. Машанский В.Ф., Ли С.Е. и др. О возможных структурных свойствах безнервной передачи информации в эпителиях.-ДАН СССР, 1977, т. 235, № 6, с. 1453-1455.
44. Крохина Е.М., Чувильская Л.М., Новикова Е.Б. Некоторые проблемы вегетативной иннервации зон акупунктуры человека. - Арх. анатомии, гистологии, эмбриологии, 1980, т. 78, № 3, с. 59-71.
45. Загрядский В.А., Парин В.В. К вопросу о специфике структуры и основных биофизических свойствах точек акупунктуры. В кн.: Технические вопросы рефлексотерапии и систем диагностики. Калинин: КГУ, 1981. с. 11-24.
46. Дуринян Р.А. Методологический и физиологичеокий анализ проблем точек, меридианов и энергии в рефлексотерапии. В кн.: Теория и практика рефлексотерапии. Саратов: Гос. ун-т , 1981. с. 3-11.
47. Подшибякин А.К. Топография потенциалов кожи. - БЭБМ, 1969, т. 28, вып. 5, № 1, с. 343-346.
48. Урусов К.Х., Мишина М.И., Лотменцева Т.Н., Оше А.И. Биопотенциалометр БПМ - 01 и -02. В кн.: Тез. докл. VI Всес. конф. по электрохимии. М., 1982, т.III, с.324.
49. Никифорова В.Г. Влияние направления изменений электрических параметров биологически активных точек кожи на функциональное состояние организма человека: Автореф. дис... канд. мед. наук. М.:Инст-т мед-биол. проблем, 1978. 32с.
50. Лотменцева Т.Н. Исследование электрохимических потенциалов в раневой области.- Тез. докл. Научн.-техн. конф. "Электрофизические проблемы создания диагностической и медицинской аппаратуры". М.; 1982. с. 64.
51. Карлов В.А. Динамика электрических потенциалов. - В кн.: Раны и раневая инфекция. М.: Медицина, 1981. с.315 и 287-289.
52. Куцевляк Б.Ф. Значение величины суммарного биоэлектрического потенциала в диагностике и лечении слизистой оболочки полости рта. Дис... канд. мед. наук. М.: ЦНИИС, 1978. 140с.

5. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОРИТМОВ

5.I. Влияние электромагнитных полей на биологические ритмы

Биологические ритмы - периодически повторяющиеся изменения интенсивности и характера биологических процессов и явлений. В той или иной форме биологические ритмы присутствуют, по-видимому, у всех живых организмов и на всех уровнях биологической организации: от внутриклеточных до популяционных. Периоды разнообразных по своей природе колебаний варьируют в широком диапазоне - от сотых долей секунды для некоторых электрофизиологических процесоов до многих лет для изменений численности популяций. Природные ЭМП - также ритмическое явление, не менее разнообразное по частотному спектру, причем многие частоты биологичеоких ритмов и ЭМП совпадают.

Если ЭМП влияют на различные параметры биологических систем, то уместно предположить, что все или по крайней мере некоторые биологические ритмы вызваны ритмическими изменениями ЭМП. Однако многочисленные исследования не оотавляют сомнений в том, что почти все биологические ритмы - автоколебательные процессы. Можно оомневаться лишь в эндогенной природе таких мало изученных ритмов, как недельные, 27-дневные. Как правило, при изоляции объекта от внешних условий ритм сохраняется и может быть поставлен в любое фазовое соотношение с местным временем или даже изменить свой период [1]. Суточные ритмы у животных и растений не перестраиваются соответственно новому местному времени при дальней перевозке объектов в незкранированных камерах в широтном направлении [2] и сохраняются при их наблюдении на Южном полюсе [3].

Таким образом, при современном уровне знаний мы не можем назвать ни одного биологического ритма, который был бы непосредственно вызван ритмическими измерениями электромагнитных полей. Тем не менее, известен ряд фактов, когда биологические ритмы (их частота или амплитуда) меняются под воздействием ЭМП. Теоретически воздействие ЭМП на ритм может быть трех видов:

I) ЭМП влияют на организм в целом, но не на сам генератор биологического ритма. Воздействие ЭМП может быть и информационным [4,5], при этом изменяются также и параметры биологического ритма, его частота и (или) амплитуда, аналогично тому, как зависит частота пульсаций сердца от уровня постоянной температуры тела или от "сигнала тревоги". Частота биологического ритма не должна строго следовать за частотой ЭМП в определенном диапазоне. В некоторых случаях возможны даже синхронные изменения частот биологического ритма и ЭМП (как в примере с воздействием на частоту пульсаций сердца стабильного уровня температуры).

2) ЭМП влияют только на внешние проявления ритма, на так называемые индикаторные процессы [6], но не на сам генератор биологического ритма. При этом усиление ЭМП или экранирование от него должны приводить

к изменению амплитуды наблюдаемого биологического ритма, вплоть до его исчезновения, но не отражаться на частоте ритма.

3) ЭМП влияют на сам генератор и являются датчиком времени. В данном случае связь между биологическими ритмами и ЭМП определяется закономерностями сложения нелинейных колебаний [7]. Датчик времени характеризуется двумя основными свойствами: I) сдвиг фазы датчика времени приводит к соответствующему сдвигу фазы биологического ритма; 2) после настройки между датчиком времени и биологическим ритмом сохраняется строго определенное фазовое соотношение [8]. Соответственно при частотах датчика времени, близких к частоте биологического ритма и в целое число раз больше или меньше ее, должен иметь место захват частоты. При этом в определенных ограниченных диапазонах частота биологического ритма должна следовать за частотой датчика времени. Вне этих диапазонов биологический ритм может потерять свой строго периодический характер и через определенное число периодов должны появляться колебания с очень высокой амплитудой - биения. Подчеркнем, что если действующий фактор является датчиком времени, то достаточно исчезающе слабого его воздействия на организм, чтобы получить отчетливый биологический эффект [9].

Попытаемся отнести к одному из указанных трех типов воздействия некоторые из наблюдавшихся фактов. Наиболее изучено влияние ЭМП на ритмы электрической активности мозга, сокращения сердца и на суточную ритмику. Под воздействием ИНЧ и ВЧ ЭМП, модулированных инфранизкой частотой, ритмы электрической активности мозга в ряде случаев изменяются [I0-I2].

Такая реакция наблюдается только у некоторых высокочувствительных людей (сенситивов) [I0,I3]. Реакция может быть вызвана как в конденсаторе [I4,I5], так и в соленоиде [I3,I6]. В некоторых случаях сообщается о навязывании частоты внешнего раздражения при формировании некоторых ритмов головного мозга. Иногда это только приближение к частоте поля [I5,I6], однако электроэнцефалограммы сенситивов [I3] показывают четкий захват частоты ритмов ЭЭГ переменным МП в пределах частот 7,8-I3 Гц. Кроме того, наблюдалась [I7] синхронизация ритмов электрической активности мозга с частотой, "близкой или кратной частоте модуляции" высокочастотного поля (несущая частота - 40 мГц, модуляция - 2 или 7 Гц). Выдвинута гипотеза о биофизическом механизме восприимчивости мозговой ткани к ЭМП [I8]. Таким образом, помимо влияния на общее состояние организма, ЭМП способны захватывать ритмы электрической активности мозга и, следовательно, быть датчиком времени для этих процессов. Правда, четкий захват частоты получен при воздействии полем, напряженность которого на несколько порядков выше естественного.

Меньше оснований считать ЭМП датчиком времени для ритма сокращений сердца. Неоднократно отмечавшиеся изменения сердечной деятельности в ЭМП, видимо, не связаны по частоте с частотой внешнего раздражения [I4, I9-2I]. Однако при воздействии переменным МП с частотой около 0,5 Гц

на умирающих крыс, отравленных сильным наркотиком, удалось наблюдать навязывание этого ритма сердечной деятельности /22/. В этом случае частота сокращений сердца только приближалась к частоте внешнего воздействия. Показана также синхронизация ритма сердечной деятельности высокочастотным полем, модулированным низкой частотой /17/.

Остановимся на исследованиях воздействия ЭМП на суточные ритмы.

В работах /6,23/ придается большое значение ЭМП как возможному датчику времени для суточного ритма. Экранирование от полей оказывает определенное воздействие на суточные ритмы, при этом меняется частота циркадных ритмов человека и степень их согласованности друг с другом /24/. Экранирование от МП приводит у некоторых объектов (воробьи, мыши) к снижению четкости ритма при сохранении его общей картины /25,26/. По нашим данным, экранирование, наоборот, достоверно повышает четкость ритма выхода дрозофил из куколок в постоянной темноте. Однако экранирование заметно влияет на общее оостояние организма /9/, поэтому нельзя утверждать, что ЭМП являются датчиком времени. Описано исчезновение циркадного ритма движения лиотьев фасоли /27/ при экранировании растений металлической сеткой. И в этом случае, по-видимому, имеет место общее воздействие на организм /28/ или только на наблюдаемую ритмическую функцию.

При непосредственном воздействии ЭМП частотой 10 Гц наблюдались изменения периода циркадного ритма у человека и зеленого вьюнка /24,29/. Вряд ли можно говорить о затягивающем действии на ритм ЭМП 10 Гц столь далекой от суточной частоты. Единственный, известный нам пример /24/ затягивания циркадного ритма ЭМП - захват ритма человека на протяжении недели 25,8-часовым ритмом ЭМП (половина периода - воздействие поля частотой 10 Гц, половина - его отсутствие). Высказано предположение о затягивающем действии ЭМП на популяционные ритмы /30/. Если ЭМП влияет на численность популяций, такой захват частоты или биения обязательно должны иметь место. Однако это предположение трудно проверить экспериментально. Интересно сообщение о биениях, возникающих в ритмике концентрации свободных радикалов и парамагнитных комплексов металлов переменной валентности, где период биологического ритма 23,5 ч взаимодействует с 24-часовой ритмикой условий /31/.

Таким образом, нет достоверных сведений о биологических ритмах, непосредственно вызванных ЭМП. Однако ЭМП могут влиять на частоту и амплитуду ритма. По-видимому, в большинстве случаев ЭМП воздействует не на сам генератор ритма, а на организм в целом или на внешние проявления ритма. В некоторых случаях в эксперименте ЭМП могут выступать в роли датчика времени и способны захватывать частоту биологичеокого ритма. Особенно наглядно это видно на примере ритмов электрической активности мозга. Вопрос о роли естественных ЭМП как датчиков времени остается открытым.

Литература

I. Mletzko H.G., Mletzko I. Biorhythmik. A.Ziemsen Verlag, 1977, 160 s.

2. Hamner K.C., Finn J.C., Sirohi G.S., Hoshizaki T., Carpenter B.H. The Biological clocks at the South Pole.-Nature, 1962, v. 195, № 4840, p. 467-480.

3. Чернышев В.Б., Афонина В.М. Суточный ход геофизических факторов и чувство времени.-Журн. общ. биол., 1976, т. 37, № 5, с. 722-730.

4. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.; Наука, 1968. 288 с.

5. Макеев В.Б., Вольвовская Л.С. Информационное значение слабых электромагнитных полей инфранизкого частотного диапазона.-В кн.: Физ.-мат. и биол. пробл. действия ЭМП и ионизации воздуха, М.: Наука, 1975, т. I, с. 319-320.

6. Браун Ф. Геофизические факторы и проблема биологических часов.-В кн.: Биологические часы. М.: Мир, 1964, с. 103-126.

7. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. М.:Мир, 1968, 215 с.

8. Aschoff J., Klotter K., Wever R. Circadian vocabulary.-In Circadian clocks. Amsterdam, 1965, p. 10-19.

9. Владимирский Б.М., Волынский А.М. Воздействие электромагнитных полей с напряженностью, близкой к естественной, на физико-химические и биологические системы. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с.126-150.

10. Михайловский В.Н., Войчишин К.С., Грабар Л.И. О восприятии некоторыми людьми инфранизкочастотных колебаний магнитного поля и средствах защиты.- В кн.: Реакции биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971. 147 с.

11. Холодов Ю.А., Кориневский А.В., Бувин Г.Н. и др. Пространственно - временные соотношения биопотенциалов разных областей коры мозга кроликов при воздействии низкочастотных магнитных полей. - В кн.: Магнитное поле в медицине: Тр. Кирг. мед. инс -та, 1974, т. 100, с. 12-13.

12. Баньков В.И. Влияние оложномодулированных ЭМП на электрическую ак - тивность мозга, работу сердца и дыхание животных. - Науч . тр. Свердловск. пед. ин-та, 1974, № 169, с.10.

13. Maxey E.S. Critical aspects of human versus terrestrial electromagnetic aymbiosis.-In: Biological effects of electromagnetic waves. New York, 1976, p. 331-340.

14. Владимирский Б.М., Волынский А.М., Виноградов С.А. и др. Экспериментальные исследования влияния электромагнитных полей сверхнизкой частоты на теплокровных животных и микроорганизмы. - В кн.: Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли. М.: Наука, 1971, с. 224-233.

I5. Gavalas R.J., Walter D.O., Hamer, Adey W. Effect of low level low-frequency electric fields on EEG and behavior in Macaca nemestrina.- Brain Res., 1970, v. 18, p. 491-502.

I6. Войтинокий Е.Я., Генделькс Б.С.,Гольцман Б.И. и др. О влиянии слабого магнитного поля на электрическую активность мозга. - В кн.: Магнитное поле в медицине. Фрунзе, Науч. тр. мед. инст-та, I974, с. 2I-22.

I7. Судаков К.В., Антимоний Г.Д. Модулированные электромагнитные поля как фактор направленного биологического действия. - В кн.: Системные свойства тканевых организаций. М., I977, с. 2I2-2I4.

I8. Эйди У.Р. Кооперативные механизмы восприимчивости мозговой ткани к внешним и внутренним электрическим полям. - Физиология человека, I975, т. I, № I, с. 59-68.

I9. Волынский А.М. Изменение сердечной и нервной деятельности у животных различного возраста при воздействии электромагнитными полями низкой частоты и малой напряженностью. - В кн.:Влияние электромагнитных полей на биологические объекты. Харьков, I973, т. 53,с.7-I3. (Тр. Крым. мед. инст-та).

20. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитных полей на сердце. Томск: Изд-во Том. ун-та, I977. I23 с.

2I. Аристархов В.М., Тищенков В.Г., Пирузян Л.А. Биологическое действие олабого низкочастотного импульсного электромагнитного поля. - Изв. АН СССР. Сер. биол., I978, № I, с. I3I-I34.

22. Persinger M.A. Possible cardiac driving by an external rotating magnetic field.-Int.J.Biometeorol., 1976, v. 8, № 3, p. 443-447.

23. Brown F.A.Jr. Biological clocks: endogenous cycles synchronyzed by subtle geophysical rhythms. -Biosystems, 1976, v. 8, p. 67-81.

24. Wever R. Über die Einflissung der circadianen Periodik des Menschen durch schwache elektromagnetische Felder.-Z.vergl. Physiol., 1967, B.56, S. 111-128.

25. Bliss V.H., Heppner F.H. Circadian activity rhythm influenced by near zero magnetic field.-Nature, 1976, v. 261, № 5559, p. 411-412.

26. Нахальницкая З.Н., Мастрюкова В.М., Андрианова Л.А., Бородкина А.Т. Реакция организма на воздействие "нулевого" магнитного поля. - Космич. биология и авиакосмическая медицина, I978, № 2, с. 74-76.

27. Казымов П.П. О ритме движения листьев фасоли в условиях экранирования естественных ЭМП. - В кн.: Колебательные процессы в биологических и химических системах. I97I, т. 2, с. I78.

28. Журбицкий З.И., Горбатов В.А., Чаплыгина Н.С. - О механизме абсорбции углекислоты листьями растений. - Физиология растений, I968, т. I5, с.4I6-42I.

29. Wever R. Human cercadian rhythms under the influence of weak electric fields and the different aspects of ghese studies.-Int.J.Biometeorol., 1973, v. 17, № 3, p. 227-232.

30. Владимирский Б.М. Биологические ритмы и солнечная активность.- В кн.: Биологические ритмы. М.: Наука, 1980, т. 41, с. 289-315.
31. Чибрикин В.М., Коган А.М., Аппенянский А.И., Пирузян Л.А. Действие электромагнитного поля на живой организм. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. 2, с. 51-52.

5.2. Околонедельные ритмы сердечно-сосудистых осложнений и их корреляция с вариациями геомагнитного поля

Проблема выявления параметров гелиогеофизических и метеорологических факторов, влияющих на организм в естественных условиях пребывания его в биосфере, представляет сложную задачу ввиду недостаточности современных представлений об информативных парметрах среды, формирующих биотропный эффект.

Трудности обработки и анализа метеогеофизической и биомедицинской информации обусловлены рядом факторов. Случайный характер событий, формирующих метеорологические и геофизические процессы, определяет возможноть их описания лишь в рамках вероятностной модели. Нестационарность процессов затрудняет получение достоверных статистических характеристик по реализациям конечной длительности. Многосвязность и статистический характер физиологических показателей, обусловленные действием на объект факторов внешней среды, психологичеоких стрессоров и других артефактов, а также индивидуальные особенноти организма затрудняют выявление закономерностей в динамике исследуемых процессов.

.К числу наиболее важных и актуальных в настоящее время аспектов следует отнести выявление тонких механизмов, существующих в сложном комплексе гелиогеофизических и метеорологических влияний на биологические объекты. В этом плане наименее разработаны проблемы достоверности обработки данных, интерпретации результатов прогнозирования. Решение этих проблем требует разработки эффективных методов и вычислительных алго - ритмов, реализующих выделение информативных параметров на фоне помех и обеспечивающих доотаточную точность в оценке статистических характеристик, а также сжатие информации, которая содержится в больших массивах исходных данных.

Цель настоящей работы - совместное изучение периодической структуры интенсивности инфарктов миокарда и H , Д , Z -компонент ГМП для количественной оценки их связи в естественных условиях существования биосферы.

В основу исследования положена следующая модель. Рассматриваетоя объект, находящийся в реальных условиях и подвергающийся воздействию внешних факторов. Реакцию объекта на воздействия $Y_p(k)$ характеризует вектор состояния $X_q(k)$, элементами которого являются составляющие суточной интенсивности сердечно-сосудистых осложнений при уоловии дифференциации больных по диагнозу, полу и возрасту. Векторная функция $Z_p(k)$ характеризует шум на выходе, обусловленный некоррелированными с вход-

ными возмущениями источниками, и определяется психологическими отрессорами, функциональными особенностями организма, множеством артефактов повседневной жизни. Оператор $q(u)$ описывает закон, по которому множеству входных возмущений ставится в соответствие множество медицинских показателей, и характеризует тракт, воспринимающий информацию об изменении внешних физических воздействий.

Полный отклик дискретной системы, состоящей из q входов и p выходов при наличии постороннего шума на выходе записан в виде m-свертки:

$$Y_p(k)=\sum_{u=0}^{n} q(u)X_q(k \underset{m}{\oplus} u)+Z_p(k),$$

где знак $\oplus$ означает сумму по модулю m. В связи со спецификой образования m-сдвига для формирования реакции объекта помимо текущих и предыдущих входных данных необходимо знание будущих входных отсчетов. Технически при проектировании m-фильтров это реализуется устройством памяти в виде линии задержки, в которой хранятся предыдущие отсчеты. В организме человека такой инерционной системой, способной накапливать информацию о среде и в соответствии с ее вариациями перестраивать регуляцию процесов жизнедеятельности, является центральная нервная система.

Интерес представляют два вида корреляций: 1) связь между входными и выходными параметрами объекта; 2) функциональная зависимость между переменными на входе и выходе объекта. При наличии статистически значимой связи между входными и выходными переменными объекта и известном операторе $q(u)$ возможно своевременное оказание медицинской помощи при использовании ЭВМ в замкнутом контуре управления.

Экспериментальные исследования показывают, что циклы поведенческих реакций и физиологических ритмов биологических объектов коррелируют с периодически изменяющимися параметрами внешней среды, причем синхронизаторами могут быть различные гелиогеофизические и метеорологические факторы, к которым организмы чувствительны [1,2]. В связи с наличием ~1, ~7, ~14, ~27-суточных колебаний в спектре многих природных явлений предоставляется возможным синхронизация внешними физическими факторами не только околонедельного, но и некоторых других физиологических ритмов.

Исследовалась реакция объекта на каждый из воздействующих факторов среды и на совместное влияние группы факторов. В первой группе исследований рассматривались случаи, когда факторы среды представляют: 1) независимые равноправные воздействия; 2) зависимые неравноправные воздействия.

В первом случае связь между входными и выходными переменными объекта оценивалась с помощью функции обычной когерентности [3]

$$\varkappa^2(z)=\Gamma_{12}(z)/\Gamma_{11}(z)\Gamma_{22}(z),$$

где z – спектральный индекс; $\Gamma_{11}(z)$, $\Gamma_{22}(z)$ – автоспектры рассматриваемых последовательностей; $\Gamma_{12}(z)$ – их взаимный спектр.

В отличие от корреляционной функции, которая нормируется по средней мощности иоследуемых последовательностей, функция когерентноети нормируется по мощности каждой периодической составляющей независимо. Это позволяет повысить точность и доотоверность измерений за счет устранения влияния структурных особенностей автокорреляционных спектров переменных, измерить часть мощности, спределяемую воздействующим фактором, и часть мощности, обусловленную шумом для данной периодической составляющей.

Однако шум на выходе объекта может обусловливаться не только исследуемыми, но и другими воздействиями. В этом случае функция обычной когерентности примет ошибочно низкие значения, и для получения доотоверной оценки связи необходимо вычислить функцию частной когерентности [3]

$$\varkappa^2_{y_j,x_i/x_l}(z)=\frac{M_{y_j,x_i}}{\sqrt{M_{y_j,y_i}\,M_{x_i,x_i}}},$$

где M_{ℓ_m} – соответствующий элементу Γ_{ℓ_m} минор спектральной матрицы $\Gamma_{y_j,x_q}(z)$ всех $x_1(k), x_2(k), \ldots, x_q(k), y_i(k)$ переменных.

Для данной периодической составляющей функция частной когерентности определяет связь выходной и одной из входных переменных после устранения влияния на них всех остальных исследуемых переменных.

В случае, когда факторы среды представляют собой зависимые наравноправные воздействия, предполагалось, что связь между двумя воздействующими факторами высока. Один из них $X_i(k)$ оказывает существенное влияние на переменную $Y(k)$ на выходе объекта, а второй $X_j(k)$ не связан с $Y(k)$. Тогда вычисленная с помощью коэффициента обычной когерентности связь между $X_j(k)$ и $Y(k)$ будет принимать ошибочно высокие значения и отражать лишь тот факт, что связь между воздействующими факторами велика. В этом случае достоверно оценить связь между $X_j(k)$ и $Y(k)$ можно путем использования функции частной когерентности, которая будет принимать меньшие значения, чем функция обычной когерентности.

Реакция объекта на совмеотное влияние группы действующих факторов иоследовалась на основе функции множественной когерентности [3]

$$\varkappa^2_{Y_j,X_1,X_2,\ldots,X_q}(z)=1-\frac{|\Gamma_{Y_j,X_q}(z)|}{\Gamma_{Y_j,Y_j}(z)\,|\Gamma_{X_q,X_q}(z)|}.$$

Для данной периодической составляющей эта функция позволяет определить долю мощности переменной величины на выходе объекта, определяемую суммарным влиянием учитываемых воздействий.

Эффективность спектральных методов исследования динамических характеристик объектов в значительной степени зависит от того, насколько выбранная система ортогональных функций соответотвует функции отклика на единичный импульс. В ряде случаев несколько отличных от нуля коэффициентов позволяют получить хорошую аппрокоимацию последовательности.

Однако при анализе многосвязных биологических объектов, находящихся под воздействием сигналов и помех различной природы, приходится учитывать большое число коэффициентов при использовании любых ортогональных разложений. Поэтому при выборе аппроксимирующих функций основным требованием является обеспечение необходимой доотоверности результатов при помощи простых в реализации алгоритмов. Иосследовалась также целесообразность оценки статистических характеристик путем ортогонального разложения по функциям Уолша [4]. Метод рекомендован для практического использования в связи с простотой структурной реализации быотрых алгоритмов Уолша, обеспечивающих необходимую достоверность результатов.

Постулировалось, что скорость изменения факторов внешней среды является информативным параметром, сигнализирующим неблагоприятную реакцию организма, поэтому при предварительной обработке информации использовался фильтр первых разностей [3]. Для корректного сопоставления существенно разномасштабных переменных проведено нормирование реализаций.

Обеспечение достоверности оценки спектра мощности достигалось в два этапа. На первом каждая реализация, состоящая из 512 точек отсчета, образованная синтезом частично перекрывающихся интервалов (январь–март, март–июнь, июль–октябрь, сентябрь–ноябрь), разбивалась на всемь равных отрезков, квазистационарность которых проверялась по критерию серий [3]. Для восьми отрезков реализаций вычислялись оценки выборочного спектра мощности $S^2(z)$, которые затем осреднялись по частоте следования. На втором этапе проведено осреднение полученного спектра по смежным частотам следования, сгруппированным по 1/3-октавному принципу.

$$\Gamma(n) = S^2(z)$$

$$n = z = 0,1,2,3$$

$$\Gamma(n) = \frac{1}{2^{i-3}} \sum_{z=a}^{b} S^2(z) \qquad a = 2^{i-1}$$

$$\Gamma(n+1) = \frac{1}{2^{i-3}} \sum_{z=b}^{c} S^2(z) \qquad b = 5 \cdot 2^{i-3}$$

$$\Gamma(n+2) = \frac{1}{2^{i-2}} \sum_{z=c}^{a} S^2(z) \qquad c = 6 \cdot 2^{i-3}$$

$$i = 3,4\ldots; \quad n = 4,7,10\ldots$$

где $\Gamma(u)$ – мощность в полосе частот следсвания, соответствующих 1/3 октавы.

По мере отдаления от начала координат число осредняемых спектральных компснент увеличивалось по 1/3 – октавному закону. Такая фильтрация последовательностей позволила сохранить информацию о тонких деталях спектра; сократить число анализируемых спектральных компонент путем исключения излишней детализации спектра; обеспечить малую величину дисперсионной ошибки за счет расширения полосы анализа.

Экспериментальные исследования связи ГМП и частоты инфарктов миокарда проводились на ЭВМ М-222. В качестве исходной информации рассматривались временные ряды среднесуточных значений H, D, Z -компонент ГМП и ежедневные числа достоверных случаев крупноочагового инфаркта миокарда за 1972 г. по данным основных, в том числе специализированных, стационаров Ленинграда [5].

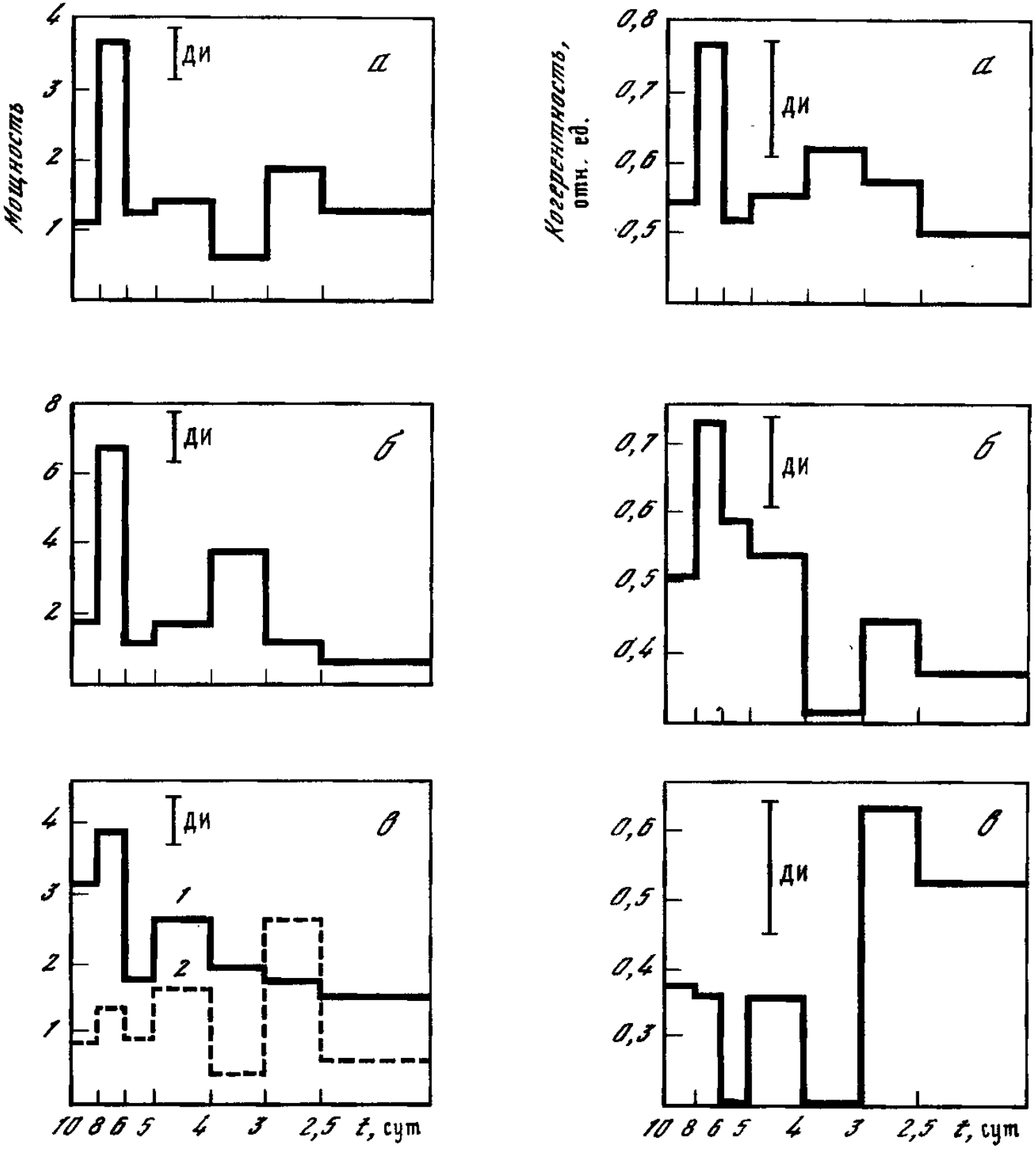
На рис. 20 представлены оценки спектров мощности частоты инфарктов миокарда и H, D, Z -компонент геомагнитного поля. При проведении исследований в диапазоне колебаний от 11 до 2 сут. максимальная энергия спектров частоты инфарктов миокарда, H и D -составляющих ГМП концентрируется в диапазоне колебаний с периодами 6–8 сут.

В результате оценки связи внешних физических воздействий и частоты инфарктов миокарда при помощи функций обычной, частотной и множественной когерентности установлено, что в диапазоне колебаний с периодами 6–8 сут существует статистически значимая, не зависящая от других воздействующих факторов связь интенсивности инфарктов миокарда с H, D- составляющими ГМП.

Оценки функций частной когерентности между частотой инфарктов миокарда и H, D, Z-составляющими ГМП представлены на рис. 21. С 95%-ной доверительной вероятностью истинные значения функции частной когерентности попадают в интервалы 0,82; 0,96 , 0,73; 0,9 для H- и D-составляющих ГМП соответственно. Из полученных результатов следует, что указанные факторы представляют собой независимые воздействия. Однако их совместное действие затрудняет достоверную оценку связи с помощью функции обычной когерентности, принимающей заниженные значения в диапазоне колебаний с периодами 6–8 сут. Малые числовые значения функции множественной когерентности (меньше 0,3 на всем диапазоне исследований) овидетельствуют о неадекватности аддитивной модели и дают основание для утверждения, что информация о воздействующих факторах в данной модели избыточна, а уровень мешающего шума велик.

Спектральный оостав геомагнитных возмущений зависит от процессов, протекающих на Солнце и в межпланетной среде. Так, синодическое вращение Солнца обусловливает в спектральном составе геомагнитных возмущений 27- и 14-дневную периодичность. Периоды, близкие к недельным (6–8 дней), по-видимому, формируются в спектре геомагнитных возмущений под влиянием волн скорости в солнечном ветре [6].

Функции биологических объектов также подвержены ритмическим колебаниям различной частоты /1,2/. Главнейшим корректором циркадианного ритма являются все геофизические факторы, связанные с вращением Земли вокруг собственной оси /1/. Полученные результаты приводят к заключению, что существуют датчики времени биологических ритмов с околонедельным периодом колебаний, причем амплитудно-частотная характеристика тракта биологического объекта, воспринимающая информацию об изменении параметров внешних физических воздей-



Р и с. 20. Оценки спектров мощности

а - частота инфарктов миокарда; б - Н-составляющая; в: I - Д-составляющая, 2 - H_z-составляющая геомагнитного поля. ДИ - 95%-ные доверительные интервалы для спектральной компоненты с периодами колебания Т = 6 ÷ 8 сут

Р и с. 21. Оценка функций частной когерентности между интенсивностью инфарктов миокарда и Н- (а), Д- (б) и H_z (в) -составляющими геомагнитного поля, ДИ - то же, что на рис. 20

ствий, содержит ряд дискретных составляющих в спектре, соответствующих циркадному и некоторым другим ритмам физиологических процессов.

Изучение околонедельных биологических ритмов открывает пути к изучению механизма влияния ГМП на биологические объекты и к отысканию целенаправленного действия на адаптационные функции организма.

Прогноз интенсивности 6–8-суточных колебаний геомагнитной активности позволит своевременно организовать комплекс лечебно-профилактических мерсприятий.

Литература

I. Алякринский Б.С. Основы научной организации труда и отдыха космонавтов. М.: Медицина, 1975. 206 с.
2. Хальберг Ф. Хронобиология. Кибернетический сборник. М.: Мир, 1972, № 9, с.189–239.
3. Бендат Д., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Мир, 1972. 463 с.
4. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. М.: Сов.радио, 1975. 207 с.
5. Ганелина И.Е., Чурина С.К., Савсяров Н.В. Состояние физических факторов внешней среды и частота основных осложнений острого инфаркта миокарда. – Кардиология, 1975, № 10, с.17-21.
6. Почтарев В.И., Птицына Н.Г., Чернин А.Д. Недельные геомагнитные вариации и их возможная связь с волнами скорости в солнечном ветре. – Геомагнетизм и аэрономия, 1979, № 3, с.570-571.

5.3. Предсмертные изменения ритмов двигательной активности вьюна в летальном периоде

Выявление различных временных регуляторных механизмов у животных и особенно связь этих механизмов о процессами старения и смерти – одна из актуальных и слабо изученных проблем биологии и медицины. Важным звеном в этой проблеме является разработка способов, позволяющих отодвинуть момент наступления смерти живых систем (в том числе человека) к естественным для каждого вида организмов биологическим границам. В этой связи целесообразно провести исследования на животных и проанализировать ситуации, ведущие к смерти организма. Следует использовать методы непрерывного получения объективной информации аналогового характера одновременно по нескольким каналам. Такой подход позволит восстановить картины наступления смерти за период от первых проявлений патологических процессов до последних мгновений жизни организма.

Известная литература по связи причин гибели живых систем с биологическими ритмами в основном относится к человеку и высшим позвоночным. Так, в обзоре [1] анализируется смертность от инфек-

ционных заболеваний, совпадающая с фазой максимальной чувствительности к токсинам в суточном ритме человека и сходство кривых окологодовых ритмов заболеваемости от разных болезней. Факторы старения организмов, приводящие к смерти, изложены в работах /2-7/. Процессы старения и омерти как важные регуляторные механизмы рассматриваются /8/ таким образом, что в общечеловеческом плане человеческая смерть (индивидуальная) становится необходимым условием прогресса вида.

Настоящая работа является результатом анализа накопленной за 10 лет аналоговой информации о предсмертном поведении вьюнов. В непрерывных многосуточных опытах с различными воздействующими факторами спределяли влияние ПМП, изменение гидростатического давления, соизмеримого с колебаниями атмсферного, действие температур 4° и 21° на суточную двигательную активность вьюнов. Этот анализ раскрыл объективную картину процесса наступления смерти вьюнов и дал возможность прогнозировать наступление и развитие критических состояний в организме, ведущих к смертельному исходу, по ряду поведенческих реакций - двигательной активности.

При изучении биоритмов двигательной активности вьюнов наблюдались случаи гибели одного из участников длительного эксперимента. Все опыты соответствовали единым правилам, уотановленным для хронобиологии. Вьюны отлавливались в питьевых водохранилищах Подмосковья, для спытов отбирались самые здоровые и половозрелые ососи, которые помещалиось индивидуально в отдельные аквариумы на срок не менее 3-5 недель. Затем по двум или более каналам производилась аналоговая запись суточной активности, температура, освещённость, давление и другие параметры были отабилизированы. На протяжение всего опыта поддерживалась температуры $\pm 1^{\circ}$, длительность фоторежимов ± 2 мин. Запись активности вьюнов в зависимости от поставленных задач производилась непрерывно в течение всегс опыта, длящегося от 3 до 30 сут. Аналоговая запись двигательной активности водных животных осуществлялась при помощи специальных датчиков по методике, разработанной автором.

Все зарегистрированные случаи смерти вьюнов, наступившей во время опытов, сведены в табл.7, из которой следует, что независимо от года, сезона, места, температуры, фоторежима все случаи наступления смерти (кроме № 5) приходятся на светлое время естественных суток.

Наблюдения над вьюнами в природных водоёмах, как и в лаборатории /9,10/, показали, чтс вьюны ночные животные и увеличение уровня двигательной активности у них отмечается в природе в среднем с 21 до 02 ч ночи.

На рис.22 сопоставлены все зарегистрированные случаи смерти с "акрофазой" - увеличение или подъем максимального значения уровня

Таблица 7

Зарегистрированные случаи смертей вьюнов в хронобиологических опытах

№	Дата	Фоторежим	Температура, °С	Наступление смерти, время суток
I	I4.09.73	СТ=I2:I2	2I	I3-I4
2	4.I0.73	СТ=I2:I2	25	I4
3	7.07.76	ТТ	4	8-I0
4	8.07.76	ТТ	4	9
5	5.05.77	ТТ	2I	3
6	4.09.77	ТТ	4	6
7	5.I0.77	ТТ	4	I2-I4
8	26.I0.77	СТ=6:6	2I	I7
9	28.I0.77	СТ=6:6	2I	II
I0	4.II.77	СТ=6:6	2I	I0
II	I7.I2.77	СТ=6:6	2I	I0
I2	25.I2.78	СТ=6:6	2I	I0

двигательной активности - суточного ритма активности вьюнов в природе.

Видно, что максимум распределения смертей, независимо от условий опыта, находится в противофазе с акрофазой суточного ритма двигательной активности вьюнов. Смерть наступает не в период повышенной активности рыб в природе, а в период покоя, при низком уровне активности вьюнов. Попытки найти объяснение обнаруженному в литературных источниках пока не привели к положительным результатам. Более того, проведённый анализ имеющейся информации, сопоставления описанного выше явления со многими природными показателями, такими, как колебания давления, температура, освещённость, осадки и т.д. /II/ не выявили достоверных совпадений с картиной наступления смерти вьюнов. Возможно влияние космических сил, действующих через "информационное окно" в атмосфере Земли, в диапазоне слабых электромагнитных полей /I2/.

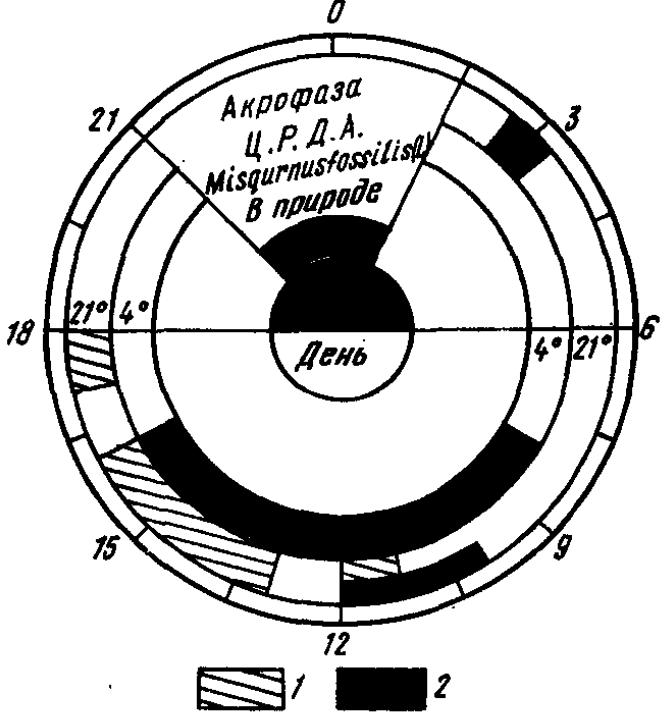
Анализ аналоговой информации помог наряду с другими факторами выявить картину поведения вьюнов в последние часы жизни. У всех рыб наблюдается в общих чертах единая картина поведения, предшествующая наступлению смерти, независимо от условий эксперимента, выражающаяся в резком увеличении уровня двигательной активности по сравнению с предшествующими часами. Этот предсмертный всплеск двигательной активности вьюнов - продолжительное /не менее I-2 ч/ и достаточно мощное /до 60-80% от нормы/ увеличение максимального значения уровня двигательной активности.

На рис.23 представлены отдельные фрагменты предсмертного поведения вьюнов, типичные для всех случаев зарегистрированных смертей. Видно,

Р и с.22. Сопоставление акрофазы суточного ритма двигательной активности вьюнов в природе с моментами смертей во время опытов

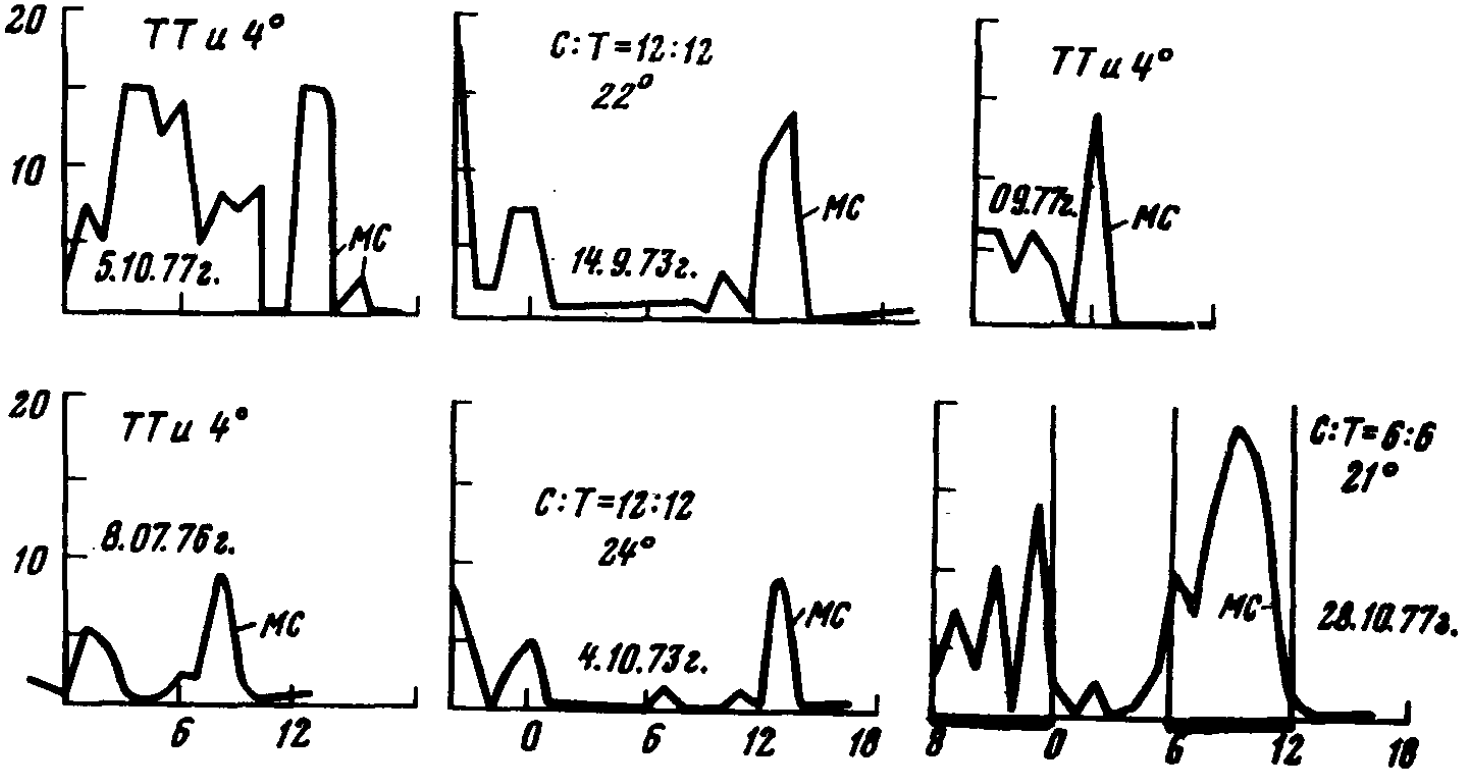
I – смерть в светлую фазу

2 – смерть в тёмную фазу



что предсмертный всплеск двигательной активности вьюнов имеет сходные формы при различных фоторежимах и температурах, приобретая вид островершинного пика.

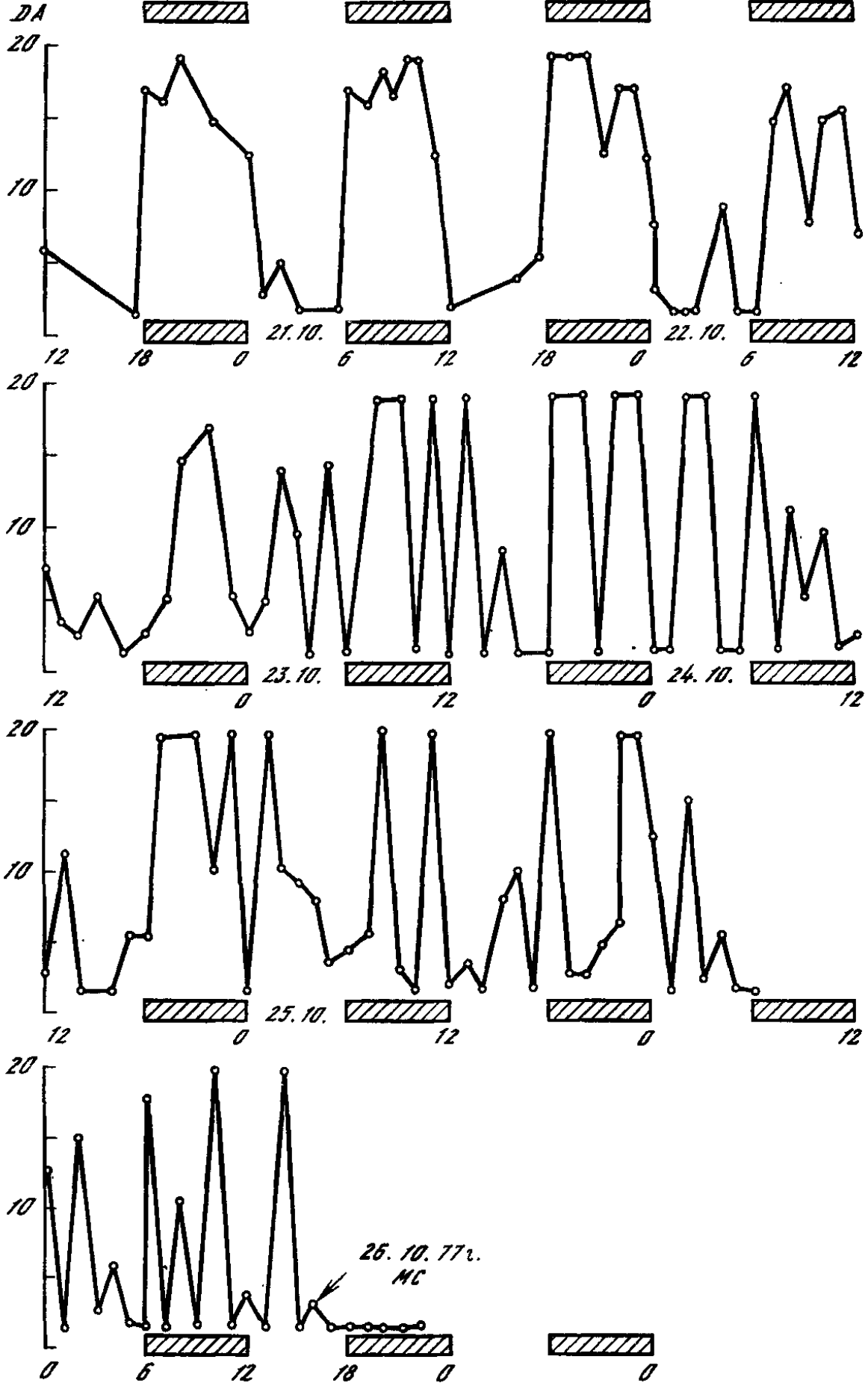
При изучении влияния различных фоторежимов на суточную активность вьюнов было обнаружено, что у рыб, полностью адаптированных к условиям опыта и имеющих чёткий ритм, соответствующий установленному фоторежиму, происходят резкие нарушения в ритме двигательной активности за несколько естественных суток до смерти. Характерная картина таких изменений представлена на рис. 24. В верхней его части виденчёткий ритм активности вьюна, типичный для нормального животного, у которого в темновой фазе фоторежима СТ=6:6 при 21°С происходит максимальный подъём уровня двигательной активности. Световая фаза характеризуется в норме минимальной активноотью как



Р и с. 23. Предсмертный всплеск ДА вьюнов.

в природных водсёмах, так и в лабораторных условиях. Состояние испытуемсго вьюна не отличается ст нормального, т.к. картина ритма суточнсй активности (а экспериментальные "сутки" при фоторежиме СТ=6:6 равны I2 часам) характерна для всех вьюнов, нахсдящихся в этих условиях. На рис.24, а и б можно проследить образование и развитие процесса десинхроноза, когда происшедшие внутри организма вьюна какие-то серьёзные изменения привели к нарушению четко работавших ранее механизмов биологических часов и систем, синхронизирующих их функционирование с внешними синхронизаторами ритма, в данном случае - с фоторежимом СТ=6:6. Десинхроноз, как это видно на рис.24, проявил себя за 4 естественных (24-часовых суток). Вс всех зарегистрированных случаях десинхроноз проявился в резком изменении ритмики поведения вьюнов, в изменении соотношений цифровых значений уровней двигательной активности в соответствующих фазах фоторежима СТ (макоимум - в темнсвой, минимум - в световой фазе ритма). Так, световая фаза СТ=6:6 от 00 до 06 ч 22.I0.77г. заметно отличается от предыдущей световой фазы. С этого момента наступает потеря вьюном фоточувствительности и опособности к анализу изменяющихся условий. Импульс двигательной активности, всзникший в 04 ч 22.I0. 77г., по=видимсму, является первичным сигналом внутренних повреждений, вызвавших нарушение ритма активности вьюна. С этими повреждениями организм пытается бороться несколько циклов СТ=6:6 до 23.I0. 77г., ксгда десинхроноз сигнализировал о катастрофических нарушениях, происходящих внутри организма вьюна, приведших его к гибели через 6 экспериментальных суток.

Предсмертные картины суточной активности вьюнов, выявившие развитие десинхроноза, можно объяснить особенностями строения мозга у костистых рыб, у которых нет ещё зачатков мозговых корковых структур. Несмотря на разнообразие в деталях строения мозга, у рыб имеются общие черты - отсутствие интегральных областей, полное разобщение мозговых центров разных анализаторов, - что позволяет в ряде случаев переносить данные эксперимента с одного вида на другой /I3/. Следует отметить, что у рыб на каждый раздражитель, для которого есть рецепторные аппарат, может образован условный рефлекс. О затухании условных рефлекссв у рыб (а четкий I2-часовой ритм двигательной активности, вызванный фоторежимом СТ=6:6, можно рассматривать как условно-рефлекторную реакцию,) данных мало /I,4/, В основном мнение заключается в том, что прочные условные рефлексы затухают с трудом, для этого требуются многочисленные положительные стимулы. Биологическое значение прочности двигательных условных рефлексов заключается в том, что двигательный анализатср теснее всегс связан с одним из самых могучих инстинктов организма - инстинктом самосохранения /I5/. Регуляция любых ритмических процессов в организме осуществляется по принципу обратных связей /I6,I7/,



Р и с. 24. Предсмертное развитие десинхроноза – нарушение четкого ритма двигательной активности вьюна за несколько суток до смерти

По оси ординат – двигательная активность (ДА)

т.е. любые отклонения в организме - своего рода сигнал для регуляции этого отклонения.

Основываясь на известных данных о том, что двигательная активность является главным фактором, непосредственно влияющим на интенсивность клеточного деления, можно подойти к решению некоторых проблем поведения и митотической активности диких животных, когда о ритмических процессах внутри организма возможно судить только по косвенным данным - через ритмы двигательной активности. С етих позиций следует проанализировать картины предсмертного поведения вьюнов.

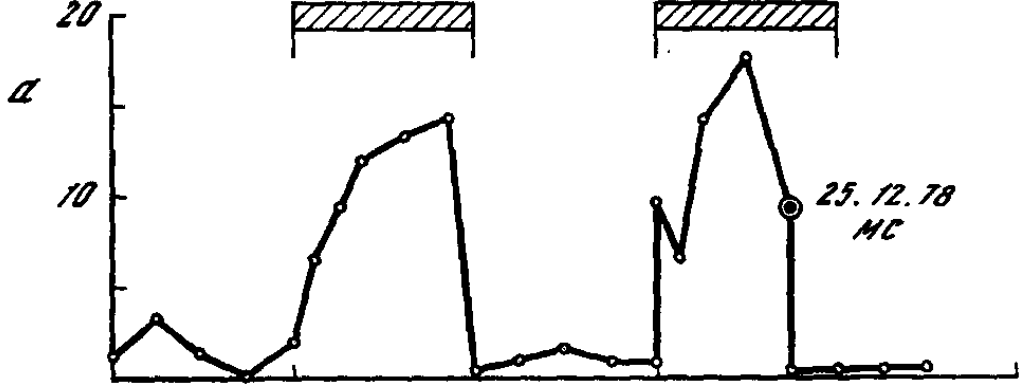
На рис.25 представлены фрагменты опытов с вьюнами, умершими во время экспериментов. Каждый фрагмент представляет ообой наиболее характерную картину поведения для соответствующей группы вьюнов.

На рис.25,а представлен фрагмент опыта, в котором смерть вьюна наступила без повреждения структур биологических часов. Это видно из того, что ритм двигательной активности сохранился до последних минут жизни вьюна без потери чувствительности к фоторежиму.

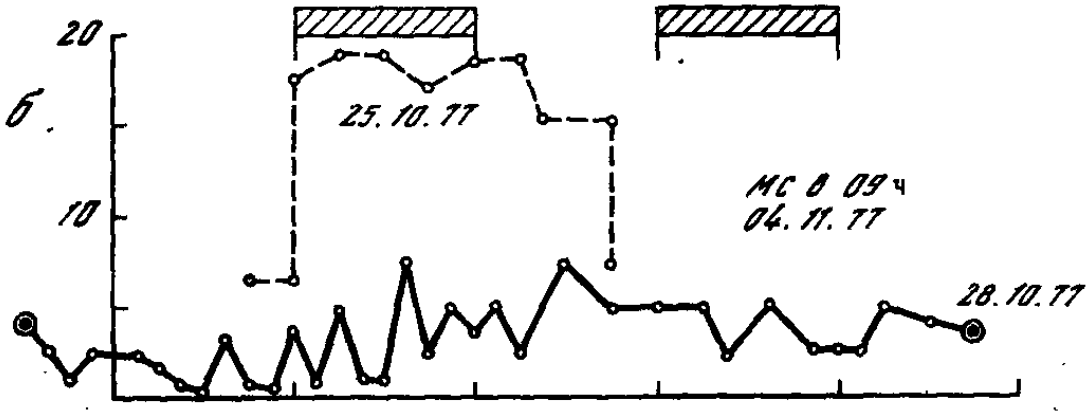
На рис.25,б показан фрагмент типичного предсмертного поведения с характерными для данной группы вьюнов повреждениями "синхронизирующих систем", которые отвечают только за связь внутренних биологических часов с жизненно важными факторами внешней среды. Повреждение этих систем имеет, по-видимому, менее важное значение для организма. Поведение вьюнов, у которых произошли нарушения в "синхронизирующих системах", отличается сильно развитым десинхронозом за много суток до смерти животного и характеризуется монотонным с невысоким уровнем активности поведением. В данном случае десинхроноз выявлен за 10 суток (естественных) до смерти и сопровождался полной потерей реакции вьюна на смену фоторежима. Монотонное понижение уровня двигательной активности не превышает 20% за последние 6 суток до смерти.

На рис.25,в представлено повреждение структур внутренних биологических часов. Отличительная особенность поведения этой группы вьюнов - наличие чёткой реакции на изменение фоторежима, утрата которой наблюдается только за сутки до смерти рыбы. Амплитуды уровней двигательной активности вьюнов этой группы долго сохраняются максимальными и только за несколько часов до смерти происходит резкий спад активности. Развитие десинхроноза в данном случае проявляется особенно ярко в последние часы жизни вьюна. По-видимому, механизмы биологических часов играют важную роль в гемеостазе организма, поэтому повреждения, затрагивающие нормальную работу этих систем, проявляются в быстром затухании суточного ритма двигательной активности вьюнов.

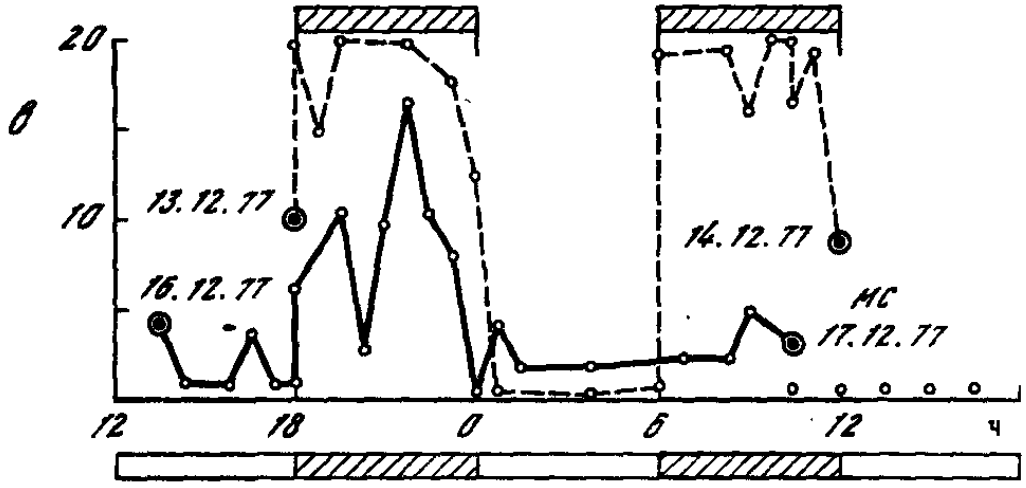
На рис.25,г представлено схематическое изображение рабочей гипотезы, разработанной на основании результатов многолетних экспери-



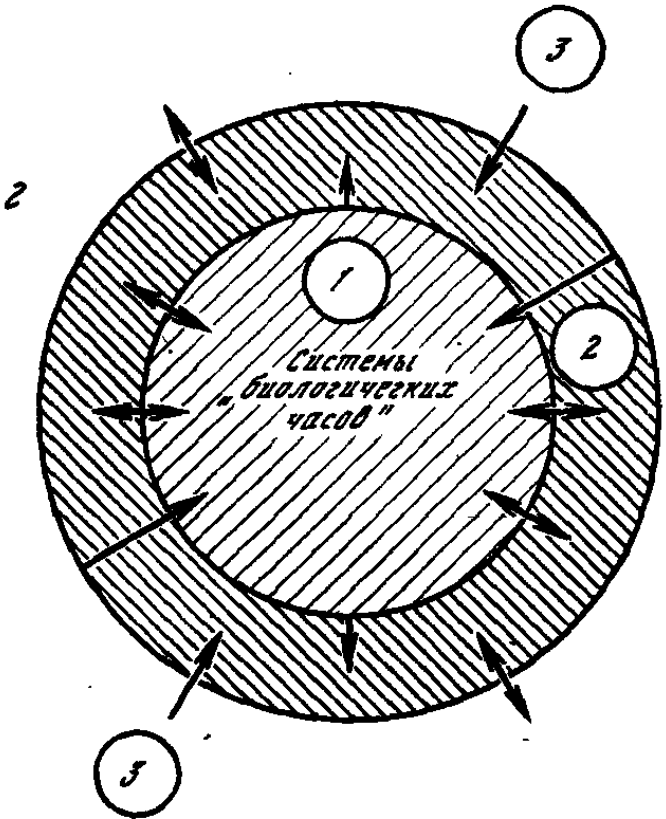
а.Нет повреждений временных структур



б.Смерть при повреждении "синхронизирующих систем"



в.Смерть при повреждении "внутренних биологических часов"



I - Внутренние биологические часы,
2 - Синхронизирующие системы,
3 - Внешняя среда,
-- "отрицательные" (нормальные)
— "положительные" (возбуждение) обратные связи в организме

Р и с. 25. Типичные картины наступления смерти вьюнов и гипотеза о связи "синхронизирующих систем" с биологическими часами и внешней средой

ментальных исследований предсмертного поведения вьюнов. Гипотеза о взаимосвязи внутренних биологических часов с "синхронизирующими системами" - самостоятельными функциональными структурами, - посредством которых и осуществляется связь этих "часов" с жизненно важными факторами внешней среды, благодаря положительным и отрицательным обратным связям.

Итак, исследования показали, что все зарегистрированные случаи смерти вьюнов приходятся на светлое время природных суток независимо от места, времени и условий опыта, что находится в противофазе с естественным в природе увеличением уровня двигательной активности, приходящимся на 2I-02 ч ночи. При некоторых формах десинхроноза наступлению смерти предшествуют характерные изменения в суточной ритмике двигательной активности. Выделены три типа условий наступления смерти, что является следствием функциональных различий структур временных анализаторов рыб.

Литература

I. **Reinberg A. Biometeorology, 1972, 5, N 2, p. 80-98.**

2. Воронов С.Н. О продлении жизни. Л.: Медицина. Ленингр.отд-ние. I923. 240 с.
3. Нагорный А.В. Старение и продление жизни. М.: Изд-во АН СССР, I948. 320 с.
4. Россет Э. Продолжительность человеческой жизни. М.: Наука,I98I. 382 с.
5. Пархон К. Возрастная биология. Л.: Медицина. Ленингр.отд-ние, I966. 480 с.
6. Комфорт К. Биология старения. М.: Высш.школа, I967. 360 с.
7. Дильман В.М. Почему наступает смерть. Л.: Медицина. Ленингр. отд-ние, I972. 246 с.
8. Коган А.Б., Режабек Б.Г., Наумов Н.П., Чороян О.Г. Биологическая кибернетика. М.: Высш.школа, I977. 408 с.
9. Маршуков Ю.В. Влияние неоднородного ПМП на поведение вьюна. - В кн.: Бионика. М.: Наука, I973, ч.4, с.76-8I.
I0. Маршуков Ю.В. Воздействие МП, РиТ на циркадную ритмику двигательной активности рыб. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действий ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, I975, т.I, с.I05-I09.
II. Никольская Н. . Наблюдения метеорологической обсерватории МГУ. М.: Изд-во МГУ, I983. 8 с.
I2. Фролов В.А. Об информационном воздействии ЭМП на живые объекты. - В кн.: Физико-математические и биологические проблемы действий ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, I975, т.I, с.3I3-3I9.
I3. Праздникова Н.В. Высшая нервная деятельность рыб. - В кн.: Био-

логические основы управления поведением рыб. М.: Наука, 1970, с.36-39.
14. Завадовский М.М. Противоречивое взаимодействие между органами в теле развивающегося животного. - Учен.зап.МГУ, 1947, вып.47, с.1-80.
15. Шмальгаузен И.И. Факторы эволюции. М.: Наука, 1968. 480 с.
16. Bullough W.S. Proc. Roy. Soc. London. Ser. B, 1948, vol.135, p.879.
17. Вольф Д.Л. Суточный ритм смертности и спонтанной локомоторной активности мышей. - Тез.докл.2-го симпоз.СССР-ГДР. Тюмень, 1982 г., с.42.

5.4. Влияние Луны на биоритмы

Известно, что действие Солнца на биосферу в значительной степени регулируется и дополняется множеством факторов, среди которых особого внимания заслуживает воздействие Луны. Это объясняется , в частности, ее близостью к Земле, вследствие чего, например, гравитационное влияние Луны на нашу планету сравнимо с солнечным. Все это дает основание по-новому отнестись к многочисленным разрозненным наблюдениям о влиянии Луны на живые организмы и решать этот вопрос с общих методологических позиций в рамках единого научного направления о влиянии космических тел на процессы в биосфере.

Известны данные о биоритмах /1/, близких к периодам явлений, связанных с движением Луны (лунные биоритмы) и наиболее ярко выраженных у организмов, обитающих в прибрежной зоне открытых морей и океанов и адаптировавшихся к чередованию океанических приливов и отливов. Приливно-отливные колебания уровня воды имеют наряду с полусуточными и суточными компонентами также и более длительные - месячные и полумесячные. Временной ход этих колебаний определяется прежде всего лунными сутками, а также синодическим обращением Луны (периодом смены лунных фаз). Во многих случаях лунные биоритмы проявляются в виде циркадных наряду с солнечными, для которых, как известно, основным ориентиром служат солнечные сутки (в среднем 24 ч), что приводит к сложной картине биоритмов. Однако лунная суточная компонента надежно отделяется от солнечной суточной.

Лунные биоритмы к настоящему времени установлены у диатомей, плоских червей, ракообразных, моллюсков, некоторых рыб и птиц, обитающих в литоральной зоне. Они отличаются очень точной привязкой к местным условиям прилива и могут долгое время сохраняться без изменения фазы в лабораторных условиях, в которых непосредственное приливно-отливное изменение уровня воды отсутствует. Наиболее замечательным, на наш взгляд, свойством лунных биоритмов в лабораторных условиях является их подстройка (в течение одной-двух недель) под местную кульминацию Луны, которая,

как правило, не совпадает с максимумом приливной волны. Поразительно, что этот эффект проявляется даже в тех случаях, когда наблюдения проводятся в глубине континента на географической долготе, существенно отличающейся от долготы места обитания.

Полумесячные и месячные лунные биоритмы наиболее заметны в ритмах размножения. Обычно это выражается в привязке процесса размножения к определенной фазе Луны (водоросли диктиота, червь палоло, рыба леурестес, японские морские лилии, некоторые виды хирономид и поденок). Особенно интересны ритмы размножения беспозвоночных полихет, у которых ежегодный кратковременный сезон размножения приурочен не только к определенной фазе Луны, но и к определенному часу суток. В результате получается то же самое, что и при согласовании лунного и солнечного календарей - возникает известный из глубокой древности 19-летний цикл Метона [1].

Особо следует остановиться на так называемых свободно текущих циркадных биоритмах [1]. Часто для их изучения организм помещается в так называемые изолированные условия, когда, по мнению экспериментатора, устраняются все периодические внешние факторы и наблюдения якобы позволяют выяснить истинную периодичность эндогенных биоритмических процессов. При этом, как правило, наблюдаются отклонения периода биоритма от 24-часовой длительности. В частности, наблюдается "затягивание" периодов до 24,5-25ч. Если эти факты сопоставить с данными о лунных биоритмах и принять во внимание, что в действительности от многих периодических внешних факторов отстроиться либо невозможно (вариации силы тяжести), либо очень трудно (геомагнитные вариации, электромагнитные шумы), то можно высказать предположение, что для затягивающихся циркадных биоритмов естественным временным ориентиром служат лунные сутки. Поэтому целесообразно выполнить анализ данных о затягивающихся циркадных свободнотекущих биоритмах с целью выделения лунной компоненты.

Анализ 18-летних ежедневных дневниковых записей позволил высказать [2] утверждение, что эмоциональной, сексуальной и интеллектуальной активностям свойственны периоды в 7,14,21,28-30 сут. Такие же периоды (7-8, 13-15, 28сут) установлены в отношении повторяемости сновидений; известны данные о 28-суточной периодичности в обострении неврологических заболеваний, течении маниакально-депрессивных психозов, приступов эпилепсии, мигрени, неврастении, периодических параличей, истерических припадков, явлений алкогольного запоя [2].

По мнению автора работы [2] многодневные биоритмы имеют эндогенное происхождение, но соответствующие биологические ритмичные процессы запускаются внешними факторами, носящими, как правило, случайный, хаотический характер. Вследствие этого картина биоритмов может оказаться чрезвычайно запутанной из-за наложения нескольких периодических процессов, каждый из которых начался случайно. В жизни каждого человека существуют так называемые узловые точки, характеризующиеся "прояснением

и усилением душевной жизни, особой чувствительностью организма, особенностью по отношению к другим узловым точкам" [2], которые проявляются в возрасте 6-7 лет, I2-I3 лет, I8-I9 лет, 3I-32 года, 37-38 лет, 43-44 года, 50 лет, 56-57 лет и т.д. В среднем получается многолетний ритм с периодом около 6-7 лет.

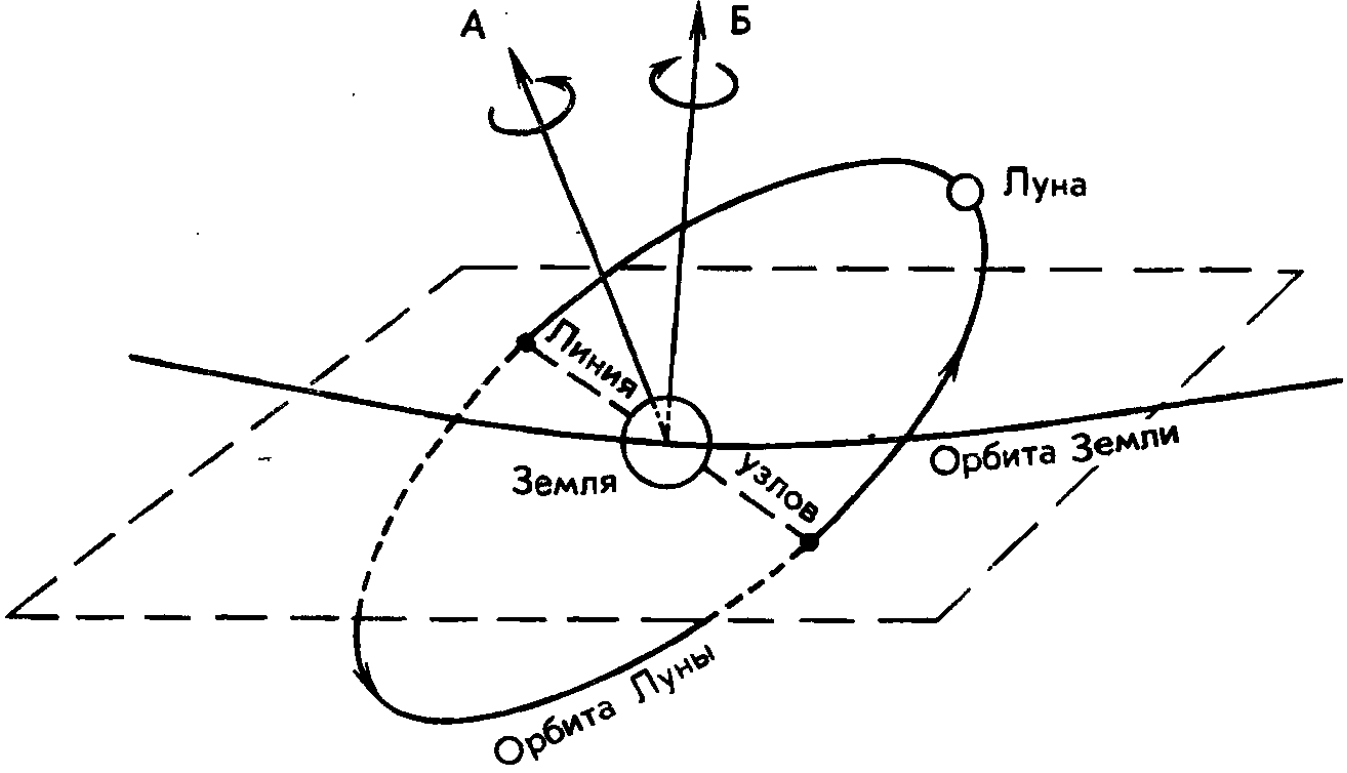
В дальнейшем наблюдения над многодневными биоритмами привели к появлению так называемой теории физических, эмоциональных и интеллектуальных биоритмов с периодами в 23, 28, 33 сут соответственно [3]. Если условно изображать биоритмы синусоидами, зависящими от времени по закону $\sin\frac{2\pi}{T}t$, где T - период биоритма, t - текущее время, то согласно этой теории все три биоритма начинаются с нулевой фазы в момент рождения, отличаются высокой точностью и характеризуются каждый своим критическим днем - моментом, когда фаза биоритма равна πn (n-целое). Особенно внимательно рекомендуется при этом относиться к двойным и тройным критическим дням, когда одновременно два или три биоритма имеют указанную фазу.

Нами проведена критическая оценка гипотезы [4] и предложена ее модификация. Предположим, что многодневные биоритмы связаны с движением Луны (рис. 26) и обратим внимание на то, что из четырех ее околомесячных периодов два (период драконического месяца $T_д$ - интервала между двумя последовательными прохождениями Луны через один из узлов ее орбиты и период аномалистического месяца T_a - интервала между последовательными прохождениями через перигей) почти симметрично отклоняются от периода сидерического месяца T_c = 27,322, определяющегося движением Луны относительно неподвижных звезд ($\frac{1}{2}T_a + \frac{1}{2}T_д$ = 27,383). Поэтому за основу расчетов предполагаемых лунных биоритмов можно взять полусумму T_2 синодического T_0 = 29,530 (периода чередования лунных фаз) и сидерического T_c периодов: T_2 = 28,426 сут. Полагаем, что должны существовать еще два равноотстоящих от T_2 периода, причем в соответствии с наблюдениями длительность первого должна быть близка к 23 сут. Вводим период $T_1 = \frac{5}{6}T_2$ и период $T_3 = \frac{7}{6}T_2$. Таким образом, в основу расчетов полагаются три периода: T_1 = 23,69 сут; T_2 = 28,43 сут; T_3 = 33,I6 сут.

Предполагаем, что дни перестройки организма наступают через каждую четверть этих периодов. По истечении 248,73 сут. (биологический год) происходит совпадение фаз всех трех биоритмов. В пределах этого периода существует I5 двойных критических дней (совпадение фаз двух биоритмов) и один тройной критический день (совпадение фаз всех трех биоритмов).

Несмотря на то, что предложенный нами способ расчета пока еще нельзя назвать достаточно обоснованным, в пользу выбора периодов T_1, T_2, T_3 можно привести следующие доводы.

I. Если многодневные биоритмы связаны с движением Луны, то период T_2 в среднем удачно характеризует это движение.



Р и с. 26. Орбита Луны и ее движение (вращение перигея, определяющего аномалистический месяц, вокруг оси А, вращение линии узлов, определяющей драконический месяц, вокруг оси Б)

2. Длительность 13 больших биологических циклов (3233,5 сут) практически совпадает с периодом движения перигея (3232,6 сут), т.е. введение большого биологического цикла также оправдано.

3. Девятая часть большого биологического цикла (27,4 сут) практически совпадает с длительностью аномалистического месяца.

4. T_1, T_2, T_3 близки к установленным экспериментально 23-, 28- и 33-суточным периодам.

5. Длительность 10 T_2 = 284,3 сут практически совпадает со средней продолжительностью нормальной беременности, составляющей согласно современным данным 280-285 сут.

6. Длительность 5 T_2 = 142,1 сут близка к сроку первого шевеления плода (в среднем на 140 дне беременности).

7. Недостаточно корректное использование периода T_0 и введение периода T_2, учитывающего сидерическое движение Луны, подтверждается аналогичными результатами для циркадных ритмов: имеются данные о наземных организмах, у которых обнаружены колебания биоритмов, связанные со звездными сутками [1].

Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что предложенные нами периоды могут быть пригодны не только для изучения многодневных биоритмов, но и для уточнения циркадных.

Таким образом, введенные нами периоды T_1, T_2, T_3 согласуются как с астрономическими, так и с некоторыми биологическими периодами. Интервалы времени между критическими днями, разумеется, лишь приблизительно описывают ход многодневных биоритмов. Их следует рассматривать

как некоторые временные опорные точки, в окрестности которых могут происходить смены физиологического состояния, аналогично тому, как для циркадных биоритмов временным ориентиром служит длительность суток.

Переходя к обсуждению возможных механизмов селенобиологических связей, следует обратить внимание на существенное обстоятельство методологического характера, обусловленное близостью периодов движения Луны и периода вращения Солнца. В гелиобиологии принято анализировать временные ряды на основе 27-суточного периода вращения активных областей Солнца. Однако активные области формируются в широком интервале гелиографических широт. Учитывая дифференциальное вращение Солнца, нетрудно убедиться, что в проявлениях солнечной активности встречаются периоды, сколь угодно близкие к лунным (например, на широте $\pm 27^{0}$ период вращения активной области составляет 28 сут, т.е. длительность, обычно ассоциируемая с Луной). С этой точки зрения представляет интерес переработка некоторых результатов гелиобиологии, полученных в соответствии с 27-суточным солнечным календарем, согласно лунному календарю с целью выявления лунной компоненты в этих данных. Возможна, правда, и другая точка зрения.

Согласно [2] ритмическая организация движения материи имеет общую основу, пронизывает едиными ритмами живую и неживую материю, так что и ритмы движения небесных тел, и ритмы биологических процессов являются следствием единой более общей причины - законов организации материи. В известной степени эта точка зрения согласуется с современными представлениями об эволюции солнечной системы, о возникновении в ней резонансов (одним из которых и может оказаться отмеченное выше совпадение периодов лунного и солнечного движений). С чисто астрофизических позиций ясно также, что разделить влияние Луны и Солнца на биосферу трудно. Как и в гелиобиологии, селенобиологические связи могут быть либо опосредованными, либо прямыми. Опосредованные связи могут осуществляться за счет приливных эффектов в атмосфере, геомагнитных возмущений, изменения электрического состояния атмосферы, а также влияния Луны на метеорологические факторы (температура, давление, влажность). Различие этих механизмов будет определяться различными периодами. Например, ход атмосферных приливов, грозовая деятельность, выпадение осадков определяются прежде всего синодическим месяцем [5], гравитационное воздействие Луны на метеорную пыль, выпадающую в атмосферу, - драконическим месяцем [6]. Следует отметить, что сами по себе вопросы о влиянии Луны на метеорологические факторы [5,6], о влиянии последних на человеческий организм [7] находится лишь в начальной стадии разработки, так что изучение опосредованных механизмов селенобиологических связей тесно переплетается с актуальными вопросами космической метеорологии и биометеорологии.

Среди механизмов, объясняющих влияние Луны на биологические объекты, следует отметить вариации геомагнитного поля, обусловленные Лу-

ной. Соответствующая гипотеза развивается в работе /I/. Кроме того отметим гравитационную гипотезу /8/, опирающуюся на данные гравитационной биологии /9/ и физиологии растений /I0/. В этой гипотезе предполагается существование клеточных и молекулярных механизмов, обеспечивающих восприятие живыми организмами не только гравитационных сил, но и их малых (в частности, приливных) изменений. Можно предположить ряд биофизических моделей таких механизмов /8/, которые пригодны для объяснения гравитационно-биологических эффектов вообще.

Особого внимания заслуживают разрабатываемые в последнее время физические модели нетеплового воздействия слабых микроволн на биологические системы /II, I2/. Эти модели, основанные на представлениях о возникновении когерентных возбуждений в сильно поляризованных биологических системах (биомембраны, клеточные органеллы, биомолекулы) под влиянием слабых ЭМП, пригодны для объяснения также и лунных биоритмов.

Таким образом, решение вопроса о механизмах селенобиологических связей тесно связано с современными проблемами космической метеорологии, биометеорологии, гравитационной биологии и вообще с проблемами влияния слабых внешних полей на биологические объекты. Для разработки механизмов могут оказаться пригодными модели, основанные на представлениях и методах физики твердого тела.

Литература

I. Браун Ф. Биологические ритмы. - В кн.: Сравнительная физиология животных. Т. 2, М.: Мир, I977, с. 2I0-260.
2. Пэрна Н.Я. Ритм, жизнь и творчество. Л.; М., I925. I38 с.
3. Neil D.E., Sink F.L., Laboratory investigations of biorhytms - Aviat. Space environ. Med., 1976, vol. 47, N 4, p. 425-429.
4. Агаджанян Н.А., Горшков М.М., Котельник Л.А., Шевченко Ю.В. Ваша работоспособность сегодня. М.: Сов. Россия, I978. 85 с.
5. Bradley D.A., Woodbury M.A. Lunar synodical period and widespread precipitation. - Science, 1962, vol. 137, 7 sept, p.748-749.
6. Adderley E.E., Bowen E.G., Lunar component in precipitation data.- Scienoe, 1962, vol. 137, 7 sept, p. 749-750.
7. Weihe W.H. The application cf meteorology in medical science.- Int. J. Biometi., 1976, vol. 20, N 2, p. 157-165.
8. Горшков М.М. Гравитация и жизнь. - В кн.: Люди, пространство и время. М.: Знание, I976, с. I22-I43.
9. Смитт А.Г. Основы гравитационной биологии. - В кн.: Основы космической биологии и медицины. Т.2, кн.I, М.: Наука, I975, с.I4I-I76.
I0. Либберт Э. Физиология растений. М.: Мир, I975. 580 с.
II. Кайзер Ф. Нелинейные колебания (предельные циклы) в физических и биологических системах. - В кн.: Нелинейные электромагнитные волны. М.: Мир, I983, с. 250-287.
I2. Барнс Ф., Ху Ч. Нелинейные взаимодействия электромагнитных волн с биологическими материалами. - В кн.: Нелинейные электромагнитные волны. М.: Мир, I983, с. 286-308.

ГЛАВА II. МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОДЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

I. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ

I.I. Общие аспекты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей.

Эффекты, связанные с энергетическими (в первую очередь, тепловыми) влияниями электромагнитных полей на биологические объекты, давно и подробно изучаются в традиционных разделах биофизики [1]. Для электромагнитобиологии, формирующейся как самоотоятельное научное направление, наибольший интерес представляют аспекты действия ЭМП, связанные не с мощностью воздействия и поглощенной энергией, а с сигнальными характеристиками, с той информацией, которая закодирована в соответствующих полях и излучениях и является значимой для биосистемы. Среди различных методов анализа биосистем (с учетом ЭМП) можно выделить три общих подхода: кибернетический, синергетический и квантовый.

Кибернетический подход лежит в основе изучения структуры и взаимосвязи подсистем. К нему относятся вопросы хранения, приема и передачи информации, алгоритмов ее переработки, определения поведения системы как функции от ее "входов" и состояния.

Общими кибернетическими требованиями [2] к биосистеме, способной перерабатывать информацию, являются наличие внутренних ресурсов, способных освобождать избыточную энергию под действием сигнала (неравновесность [3]); действие специализированной структуры, настроенной на прием определенного сигнала (рецептор); наличие специального механизма (усилитель), при помощи которого рецептор, воспринимая сигнал, высвобождает энергию, затрачиваемую на реакцию системы в форме работы исполнительного устройства (эффектора). Рецептор находится, вообще говоря, под влиянием множества неспецифических факторов различной физико-химической природы. Важным условием его эффективной работы является способность избирательно реагировать на сигналы именно той модальности, для восприятия которой данный рецептор предназначен [4].

Исследование механизмов биологического действия ЭМП, как и многих других физических факторов, заключается в изучении путей преобразования внешнего сигнала в реакцию живой системы. Ответная реакция биосистемы на слабый сигнал связана с биологическим усилением, во многом определяющим эффект биологического воздействия внешних факторов. В последние годы наметился некоторый прогресс в установлении конкретных механизмов биологического усиления, в частности в определении химических "посредников", несущих сигнал о событиях, совершающихся на поверхности клеточной мембраны, в цитоплазму [5].

Говоря о кибернетическом подходе в целом, следует подчеркнуть, что исследования по информационной емкости биосистем, количеству информа-

ции, содержащейся в сигналах, системам кодирования и передачи информации, пропускной способности и шумам оказались исключительно плодотворными. Так, применение кибренетического подхода к зрительной системе позволило поставить ее изучение на качественно новый уровень /6/.

В биологичеоких исследованиях наряду с количеством информации ощественное значение имеет понятие ценности информации, эквивалентное инструктирующему, программирующему значению в реализации конкретного физического процесса /7/. Для действия ЭПМ, по-видимому, целесообразно определять ценность информации как приращение вероятности достижения эффекта, который может быть фиксирован, например, как реакция живого организма на внешнее воздействие.

Синергетичеокий подход связан с изучением характерных особенностей сиотем, далеких от состояния равновесия /8-10/. Значительную роль в его формировании сыграли фундаментальные работы И.Пригожина /8/ и Г.Хакена /9/ по открытым термодинамическим системам и по самоорганизации в существенно неравновесных системах. Такая самоорганизация определяется совместным кооперативным дейотвием большого числа подсистем.

В открытых системах, получающих из внешней среды отрицательную энтропию, без нарушения второго начала термодинамики могут образовываться и оществовать упорядоченные отруктуры. В физике, химии, биологии имеется множество примеров спонтанного возникновения в неупорядоченных системах пространственных и временных упорядоченных структур /9, 10/.

Принципиальной отороной вопроса является увеличение неравномерности в открытой системе. В противоположность релаксации к равновесному состоянию, где характерным является раопад корреляций, при определенном увеличении степени неравновесности в принципе могут возникать новые взаимосвязи, корреляции, упорядочение. Существенно также, что вдали от равновесия процессы описываются нелинейными уравнениями, пэтому оказывается возможным наличие нескольких стационарных решений, устойчивых по отношению к флуктуациям и малым возмущениям. При этом неравновесное состояние открытой системы, характеризующееся высокой степенью упорядоченнооти и устойчивостью по отношению к малым отклонениям, поддерживается притоком стрицательной энтропии в систему, компенсирующим выработку энтропии в самой системе.

Неравновесные структуры, которые могут перейти в состояние равновеоия только в результате скачка (кинетического фазового перехода) называются диссипативными /8/. Диссипативные структуры существуют за счет процессов, связанных о производством энтропии, и характеризуются рядом особенностей - возникновением качественного скачка, что связано с доотижением параметрами критического порогового значения; существованием структуры в течение неограниченного времени при сохранении внешних условий; согласованным когерентным поведением подсистем; уменьшением энтропии в системе.

В условиях сильного отклонения от равновесия возникают качественно новые способы воздействия на систему, новые возможности управления.

Оказывается, что воздействия могут быть эффективными при весьма малых затратах энергии и во многих случаях носить характер спускового механизма. Могут осуществляться самые неожиданные на первый взгляд взаимосвязи (см. т. I, гл. П). Некоторые из таких уже четко установленных связей подвергались ранее резкой критике (например, связь процеосов в биосфере с солнечной активностью [11, 12]).

Существование дополнительных способов управления для открытых систем в условиях сильного отклонения от равновесия хорошо иллюстрируется на простом примере квазиравновесных распределений заоеленностей колебательных уровней молекул, рассматриваемых в газовой кинетике [13]. При этом внешние параметры играют роль "рулей", с помощью которых можно управлять заселенностями и зависящими от них процессами. Так, сравнительно небольшими изменениями температуры газа (при наличии существенно неравновесного количества энергии в колебательных степенях свободы) можно оильно влиять на функцию раопределения заселенности и соответственно на процесс диосоциации многоатомных молекул. Обычно диссоциация происходит при нагревании газа, в то время как в существенно неравновесных условиях заселенность верхних уровней растет и молекулы диссоциируют при охлаждении газа. В этом случае добавлением в газовую смесь, содержащую молекулы двух типов примеси, молекул определенного третьего типа также можно эффективно управлять заселенностями.

При анализе возможностей управляющего действия ЭМП синергетический подход играет принципиальную роль. Он включает уотановление характера неравновесности, анализ вопросов устойчивости по отношению к различным степеням свободы (модам), нахождение возможностей эффективного управления. Особую роль играют различные резонансные воздействия. Так, например, внешние электромагнитные воздействия частотами порядка 10^{-2}–5 Гц являются близкими к характерным чаототам биологических систем. Известно, что ЭМП этих частот и инфразвук обладают отчетливо выраженным биологическим действием (см. т. I, гл. П, п. I.I; т. 2, гл. I, п. 2.3; 2,4 [12]). Разумеется, имеются и другие возможности, не сводящиеся к резонансу.

Квантовый подход в отличие от кибернетического и синергетического не получил еще в биологии надлежащего развития. Однако в последнее время необходимоотъ учета квантовых закономерностей становится все более очевидной. Остановимся на этом подходе несколько детальней.

Можно выделить два направления поиска путей применения квантовомеханического подхода в биологии. Первое из них –непосредотвенное расширение сферы приложений квантовой механики. Так, современная органическая химия строится на основе квантовых представлений. Можно ожидать непосредственного иопользования их при рассмотрении биополимеров, а возможно и органелл (митохондрий, рибосом). В настоящее время выполнены квантовые расчеты электронной структуры важнейших классов биологичеоких молекул. Показана принципиальная роль сопряженных π-электрон-

ных систем в биохимических процессах, в частности для ряда низкомолекулярных соединений (коферментов), функционирующих во взаимодействии с белком [14]. (Отметим возможности делокализации электронов в биополимерах под действием ЭМП.) Существенное значение для исследования ряда биологических процессов (в частности, фотосинтеза) имеет квантовая химия координационных соединений. В целом, однако, современная квантовая биохимия ограничивается статистическими задачами и почти не рассматривает проблемы динамики [15].

Второе направление квантового подхода к биологии связано о определенным абстрагированием от чисто физических понятий. Естественным аппаратом в этом случае является формулировка квантовых закономерностей на основе комплексных цепей Маркова [16], тесно связанная с фейнмановоким интегрированием по путям. При иопользовании данной формулировки нет нужды в поисках для биологичеоких явлений аналогов чисто физических величин в отличие, например, от шредингеровокого или гейзенберговского предотавлений.

Следует отметить, что для обычных (действительных) цепей Маркова имеется чрезвычайно широкая область приложений (например, физика, радиотехника, автоматика, экономика, социология, медицина, биология). Для дейотвительных цепей условная вероятность осуществиться событию A_i в $(s+1)$-м испытании $P_{s+1}(A_i)$ зависит только от события в s-м иопытании и не зависит от предыдущих. Поэтому полная вероятностная картина возможных изменений при переходе от испытания i к испытанию j задается матрицей перехода $P = \| p_{ij} \|$. Элементы матрицы перехода p_{ij} неотрицательны, сумма элементов каждой строки равна единице. Для достоверного события $p_{ij} = 1$.

В основе комплеконых цепей Маркова лежит комплексная теория вероятностей, обобщающая известную аксиоматику А.А.Колмогорова на комплексные числа. Каждому случайному событию А из поля событий ставится в соответствие уже не действительное неотрицательное, а комплексное число $\Psi(A)$. Для достоверного события $|\Psi(A)|^2 = 1$. В этом плане переход к комплексным вероятностям являетоя своего рода естественным обобщением понятия обычной вероятности.

Вместе с тем в понятии комплексных цепей Маркова в значительной мере уже заложены основные особенности квантовой механики [16]. Причем конкретные оистемы определяются заданием функции Лагранжа (или, в чаотности, для биосистем – матрицы перехода). Подчеркнем, что в комплексных цепях не конкретизируется величина, аналогичная постоянной Планка, она может быть любой.

В формулировке комплеконых цепей Маркова квантовая механика может явиться действенным рабочим инструментом в биологии. Речь идет о построении обобщенных моделей марковских процессов, где учитывается комплексный характер вероятности, соответствующей природе явления. В таких моделях учитываются не только чисто стохастичеокие свойства, опи-

сываемые, в частности, обычными цепями Маркова, но и внутренние корреляции, своего рода фазовые соотношения между объектами, описываемые комплексными цепями Маркова. Необходимость такого учета проявляется при рассмотрении работы нервной системы вообще и мозга в частности, построении поведенческих моделей животных, исследовании психических явлений и вопрооов формирования мнения коллектива людей.

Проиллюстрируем сказанное на примере работы мозга. Сущность работы мозга как сложной системы взаимосвязанных структур пытались понять на основе аналогии с электронно-вычислительной машиной. Сейчас уже ясно, что сходным является лишь ряд конечных результатов работы ЭВМ и мозга. Однако имеются и фундаментальные различия. Так, в отличие от двухпозиционного переключателя - элементарной структурной единицы ЭВМ, нейрон определенным образом суммирует воздействия на неокольких входах, определяя, должен ли он посылать имульсы, и подбирает выходной сигнал и его частоту (двухпозиционные свойства: да-нет относятся лишь к аксону). Огромное число контактов между различными нейронами позволяет считать мозг единой кооперативной системой. В отличие от ЭВМ каждая из функций мозга делокализована и система обладает большой функциональной гибкостью и устойчивостью к различным повреждениям. В этом плане имеется прямая аналогия с голографической записью.

Действие современных ЭВМ, решающих чрезвычайно сложные задачи, разбивается на элементарные операции, с которыми может справиться весьма простое устройство - двухпозиционный переключатель с ответами да-нет (I-0). В основе этих элементарных операций лежит булева алгебра, формализовавшая обычную логику и определившая пути решения сложных задач. Этот процесо задается программой и в этом смысле однозначно определен.

В отличие от ЭВМ для работы мозга характерны как внутренняя стохастичность, так и наличие определенных корреляций. Простейшая возможность их отыскания должна основываться на теории комплексных марковских цепей, учитывающих возникающие в этом случае своего рода фазовые соотношения. С волновыми свойствами согласуется и голографический характер процессов в мозгу, и отмечавшаяся делокализация функций мозга. Не противоречат им структура и работа нейрона, связанного сразу с множеством других. Все это дает возможность определенной фазировки, создания определенного когерентного кооперативного состояния.

Хотя работа мозга характеризуется невероятной сложностью, в первом приближении, по-видимому, следует полагать, что его действие происходит по квантовым законам. Во всяком случае пока это простейшая из возможностей, которую следует проанализировать. Работа мозга делится на бессознательное, как основу, и сознательное, как своего рода выходное устройство. Сознательному соответствует обычная логика. Бессознательное, по-видимому, протекает по квантовым законам, квантовой логике. Однако последние не улавливаются сознанием. Возникающие в сознании мысли, картины, не есть адекватная передача работы мозга. При включе-

ний сознания возникает определенная стохастичность в выводах, решениях, подобная стсхастичности при квантовомеханических измерениях.

В мозгу, как и в ЭВМ, сложные вычислительные и логические операции реализуются путем выполнения огромного числа очень простых. Каковы же элементы и логика квантовой ЭВМ? Простейшей квантовой системой является двухуровневая. Ее отличие от двухпозиционного переключателя заключается в дополнительном наличии фазы. В физике набор двухуровневых частиц (молекул) характеризуется известной моделью Дике [17]. В отличие от набора двухпозиционных переключателей, находящихся в состоянии 0 или I (аналог заселенности уровней), в квантовой системе дополнительно появляются когерентные характеристики. В модель Дике, например, вводится кооперативное число r, определяемое соотношением фаз отдельных молекул. Роль его весьма наглядно отображается формулой для интенсивности спонтанного излучения I системы N молекул:

$$I = I_0 \sum_{r,m} P_{r,m}(r+m)(r-m+1)\,;\; 0<r<\frac{N}{2}\,;\; |m|\leq r\,, \qquad (1)$$

где I_0 – интенсивность излучения одной молекулы, m – разность заселенности уровней, $P_{r,m}$ – вероятность нахождения системы в состоянии с волновой функцией $\psi_{r,m}$. Как видно из формулы (1) при $r=N/2$, $m=0$ система излучает пропорционально N^2, при $m=-r$ система не излучает вовсе. Принципиальным моментом для системы в целом является когерентная (волновая) природа взаимодействия между базисными элементами. Законы композиции базисных элементов при взаимодействии двухуровневых объектов описываются (аналогично обычной логике для ЭВМ) квантовыми законами, квантовой логикой. Законы композиции в сложной квантовой системе, состоящей из большого числа двухуровневых объектов, строятся на основе теоретико-группового подхода и задаются при помощи коэффициентов Клебша-Гордана [18].

Квантовый подход в проблеме воздействия ЭМП на биологические объекты должен включать в себя оба направления: как непосредственное приложение квантовой механики на уровне биополимеров и биохимических реакций, так и использование комплексных цепей Маркова. Подчеркнем, что рецепт применения комплексных цепей в биологии заключается в написании комплексной матрицы перехода, определяемой условиями конкретных задач (в случае обычных цепей Маркова, широко используемых в биологии, феноменологически строится действительная матрица перехода).

Рассмотренные выше кибернетический, синергетический и квантовый подходы являются междисциплинарными и опираются на результаты различных конкретных наук. Именно они задают направления исследований и служат определенными ориентирами в разработке биологических проблем и, в частности, проблемы взаимодействия ЭМП с живыми системами.

Перейдем к общей оценке роли ЭМП в жизнедеятельнооти организмов. Как отмечается в работе [19], факт существования очень слабого электромагнитного излучения – общепризнан и экоперимснтально обнаружен у всех

исследованных клеток растений и животных. Анализ проведенных экспериментальных исследований указывает на информационную роль собственного излучения биологических объектов.

В ряде работ (в частности, [20-22]), где роль излучения рассматривалась со структурной точки зрения, выделяются следующие основные положения.

I. Поскольку все химические процессы синтеза или распада сопровождаются перестройками электронных сболочек молекул, субъединиц мембран и т.д., то неизбежно в процессах синтеза или распада происходит излучение или поглощение квантов ЭМП. Эти процессы могут составить определенный канал передачи информации между мембранными субъединицами, мембранами, клеточными органами, клетками, между ДНК и белками.

2. Поскольку электронные состояния сложных систем, в частности биологических, как правило, вырожденные, т.е. обладают разнообразными пространственными формами при одной и той же энергии, то даже очень слабые внешние ЭМП могут выделить одно из многих состояний и запустить в организме определенную цепь процессов синтеза или распада.

3. Возможно нарушение комплементарности, определяемое воздействием излучения на водородные связи, что также существенно для протекания процессов синтеза или распада.

4. Излучение может производить отбор из ряда имеющихся возможностей существования определенных неравновесных состояний. Этот процесс рассматривается как аналог динамической голографии.

5. Наличие коллективизированных π-электронных состояний в биомолекулах приводит к когерентному взаимодействию с излучением всей электронной системы. Характер излучения может также играть существенную роль в переходе электронной подсистемы в коллективное состояние.

Если взглянуть на проблему в целом, то совокупность имеющихся данных свидетельствуют о том, что, наряду с химической и электрической системами, являющимися неотъемлимыми проявлениями жизнедеятельности организма, существует третья информационно-управляющая система - система ЭМП. Некоторые свойства общей управляющей ЭМП - системы рассмотрены в разделе об излучениях биологической природы в т.I,гл.I,п.3.3

Итак, электромагнитное излучение, порожденное процесоами внутри живой клетки, является очень важной ее характеристикой. Любая живая система в определенных условиях может служить как излучателем, так и приемником излучения, т.е. активные процесоы обмена излучением могут протекать не только внутри, но и за пределами биологических объектов при незначительных энергетических затратах. Проведенное расомотрение роли ЭМП в биосистемах указывает на сложный, многоплановый, многоаспектный характер проблемы.

Литература

I. Кудряшов Ю.Б., Исмаилов Э.Ш., Зубкова С.М. Биофизические основы действия микроволн. М.: Изд-во МГУ, I980. I59 с.
2. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г., Горян О.Г. Биологическая кибернетика. М.: Высш. школа, I977. 408 с.
3. Бауэр Э. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, I935. 205 с.
4. Винников А.Я. Цитологические и молекулярные основы рецепции. М.: Наука, I97I. 298 с.
5. Мецлер Д. Биохимия. М.: Мир, I980. Т. 2. 606 с.
6. Глезер В.Д., Цуккерман И.И. Информация и зрение. М.; Л.: Изд-во АН СССР, I96I. I82 с.
7. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, I973. 2I6 с.
8. Пригожин И.Р. Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: Изд-во иностр. лит., I96I. I27 с.
9. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, I980. 404 с.
I0. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М.: Мир, I979. 279 с.
II. Инфракрасное излучение в атмосфере Земли и в космое. М.: Наука, I978. 228 с. (Тр. ФИАН, т. I05).
I2. Гордиец Б.Ф., Марков М.Н., Шелепин Л.А. Солнечная активность и Земля. М.: Знание, I980. 84 с.
I3. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, I980. 5I2 с.
I4. Пюльман Б. Электронная биохимия. М.: Наука, I966. I03 с.
I5. Волькенштейн М.В. Молекулярная биофизика. М.: Наука, I975. 6I6 с.
I6. Маслов В.П. Комплексные марковские цепи и континуальный интеграл Фейнмана. М.: Наука, I976. I92 с.
I7. Dicke R.H. Coherence in Spontaneous Radiation Processes. - Phys. Rev., 1954, vol. 93, № 1, p. 99-110.
I8. Теоретико-групповые методы в физике. М.: Наука, I973. 272 с. (Тр. ФИАН, т. 70).
I9. Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Сверхслабые излучения в межклеточных взаимодействиях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, I98I. I44 с.
20. Быховский В.К. Когерентность, память и измерение характеристик биосистем. - В кн.: Статистические свойства микрокультур. М., I97I, с. I0-I3.
2I. Быховский В.К. О передаче когерентности в электронную оболочку биологических макромолекул. - Биофизика, I973, т. I8, с. I98-200.
22. Быховский В.К. Метастабильность решетки водородных связей и конформационная память нативных биологических молекул. - Биофизика, I973, т. I8, с. 573-575.

I.2. О возможной природе электродинамических явлений в живых системах

Живые системы, как известно, являются открытыми гетерогенными системами, в которых большое значение имеют процессы переноса вещества через межфазные границы. Кинетика гетерогенных реакций, протекающих на поверхности раздела двух сред, определяется скоростью подвода и отвода реагирующих веществ.

В области межфазного слоя "проводящее твердое тело – жидкая (или газовая) среда" в приэлектродной области образуется слой объемного заряда толщиной δ и плотностью ρ. Это явление изучается в различных областях знаний и известно как электродный эффект [1]. Толщина слоя объемного заряда определяется конкурирующими процессами – электрическим полем, приводящим к упорядоченному движению ионов разного знака в противоположных направлениях вдоль силовых линий, и тепловым, диффузионным, конвективным движениями ионов, нарушающими упорядоченную структуру слоя объемного заряда.

Для количественной оценки электродного эффекта вблизи поверхностей раздела двух сред рассмотрим случай, когда скорость движения ионов под влиянием электростатического поля напряженностью E значительно больше скорости v конвективного переноса частиц: $uE \gg v$. Если диффузионный член мал по сравнению с членом, содержащим направленную скорость переноса ионов, то выражение для плотности объемного заряда вблизи границ межфазной области "проводящее тело – воздух" имеет следующий вид [2]:

$$\rho_э(x) = en_{\pm}\tau\left\{\exp\left[-\frac{x}{\tau(uE-v)}\right] - \exp\left[\frac{x-6uE\tau}{\tau(uE+v)}\right]\right\},$$

где e – заряд электрона, $n_{\pm}$ число пар ионов, образующихся в единицу времени, τ – среднее время жизни ионов, x – расстояние от точки наблюдения до проводящей поверхности, u – средняя подвижность ионов.

В условиях естественной или вынужденной конвекции в водных электролитах возникает диффузионный слой толщиной $\delta_д = 10^{-1} - 10^{-3}$ см, в котором происходит перепад концентраций n вещества [3]:

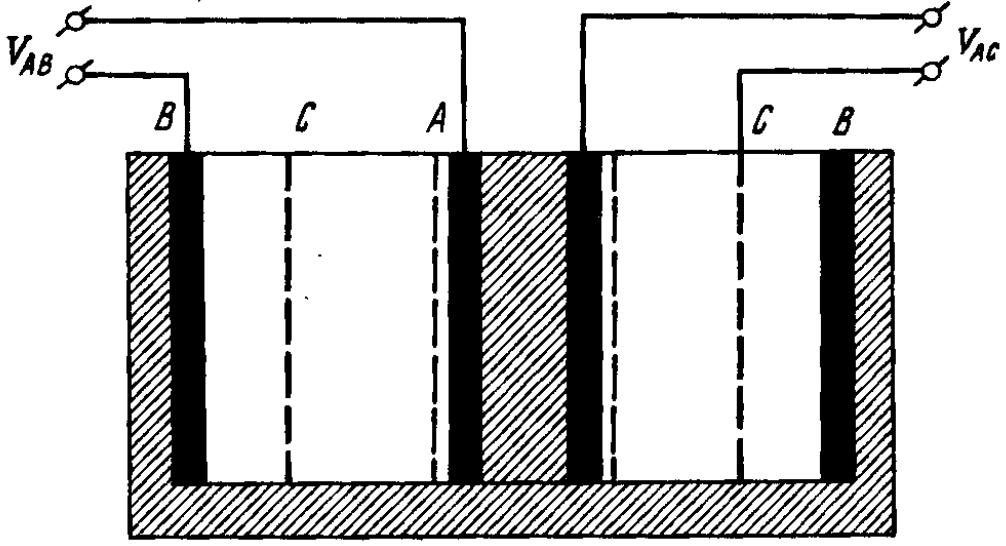
$$\rho(x) = \frac{\varepsilon}{2\pi} \cdot \frac{D_1 - D_2}{z_1 D_1 + z_2 D_2} \cdot \frac{RT}{F} \Delta \ln n,$$

где ε – диэлектрическая постоянная воды, R – постоянная Менделеева-Клайперона, T – абсолютная температура, F – число Фарадея, z_i, D_i – числа элементарных зарядов и коэффициенты диффузии катионов ($i = 1$) и анионов ($i = 2$).

При наложении переменного напряжения с заданной частотой на область межфазной границы возникают колебания электродного слоя под действием массовой силы плотностью

$$f_{эгд} = \rho(t)E(t).$$

Под действием переменного напряжения упорядоченное распределение ионов в приэлектродном слое может нарушиться, что приведет к изменению скорости гетерогенной реакции.



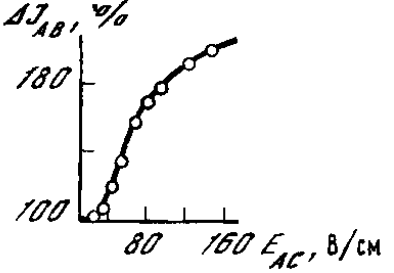
Р и с. 27. Эскиз электрохимической ячейки для исследования динамики приэлектродного слоя под действием НЧ ЭМП

А - центральный цилиндрический электрод, В - внешний цилиндрический электрод, С - электрод-сетка с шагом ячеек 0,5 · 0,5 мм^2, V_{AB} - постоянное напряжение, приложенное к электордам А и В, V_{AC} - переменное напряжение, приложенное к центральному электроду А и к электроду-сетке С

Задача настоящей работы - экспериментальная проверка влияния внешнего низкочастотного электрического поля на электродный эффект в электролитах и определение возможной роли пространственного распределения зарядов в механизме действия внешнего ЭМП на элементы живых систем.

Моделирование эффекта дейотвия НЧ ЭП на распределение зарядов в электродном слое было проведено в электрохимической ячейке с водным раствором электролита (0,01н $CuSO_4$), где размещались три коаксиальных цилиндрических медных электрода, два из которых (А и В) были сплошными, третий (С) - сетчатый (рис. 27). Для определения толщины электродного слся, изменяющегося под действием НЧ ЭП, на электроды А и В от источника УИП-2 подавалось постоянное напряжение V_{AB}, а на сетчатый электрод С и электрод А - переменное напряжение о частотой $f_0 = 1\text{-}2 \cdot 10^4$ Гц от звуковых генераторов ГЗ-33 и ГЗ-47. Величины постоянных напряжений V_{AB} варьировались от 0 до 5 В, переменных V_{AC} - от 0 до 100 В. Расстояние между электродами менялось от 0,1 до 4 см, напряженность E_{AB} постоянного ЭП изменялась в пределах от 0 до 1,25 В/см, переменного E_{AC} - от 10 до 10^3 В/см.

Экоперимантальные исследования динамики приэлектродного слоя объемного заряда показали (рис 28,29), что с увеличением напряженности переменного поля E_{AC} ток I_{AB} в рабочем объеме цилиндрического конденсатора увеличивается (рис. 28). Соответственно увеличивается при условии $E_{AC} \geq 20$ В/см и приращение тока. При снятии переменного напряжения ток I_{AB} восстанавливается за время релаксации $\tau_p = \frac{\delta_3^2}{D_i} \sim$ 5-10 с до исходных значений.



Р и с. 28. Эффект увеличения тока насыщения ΔI_{AB} в зависимости от напряженности электрического поля E_{AC} для 0,01н $CuSO_4$ X_{AC} = I см; f_0 = 50 Гц

Полученные результаты свидетельствуют о том, что приэлектродный слой в области диффузионной кинетики объемного заряда несет функцию электрического барьера. Под действием переменного электрического поля упорядоченное распределение ионов в электродном слое нарушается, что приводит к увеличению скорости гетерогенной реакции. Разрушение слоя объемного заряда под действием переменного напряжения 50 Гц носит колебательный затухающий характер с частотой 5–6 Гц (рис. 29).

Перейдем к обсуждению природы объемных зарядов в живых системах и их возможной функциональной значимости.

Диффузионный и электрический перенос веществ в окрестности мембран предполагает существование вблизи клетки и активно функционирующих ее органелл объемных зарядов. Наличие в живых системах как низкомолекулярных, так и высокомолекулярных ионов с различными коэффициентами диффузии приводит к тому, что электродный слой не только выполняет функции электрического барьера, но и обусловливает особые структурные характеристики среды, а также различия времен релаксации при действии внешних физических факторов.

Условия возникновения объемных зарядов в биологических системах обусловлены высокими значениями вязкости среды и потенциала на мембранах, различиями в коэффициентах диффузии ионов за счет наличия высокомолекулярной компоненты. В связи с этим следует ожидать более высокой плотности объемных зарядов в живых системах, большей величины потенциального барьера для переноса ионов и большего различия во временах релаксации по сравнению с модельными системами.

Типичным примером областей локализации объемных зарядов могут служить кровеносные капилляры, где гидродинамические условия движения потока плазмы по обе стороны эндотелиальных клеток существенно различны [4–6].

До настоящего времени электрические поля, возникающие при движении эритроцитов, при рассмотрении процессов транскапиллярного обмена не учитывались. Считалось, что основной эффект транспорта низкомолекулярных ионов в плазме обусловлен лишь разностью давлений в капилляре и вне его [7]. Между тем кровеносные капилляры, в которых движутся заряженные эритроциты – типичный пример морфологического образования, где поведение объемных зарядов должно существенно сказаться на жизнедеятельности живых систем.

Схематическое изображение кровеносного капилляра с системой межкле-



Р и с. 29. Осциллограмма записи тока I_{AB} в постоянном поле E_{AB} (горизонтальная прямая) и при наложении на призлектродную область переменного напряжения V_{AC} (периодически изменяющаяся кривая)

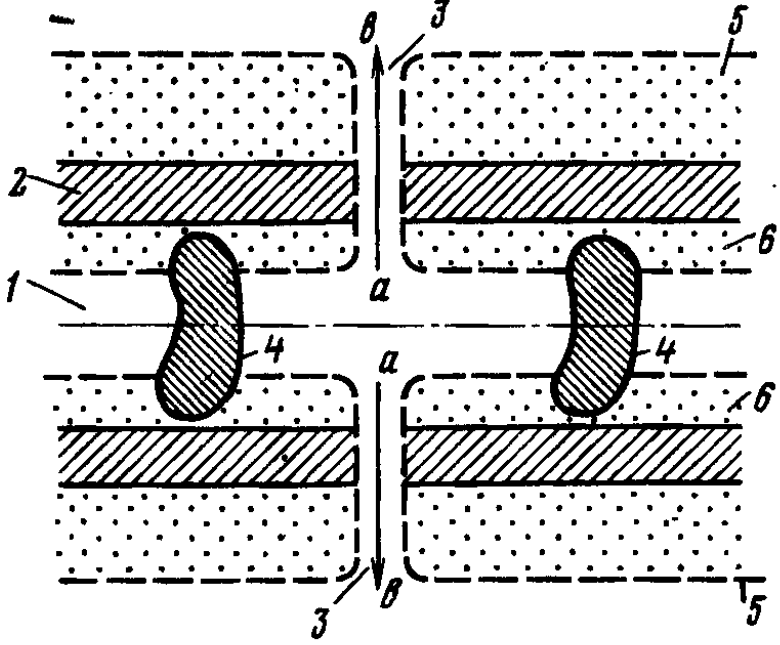
точных щелей шириной $a_{щ}$ и специфической структурой выстилающих эндотелиальных клеток приведено на рис. 30. Возникающие вблизи поверхности клетки объемные заряды, в отсутствие потока плазмы примерно равные по величине, обусловливают близкие значения потенциалов по обе стороны эндотелиальной клетки. При механическом перемещении "цепочки" эритроцитов вдоль внутренней поверхности стенки трансэндотелиальной клетки происходит "срыв" слоя объемного заряда. После прохождения эритроцита возможно частичное или полное его восстановление, что приводит к возникновению в межклеточной щели ($a\,б$, рио. 30) импульса напряжения и соответственно переменного электрического поля $E_{аб}(t)$. Частота возникновения разности потенциалов $\Delta V_{аб}$ определяется концентрацией эритроцитов, скоростью потока плазмы, что зависит от давления крови и от состояния эндотелиальных клеток. Каждый капилляр имеет ограниченную длину ($l \sim$ 10÷100 мкм), поэтому частота изменения $V_{аб}$ зависит от числа межклеточных щелей и от концентрации эритроцитов в крови.

Для физиологических условий при нормальном функционировании капилляров (радиусами 7÷10 мкм) должны возникать электрические поля $E_{аб}(t)$ импульсного характера. Так, при $V_{ав}$=50мВ, $a_{щ}=3\cdot10^{-4}$см $E_{ав}$ – 200 В/см. За время прохождения под щелью эритроцита со скоростью v_0 =0,1 – 2мм/с генерируется электрический импульс длительностью t_0 = 2,5 – 5 мс.

Частота f_0 следования импульсов при расстоянии l_0 = 5 мкм между центрами эритроцитов в интервале скоростей v_0 = 0,1 – 2 мм/с $f_0 = v_0/l_0 =$ = 20 – 400 Гц. С ростом l_0 при неизменной скорости движения эритроцитов частота f_0 падает. Так как условия разрушения и восстановления объемного заряда зависят от скорости перемещения эритроцитов, то возникающее электрическое поле является функцией v_0.

Таким образом, при движении заряженного эритроцита в капилляре могут возникать переменные электрические поля напряженностью до 200 В/см, частотой 20 – 400 Гц и длительностью до 50 мс.

Так как площадь внутренних поверхностей в капиллярах очень велика



Р и с. 30. Возникновение трансэндотелиальных электрических полей при движении эритроцитов в кровеносном капилляре радиуса R

1 – просвет капилляра; 2 – эндотелиальные клетки; 3 – межклеточные щели; 4 – эритроцит; 5 и 6 – объемные заряды

(2500–3000 ом^2) [7], а скорости движения эритроцитов изменяются в 10–100 раз, то в живых системах генерируются электрические поля низкой частоты, что должно оказывать влияние на окружающие ткани, на процессы переноса плазмы и в конечном счете – на метаболизм.

На основе изложенного механизма возникновения ИНЧ ЭП можно объяснить зависимость процессов переноса плазмы через стенки кровеносных капилляров от концентрации эритроцитов в крови, их поверхностного электрического заряда, заряда эндотелиальной стенки и ее функционального состояния [8].

Рассмотрим возможную роль объемных зарядов в механизме действия НЧ ЭМП на живые системы. Как отмечалось ранее [6, 9], возникающие массовые объемные силы магнитогидродинамичеокой и электрогидродинамической природы могут обусловить частичное или полное разрушение объемных зарядов в зависимости от амплитуды, частоты и длительности воздействия НЧ ЭМП.

С точки зрения биологической значимости воздействие ЭМП на капилляры эквивалентно снижению межклеточного потенциала, повышению проницаемости стенок капилляра, что при длительном воздействии может вести к отекам тканей. Можно ожидать, что чем выше потенциал мембраны и ниже ее проницаемость в отсутствие возбуждения, тем выше плотность и протяженность объемного заряда вне клетки. В то же время при меньшем мембранном потенциале и большей проницаемости клетки можно ожидать меньшей величины окружающего клетку объемного заряда. С этой точки зрения находят объяснение экспериментальные результаты [10], полученные на животных (крысы с привитыми опухолями), помещенных в НЧ МП (f_0 = 9,2 кГц). Известно, что мембранный потенциал опухолевых клеток ниже, а проницаемость выше аналогичных нормальных.

Вследствие больших значений индуцированных ЭП особенно эффективными для воздействия на живые системы являются импульсные ЭМП с большой крутизной фронтов и низкой скважностью. При этом, вероятно, следует использовать длительность импульса воздействия порядка десятков и даже со-

тен миллисекунд. Это подтверждается экспериментальными данными по воздействию ИНЧ МП на различные биологические объекты, в том числе и на человека /II, I2/. Следовательно, НЧ ЭМП обладают бо́льшей биологической активностью, чем постоянные МП.

Итак, при наложении НЧ ЭМП на изолированную клетку, мембрана которой несет высокий потенциал, возникающее индуцированное переменное электрическое поле должно приводить к разрушению объемных зарядов в межфазной области. Вследствие этого увеличится приток ионов к клетке со знаком заряда, противоположным знаку потенциала на мембране. Изменение концентрации ионов, проникающих через мембрану под действием ЭМП, можно интерпретировать как увеличение "эффективной проницаемости" мембраны клетки. Этот факт хорошо согласуется с известными экспериментальными данными и может рассматриваться как основа для построения одного из механизмов действия ЭМП. Вместе с тем открывается возможность управления метаболическими процессами в живых системах, что может найти применение в медицинской практике. Эффект возникновения слоя объемного заряда наиболее ярко выражен, когда клетки окружены биологическими жидкостями. В случае, если расстояние между клетками меньше толщины слоя объемного заряда, то электродный слой образуется вокруг совокупности как единого целого. Поскольку внутри совокупности клеток электродный слой отсутствует, то действие ЭМП на них менее эффективно.

Таким образом, силы электрогидродинамической природы в определенных ситуациях оказывают влияние на одну из наиболее чувствительных областей биологических систем – на объемный заряд, в частности на объемный заряд в примембранной области. Существенное значение в процессах взаимодействия внешних ЭМП с биообъектами имеют собственные электрические и магнитные поля живых систем, диэлектрические свойства их внутренней среды и ряд других факторов.

Литература

I. Красногорская Н.В. Об электродном эффекте. – Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, I967, № 9, с. I0I8 – I022.
2. Красногорская Н.В. Электричество нижних слоев атмосферы и методы его измерения. Л.: Гидрометеоиздат, I972. 323 с.
3. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, I959, 700 с.
4. Комаров Г.П. Перенос воды и растворенных в ней веществ через стенки биологических капилляров: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: Мед. ин-т им. акад. И.П.Павлова. I973. I6с.
5. Гак Е.З., Комаров Г.П., Гак М.З. Магнитодинамические и электрогидродинамические эффекты в механизмах действия магнитных полей на биологические объекты. – В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, I978, с. 26–38.
6. Гак Е.З., Гак М.З., Ерошенко И.М. О природе электрической активности функционирующих кровеносных сосудов. – В кн.: Физиологические

механизмы адаптации у животных и растений. Томск: Том. ун-т, 1979, с. 3 - 9.
7. Гуревич М.И., Берштейн С.А. Основы гемодинамики. Киев: Наукова думка, 1979. 230 с.
8. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1973. 94 с.
9. Гак Е.З., Комаров Г.П. О роли МГД и ЭГД-эффектов в механизме биологического действия низкочастотных МП. - В кн.: Физико-математичеокие и биологические проблемы действия ЭМП и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. I, с. 153-167.
10. Жгенти Т.Г., Гак Е.З., Комаров Г.П. и др. О биологической активноти магнитных полей звукового диапазона. - Электрон. обраб. материалов, 1972, вып. 6, с. 71-73.
11. Adey W.R. Frequency and power windowing in tissue interraetions with weak electromagnetic fields. - Proc. IFEEE, 1980, vol. 68, № 1, p. 140-148.
12. Берлин Ю.В., Бувин Г.М., Белькевич В.И. и др. Некоторые особенности действия импульсных магнитных полей на электропроводные жидкости и биологические системы. - В кн.: Реакции биологичеоких систем на МП. М.: Наука, 1978, с. 39-48.

I.3. О возможной роли асимметрии биологических структур в реализации эффектов регуляторного характера

Принадлежность к определенной группе симметрии /1/ может служить одним из наиболее общих классификационных признаков, позволяющих максимально абстрагироваться от частных свойств изучаемых объектов. В этом смысле одна из наиболее общих особенностей всех без исключения живых организмов заключается в том, что на молекулярном уровне их основные структуры асимметричны /2/, т.е. существуют в одной из двух возможных зеркально симметричных форм - "левой" (L) или "правой" (D).[I] А именно, все белки построены из одних и тех же L-аминокислот, а все полисахариды - из D-углеводов; те же D-углеводы принимают участие в построении нуклеиновых кислот. В результате структуры второго и высших

[I] Строго говоря, в данном случае вместо термина "асимметрия" уместнее было бы употреблять термин "хиральность" (от греч. χείρ - "рука"; ср. англ. handedness - "ручность"), обозначающий невозможность совмеотить фигуру с ее зеркальным отражением путем простых перемещений и вращений в трехмерном пространстве /3/. Все асимметричные фигуры хиральны, но не вое хиральные фигуры асимметричны: например, морская звезда с пятью загнутыми в одну сторону лучами хиральна, но не асимметрична, т.к. имеет ось симметрии пятого порядка

порядков, свойственные биополимерам в нативном, рабочем состоянии, тоже характеризуются асимметрией; первичная молекулярная асимметрия проявляется в строении различных биомолекулярных комплексов и клеточных органелл и, наконец, иногда сказывается на организменном уровне (например, люди в подавляющем большинстве - "правши").

Молекулярная асимметрия была открыта Л.Пастером в 1860 г. и сразу же вызвала споры, которые окончательно не утихли до сих пор. Предметом этих споров послужили две проблемы:

1. Как возникла в живой природе молекулярная асимметрия?

2. Какое биологическое значение она имеет?

Дело в том, что сами по себе L- и D-формы органических молекул (т.н. энантиомеры) совершенно равноценны по своим физическим и химическим свойствам и различаются только знаком вращения плоскости поляризации света. Поэтому в ходе обычных химических реакций всегда образуется смесь строго равных количеств L- и D-форм (т.н. рацемат). Только такая смесь термодинамически равновесна, и в изолированной системе возникновение избытка одного из энантиомеров может быть лишь чисто случайным явлением, причем с совершенно равной вероятностью флуктуация может привести к образованию избытка и другого энантиомера; естественно также, что в изолированной системе избыток одного из энантиомеров должен рано или поздно самопроизвольно исчезнуть. Но коль скоро жизнь возникла в результате чисто химической эволюции вещества, то каким образом произошло первичное нарушение симметрии, почему это нарушение со временем не исчезло, а наоборот, развилось, и в результате чего повсеместно на Земле было отдано предпочтение одним и тем же зеркальным изомерам молекул? И какова причина того, что жизнь не смогла использовать для своих целей имевшийся в начале эволюции рацемический материал?

Ответ на последний вопрос представляется в настоящее время достаточно однозначным: система, состоящая из чистых зеркальных изомеров, имеет заметные кинетические преимущества перед системой, построенной на основе рацематов, и поэтому должна была победить в ходе биохимической эволюции. Но система, построенная из "левых" форм молекул, должна быть, согласно общепринятым представлениям, совершенно идентична системе, построенной на основе "правых" форм тех же молекул; как же так случилось, что в ходе эволюции победил один из двух совершенно равных противников? Такой результат можно было бы объяснить флуктуацией, случайностью лишь при условии, что все многообразие современных форм жизни явилось результатом единичного "акта творения"; но коль скоро мы признаем, что зарождение жизни было закономерным процессом, способным разновременно протекать в многочисленных локализованных участках протобиосферы, проблема возникновения молекулярной асимметрии вновь становится неразрешимой.

Еще сам Пастер обратил внимание на то обстоятельство, что отделить "правые" формы от "левых" можно только с помощью какого-то внешнего

критерия "правизны-левизны". Так, человек может отделять "правые" кристаллы от "левых", поскольку сам располагает представлением об асимметрии (мы не можем надеть левую перчатку на правую руку); асимметричны в своей основе микроорганизмы, которые избирательно усваивают лишь определенные зеркальные изомеры питательных веществ; разделения зеркальных изомеров можно добиться, используя вспомогательные вещества природного происхождения - например. алкалоиды, молекулы которых асимметричны. Эти принципы разделения энантиомеров, предложенные Пастером, навели его на мысль, что в возникновении молекулярной асимметрии в живой природе должны быть повинны какие-то асимметричные силы космического происхождения - по его мнению, электрические и магнитные поля [4].

Однако делавшиеся в конце прошлого века попытки отождествить внеземные источники воздействия на вещество с божеотвенной "жизненной силой" сильно дискредитировали первоначальную идею Пастера, и основные исследования были направлены на поиски более тривиальных агентов, способных в условиях чисто химического эксперимента приводить к образованию избытка одного из зеркальных изомеров - например, в результате каталитического синтеза на поверхности оптичеоки активного кварца, фотохимического синтеза под действием циркулярно поляризованного овета и т.д. [5]. Однако поскольку такой "абсолютный" асимметрический синтез идет, как правило, лишь в специальных услсвиях и приводит к накоплению лишь ничтожных избытков зеркальных изомеров, в конце концов утвердилась точка зрения, согласно которой образование избытка одних из двух возможных зеркально симметричных форм биологически важных молекул было все же делом чистого случая [6], несмотря на отмеченную выше слабость такой гипотезы. Вместе с тем, объясняя механизм распространения первично возникшей асимметрии, современные авторы оовершенно справедливо подчеркивают, что этот процесс может быть понят лишь с позиций неравновесной, необратимой термодинамики, поскольку все биологические события происходят не в изолированных, а в открытых сиотемах и связаны с обменом веществом и энергией с внешней средой.

В последнее время стали делаться попытки объяснить возникновение молекулярной асимметрии в живой природе не случайностью, а закономерностью, что, казалось бы, однозначно решает все парадоксальные проблемы. А именно, высказываются предположения, что вклад не сохраняющих четность нейтральных токов в электромагнитные взаимодействия может приводить к расщеплению энергетических состояний энантиомеров [7], то есть к их превращению в подлинно различные (т.н. диастереомерные) вещества; как бы ни было мало подобное различие, за миллионы лет зволюции оно, в принципе, могло привести к "отбраковке" энергетичеоки невыгодных форм молекул. Но хотя такая точка зрения и кажется привлекательной, она тоже таит в себе скрытый парадокс: в этом случае получается, что стационарное нарушение зеркальной симметрии может происходить в термодинамически изолированной системе. В связи с этим представляется

совершенно обоснованным мнение /8/, что решение проблемы возникновения молекулярной асимметрии в живой природе связано с решением фундаментальных проблем современной физики.

Все указанные выше явные и скрытые противоречия полностью снимаются, если вновь обратиться к первоначальной гипотезе Пастера о внеземном происхождении агента, ответственного за возникновение молекулярной асимметрии в живой природе; при этом, конечно, возникает ряд новых серьезных вопросов, однако ответы на них могут носить уже конструктивный характер. Например, такой подход дает возможность по-новому взглянуть на функциональную роль асимметрии биологических структур.

Универсальный регуляторный механизм, свойственный всем живым организмам, заключается в управлении биологическими функциями биополимеров путем воздействия на их конформацию - пространственную укладку макромолекулярной цепи. Причем в реализации этого механизма значительную роль играет стереоспецифичность взаимодействий, то есть пространственное соответствие конфигураций взаимодействующих молекул.

Так, фермент способен катализировать лишь превращения определенных зеркальных изомеров и совершенно неактивен по отношению к их зеркальным двойникам. Вместе с тем малейшее нарушение конформации фермента (происходящее, например, при взаимодействии с метаболитом-регулятором) проявляется в резком изменении его каталитичеокой активности; такой регуляторный механизм, называемый аллостерическим, позволяет автоматически согласовывать между собой скорости многочисленных биохимических превращений. Естественно, что любое внешнее воздействие на конформацию биополимера тоже должно проявляться в изменении уровня метаболизма.

Как было показано ранее /9/, такое воздействие на конформацию и функцию биополимеров могут, в принципе, оказывать асимметричные электромагнитные поля, способные индуцировать асимметрический синтез. Дело в том, что асимметрическому синтезу предшествует асимметричное искажение геометрии реагирующих молекул; если же, как в случае биополимеров, асимметричные звенья образуют длинную цепь (например, молекулы ферментов состоят из сотен, а молекулы нуклеиновых кислот - из миллионов асимметричных звеньев), то малые искажения каждого звена должны привести уже к значительному искажению геометрии всей макромолекулы, то есть к изменению ее конформации и, как следствие, функции. Такой регуляторный механизм предложено называть экзостерическим; грубые оценки показывают, что благодаря такому механизму биоэффективными могут быть даже очень слабые асимметричные электромагнитные поля.

Если асимметричные (хиральные) поля космофизического происхождения действительно способны оказывать влияние на уровень метаболизма живых существ по универоальной схеме "конформация-функция", то асимметрия (хиральность) биологических структур может предоставлять живым организмам не только кинетические преимущества в сравнении с организмами, построенными на рацемической, симметричной основе, но и преимущества, обусловленные возникновением особого универсального канала связи с

внешней средой - канала, которого была бы лишена симметричная жизнь. Такой канал может выполнять важнейшую общебиологическую роль - о его помощью возможна синхронизация процессов, происходящих в разных независимых частях биосферы, с ритмическими процессами, протекающими в ближайшем космическом окружении Земли и способными порой оказывать существенное влияние на условия обитания организмов.

Вместе с тем, если асимметричные (хиральные) поля космофизического происхождения способны нарушать зеркальную симметрию вещества, то именно они, согласно Пастеру, могли служить причиной закономерного возникновения молекулярной асимметрии в ходе первичной биохимической эволюции; на более же поздних стадиях эволюции нарушение зеркальной симметрии под действием космофизического агента могло привести к установлению полной неравноценности "правых" и "левых" форм жизни. Естественно, что в этом случае не возникает никаких термодинамических парадоксов, поскольку биосфера признается полностью открытой системой; причина же происхождения асимметрии самого космофизического агента ("фактора Пастера") выносится за рамки данной конкретной проблемы и не рассматривается.

Какой может быть физическая природа асимметричного (хирального) "фактора Пастера"? Если следовать известному принципу - не вводить новые сущности сверх необходимых, - то разумнее всего исходить из предположения, что космофизическое поле, послужившее причиной возникновения молекулярной асимметрии в живой природе и выполняющее ныне регуляторую функцию в объеме всей биосферы, тесно связано с электромагнитными явлениями, поскольку в основе всех биохимических и биофизических процессов лежат именно электромагнитные взаимодействия; вместе с тем это поле [10] должно обладать некоторыми не вполне обычными особенностями. А именно, многочисленные (хотя и далеко не всегда строгие) наблюдения позволяют предполагать, что биоэффективный космофизический фактор слабо поддается экранировке; иногда заметно опережает обычные возмущения межпланетной среды; не всегда вызывает однозначную реакцию живых организмов, лишь косвенно регистрируется известными физическими методами.

Очевидно, что циркулярно поляризованное электромагнитное излучение может быть биоэффективным лишь в ограниченной области резонансных частот (например, электронных, колебательных или вращательных переходов), причем возможность действия на вещество инфранизкочастотных электромагнитных волн малой интенсивности вообще представляется сомнительной; кроме того, такое излучение избирательно поглощается различными природными средами (воздухом, водой, горными породами), и поэтому не может оказывать на биосферу постоянного универсального действия.

В принципе, биоэффективной может быть хиральная комбинация статических или квазистатичеоких электрического и магнитного полей при условии, что полярный вектор E параллелен аксиальному вектору H (здесь и далее

применение термина "хиральность", вообще говоря, обязательно, т.к. эта комбинация полей имеет ось симметрии бесконечного порядка, совпадающую с направлением векторов E и H). Однако хотя в природе такие поля действительно существуют совместно и могут иметь необходимую хиральную ориентацию, этот фактор тоже едва ли может претендовать на универсальность - статические электрическое и магнитное поля довольно легко (причем, по-разному) экранируются; к тому же, статичеокое электрическое поле должно вызывать, прежде всего, поляризацию молекул воды, составляющих главную часть внутриклеточной среды.

Остается рассмотреть лишь статический или квазистатический хиральный вектор-потенциал $\bar{A}$ ($rot\ \bar{A} = \bar{H}$), образованный двумя ортогонально ориентированными круговыми токами - тороидальным и полоидальным. Согласнс гипотезе, получающей в последнее время серьезные экспериментальные подтверждения, плазма солнечного ветра образует тороидальные огустки ("плазменные коаксиалы") с замкнутыми магнитными полями стеллараторного типа [11]; такие отруктурные образования (диаметром около 10^{11}-10^{12} см) должны нести с собой, помимо магнитного поля, создаемого тороидальным током, хиральный вектор-потенциал, образованный комбинацией тороидального и полоидального токов. Очевидно, что хиральный вектор-потенциал перемещается в космичеоком пространстве со скоростью солнечного ветра (~400 км/с), но несколько опережает его;исходя из типичных размеров "плазменных коаксиалов" и их средней скорости, это опережение можно оценить величиной порядка 12 час.

Подобный эффект действительно наблюдался, например, при регистрации ионизирующей компоненты космических лучей с помощью сцинтиляционного супертелескопа ИЗМИРАН [12]; при этом были замечены статистически значимые флуктуации с периодами 5-6, 12-15, 17-20, 40-60, 155-190 и 400-430 мин. Близкие периоды замечены также в радиальных пульсациях солнечной поверхности [13], долгопериодических колебаниях Земли [14], внутренних волнах верхней атмосферы [15], микропульсациях геомагнитного поля [16], периодических биологических процессах [17].

Все эти поразительные совпадения слишком многочисленны для того, чтобы их можно было считать чиото случайными, а не вызванными какой-то общей внешней причиной, например действием на вещество какого-то не вполне обычного космофизического агента, связанного о проявлениями солнечной активнооти. В литературе уже имеются попытки объяснить вектор-потенциал ответственным за наблюдаемые связи Солнце - биосфера ([18], см. также т. I, гл. IУ, п. 2), а также за более экзотические феномены [19].

Одним словом, общая ситуация такова, что ряд не вполне обычных явлений, скорее всего, действительно существует; что все эти явления вызываются, вероятно, одной и той же космофизической причиной; что действие космофизического агента на вещество носит достаточно универсальный и, значит, фундаментальный характер; что свойства этого агента не

вполне обычны, но не должны, видимо, выходить за рамки электромагнетизма. Причем единственный еще практически не изученный экспериментально фактор электромагнитной природы – это вектор-потенциал и, в частности, вектор-потенциал, имеющий хиральную конфигурацию.

Что качественно нового может дать в этом случае хиральноть? Как известно, все взаимодейотвия между атомами определяются состоянием их электроннх оболочек, которое изменяется, когда атом входит в оостав асимметричной (хиральной) молекулы. Например, вращение плоокости поляризации света происходит в результате того, что электрон, участвующий в оптических переходах и находящийся в асимметричном (хиральном) окружении, по-разному взаимодействует с левой и правой циркулярно поляризованными электромагнитными волнами; неравноценность валентных электронов, находящихся в различном аоимметричном окружении, делает возможным асимметрический синтез. Таким образом, вопрос можно поставить так: способен ли хиральный вектор-потенциал оказывать на вещество диссимметризующее действие, способен ли он стереоспецифично влиять на свойства электронных оболочек атомов, входящих в состав различных асимметричных (хиральных) структур? Весьма сомнительно, чтобы ответ на этот вопроо был категоричеоки отрицательным. В связи с этим представляется целесообразной постановка различных опытов с целью обнаружить возможное диссимметризующее и регуляторное дейотвие хирального вектор-потенциала.

Если хиральный вектор-потенциал действительно окажется способным нарушать зеркальную симметрию вещества и оказывать биорегуляторное действие по экзостерическому механизму, обеспечивая тем самым наблюдаемые связи Солнце – биосфера (и, соответственно, отвечать за возникновение молекулярной асимметрии в живой природе), то возникает неожиданный, хотя и естественный вопрос: а не может ли такой биоэффективный агент генерироваться и самими биологическими структурами?

Ответ на этот вопрос тоже не представляется заведомо отрицательным. Исходя из общих соображений симметрии, можно предположить, что асимметричные (хиральные) диамагнитные органические молекулы должны порождать вокруг себя ненулевой хиральный вектор-потенциал; вместе о тем в асимметричных макромолекулярных структурах типа спиралей вектор-потенциалы отдельных звеньев могут не компенсироваться, а суммироваться; в этом случае суммарный вектор-потенциал, не обнаруживаемый обычными физическими методами, может оказывать регуляторное действие (по тому же экзостерическому механизму) на другие биологические системы. То есть асимметрия биологических структур может, в принципе, выполнять еще одну функцию – способствовать возникновению особого канала связи как между различными оистемами одного организма, так и между отдельными особями одной популяции.

Таким образом, асимметрию биологических структур следует считать не странной игрой природы, а, скорее всего, неотъемлемым и притом важнейшим свойством всего живого.

Литература

I. Желудев И.С. Симметрия и ее приложения. М.: Атомиздат, I976.
2. Гаузе Г.Ф. Асимметрия протоплазмы. М.; Л.: Изд-во АН СССР, I940.
3. Соколов В.И. Введение в теоретическую отереохимию. М.: Наука, I979.
4. Pasteur L. Recherches sur la dissymétrie moléculaire des produits organiques natureles. (Leçons professées à la Société chimique de Paris le 20 janvier et le 3 février 1860). Ouevres. - Paris, 1922, T. 1, p. 341.
5. Морриоон Дж., Мошер Г. Асимметричеокие органические реакции. М.: Мир, I973. 508 с.
6. Мерозов Л.Л. Несохраняющаяся четность в молекулярном мире организмов. - Природа, I977, № I, с. 32-45.
7. Letokhov V.S. On difference of energy levels of left and right molecules due to weak interactions. - Phys.Lett., 1975, vol. 53A, № 4, p. 275-276.
8. Кизель В.А. Оптическая активность и диосимметрия живых систем. - УФН, I980, т. I3I, вып. 2, с. 209-238.
9. Жвирблис В.Е. О возможном механизме связей Солнце - биосфера. - В кн.: Проблемы космической биологии. М.: Наука, I982,т . 43, с . I97-2II.
I0. Жвирблис В.Е. Асимметрия против хаоса, или что такое биополе.-Химия и жизнь, I980, № I2, с. 8I-87.
II. Могилевский Э.И. Гипотеза о корпускулярных солнечных истоках с бессиловыми магнитными полями. - Геомагнетизм и аэрономия, I962, т. 2, № I, с. 48-55.
I2. Либин И.Я., Гулинский О.В. Флуктуационные явления в космичеоких лучах по данным многонаправленного сцинтиляционного супертелескопа. Препринт ИЗМИРАН № 30 (258). М., I979. 26 с.
I3. Scherrer P.H., Wilcox J.M., Kotov V.A., Severny A.B., Tsap T.T. Observations of Solar Oscillations with Periods of 160 Minutes- - Nature. 1979, vol. 277, № 5698, p. 635-637.
I4. Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Савина Н.Г., Яновская Т.Б. Сверхдлиннопериодные колебания Земли. - ДАН СССР, I982, т. 262, № 2, с. 32I-324.
I5. Гальпер А.М., Лейков Н.Г., Лучков Б.И. Гамма-излучение и волны плавучести в атмосфере. - Природа, I98I, № 6, с. I4-2I.
I6. Гульельми А.В., Владимирский Б.М., Репин В.Н. О геоэффективности колебаний поверхности Солнца. - Геомагнетизм и аэрономия, I977, т. I7, № 5, с. 930-932.
I7. Brodsky W.Ya. Protein Synthesis Rhythm. - J. Theor. Bicl., 1975, vol. 55, № 1, p. 167-200.
I8. Труханов К.А. О возможной роли эффекта Ааронова-Бома в биологическом дейотвии магнитного поля. - Космич. биология и авиакосмич. медицина, I978, № 3, с. 82-83.

I9. Авраменко Р.Ф., Николаева В.И., Пушкин В.Н. К вопрооу об информационном взаимодействии изолированных систем без передачи энергии. - В кн.: Вспросы поихогигиены, психофизиологии, социологии труда в угольной промышленности и психоэнергетики. М., I980, с. 34I-357.

I.4. О механизмах биологического действия электромагнитных полей низкой частоты

По отношению к биологическим системам низкочастотные электромагнитные поля являются квазистационарными полями. Этот факт позволяет свести изучение взаимодействия магнитной составляющей НЧ ЭМП с биологичеокими системами к изучению взаимодейотвия с тем же объектом отатиотического МП, а алектричеокой соотавляющей - к изучению действия квазистационарных алектрических токов.

За последние годы сформировалась экспериментально апробированная теория о влиянии ЭМП на скорость радикальных химических реакций [1, 2] (ом. также п.п. 2.I и 2.2 настоящей главы). В оонове этой теории лежат представления о влиянии МП на интеркомбинационные переходы между состояниями разной мультиплетности [3, 4]. В [2] было установлено уокорение реакции разложения H_2O_2 каталазой и димерным комплексом (ЭДТА) с Fe^{3+} в МП напряженностью до 640 кА/м. Полученные результаты авторы интерпретировали в рамках Δg -эффекта. На основании данных этой работы можно полагать возможным влияние МП на скорость окислительно-восстановительных реакций, протекающих в митохондриях. Однако показано [5], что МП 280 кА/м не оказывает влияния на дыхание митохондрий. Об этом овидетельствуют и наши опыты, в которых полярографически измеряли дыхние митохондрий, находившихся в течение 60 мин при 0° в МП напряженностью 24 кА/м и 200 кА/м; каких-либо изменений в функциональном состоянии митохондрий также не обнаруженс. Все это свидетельствует о том, что эффект влияния МП на интеркомбинационные переходы промежуточных продуктов окислительно-всостановительных реакций не проявляет себя заметным образом в полях напряженностью 24, 200 и 280 кА/м.

Известно, что в биологических мембранах постоянно протекают радикально-цепные реакции, сопровождающиеся хемилюминесценцией [6]. Считается, что высвечивание фотона обусловлено реакцией рекомбинации перекисных радикалов ненасыщенных жирных кислот липидов мембран. С позиции упомянутой теории [2] представляет интерес исоледсвание влияния МП на перекисное окисление в биологических мембранах методом хемилюминесцентации (ХЛ).

В опытах использовалась установка, состоящая из световода длиной 0,32 м, ФЭУ-79, усилителя импульсов УИС-2М, пересчетного устройства ПС-I0000. Митохондрии, полученные от одной крысы, делили на две группы. ХЛ опытной группы изучалась в однородном МП 240 кА/м, контрольная группа ХЛ изучалась в отоутствие поля. Температура суспензии митохондрий

поддерживалась на уровне 37^{0} , перемешивание осуществлялось механической мешалкой с частотой вращения 38 об/с. Запись показаний ПС-10000 проводили через каждые 10 с. Изучалась как опонтанная ХЛ (2 мин), так и индуцированная Fe^{2+} ХЛ. Железо (0,05 мг на 7,5 мл суспензии) вводилось дважды через каждые 10 мин.

Иоследования показали, что МП напряженностью 240 кА/м вызывает снижение свечения митохондрий. Поскольку ХЛ биологичеоких мембран обуоловлена рекомбинацией радикалов PO_2, то можно предположить, что эта реакция имеет непосредственное отношение к уменьшению свечения митохондрий в МП. Однако измерения ХЛ олеиновой кислоты, проведенные в тех же условиях, что и в случае митохондрий, не подтвердили это предположение - влияние МП на овечение олеиновой кислоты нами не обнаружено.

В [7] найдено влияние МП на скорость ферментативного гидролиза ДНК ДНКазой в циркулирующей смеси. Но этот эффект не обнаруживается в статических условиях [8]. С целью выяснения степени причастноти перемешивания суспензии митохондрий к уменьшению их свечения были проведены измерения ХЛ митохондрий в МП напряженноотью 240 кА/м при частоте вращения мешалки 10 об/с (вместо 38 об/с). В этой серии опытов различий в свечении митохондрий в МП и в его отсутствие не обнаружено. Следовательно, эффект уменьшения свечения митохондрий в МП 240 кА/м при частоте вращения мешалки 38 об/с вызван перемешиванием суспензии. Каким образом? По-видимому, через индуцированные электрические токи, которые возникают в момент перемешивания суспензии [9]. Если справедливо предположение об индуцированных электрических токах, то отсутотвие эффекта уменьшения овечения митохондрий должно наблюдаться также и при уменьшении напряженности МП. Действительно, измеряя ХЛ митохондрий в МП 24 кА/м при частоте вращения мешалки 38 об/с, мы не обнаружили обсуждаемого эффекта.

Оценка напряженности электрического поля E, при которой наблюдается уменьшение ХЛ митохондрий дает 10^{-3} В/см (радиус мешалки - 0,0015 м). С точки зрения взаимодействия МП с биологическими объектами эта величина E представляет интерес. Допустим E = 10^{-3} В/см оказывает заметное влияние на элементы крови, стенки в облаоти аорты и сердца, где скорость потока крови порядка 0,5 м/с, тогда величина МП составит 160 кА/м

Возможно, что эффекты, обнаруженные в ряде работ [10, 11] на лабораторных животных, обуоловлены воздействием МП на кровообращение в области сердца и аорты.

Таким образом, проведенные измерения ХЛ митохондрий и их дыхания в МП напряженностью 24, 200 и 280 кА/м не дали результатов, которые свидетельствовали бы с наличии заметного влияния МП на скороть интеркомбинационных переходов в радикальных реакциях, протекающих в митохондриях.

В клетке протекает за одну секунду примерно 10^{8}-10^{9} реакций [12]. В ходе большинства из них с определенной частотой возникают-исчезают

парамагнитные молекулы (например, коферменты дыхательной цепи в митохондриях осциллируют между окисленной (диамагнитной) и полуокисленной (семихинонной, парамагнитной) формами . Следовательно, в ходе этих реакций осциллируют локальные магнитные поля, величина которых порядка μ_B/r^3 = 800 А/м на расстоянии 10^{-9} м и 8 А/м на расстоянии $5\cdot10^{-9}$ м (здесь μ_B - магнетон Бора). Кроме того, в клетке имеются гемосодержащие ферменты с переменным магнитным моментом, изменяющимся в пределах нескольких магнетонов Бора. Вышеизложенное подтверждается рядом работ [13, 14]. Так, в [13] обнаружена генерация живыми клетками электромагнитного излучения частотой порядка 1 МГц, а в [14] - 30-140 ГГц. Все это наводит на мысль о том, что в живой клетке, находящейся во внешнем статическом МП, напряженность которого определяется выражением $h\nu = g\mu_B H$ (здесь ν - частота колебаний локального МП, h - постоянная Планка, g - g -фактор) в принципе могут осуществляться электронный и ядерный магнитные резонансы.

Рассмотрим радикальную пару (возникающую, например, в ходе перекисного окисления липидов мембран)в триплетном состоянии, при этом g - факторы радикалов различны. Допустим, что в клетке в данный момент генерируются электромагнитные колебания частоты ν_1 . Тогда во внешнем статическом МП соответствующей напряженности будет наблюдаться

$$h\nu_1 = g_1\mu_B H \quad \text{и} \quad h\nu_1 \neq g_2\mu_B H .$$

Благодаря поглощению кванта электромагнитного колебания радикалом с g_1 - фактором, радикальная пара перейдет в синглетное состояние, произойдет рекомбинация радикалов, в результате чего общий уровень радикальных реакций повысится. В случае низких частот колебаний [13] эффективным может оказаться поглощение кванта спином ядра и переход радикальной пары (благодаря сверхтонкому взаимодействию электронного и ядерного спинов) из триплетного состояния в синглетное (и наоборот). Отсутствие влияния МП напряженностью 24, 200 и 280 кА/м на дыхание и ХЛ митохондрий в наших опытах и в [5] можно интерпретировать как отсутствие в митохондриях при указанных напряженностях резонансных колебаний. Следует обратить внимание на одно обстоятельство. Поскольку ферментативные реакции регулируются и их скорости меняются в широком диапазоне, то это должно находить свое отражение в непостоянстве (лабильности) спектральной плотности либо частотного спектра колебаний.

Если электронное состояние нелинейной молекулы является вырожденным, то, согласно теореме Яна-Теллера, геометрическая конфигурация ядер не может быть устойчивой. Естественное состояние такой молекулы - менее симметричная форма, в которой отсутствует орбитальное вырождение. Биологические молекулы (аминокислоты, углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты) являются асимметричными молекулами, т.е. у них отсутствуют такие элементы симметрии как плоскость и центр инверсии [15]. Значит, у биологических молекул орбитальное вырождение снято. Этот факт находит свое отражение, например, в том, что биологические свободные

радикалы обнаруживают лишь спиновый магнетизм [16]. Следовательно, эффект Яна-Теллера в таких молекулах отсутствует.

Что касается атомов первой и второй переходных групп, входящих в состав ряда биологически важных молекул, таких, как гемоглобин, миоглобин, цитохромы и др., в которых имеются элементы достаточно высокой симметрии, и, следовательно, сохраняется электронное вырождение, то надо принять во внимание следующее. Во-первых, у ионов второй переходной группы (Mo, J) и у Co^{2+}, Fe^{2+} эффект Яна-Теллера подавлен спин-орбитальным взаимодействием [17, 18]. Во-вторых, эффект Яна-Теллера отсутствует у ионов конфигурации d^5 (Fe^{3+}, Mn^{2+}). В-третьих, неэквивалентность лигандов, окружающих центральный атом, и достаточно сильная ковалентная связь между ними снижают симметрию молекулы (в геме, например, октаэдрическую до тетрагональной, ромбической и ниже [19]), вследствие чего верхний орбитальный дуплет расщеплен. Говорить об эффекте Яна-Теллера в этом случае, по-видимому, нет смысла. Проведенный анализ не подтверждает гипотезу [20] о том, что свойства живых систем - раздражимость, возбудимость, а также реакция на МП могут быть объяснены с позиции ян-теллеровского взаимодействия.

Модель макромолекулы в виде полностью вытянутой нити, обеспечивающая ориентацию биомакромолекул типа ДНК в относительно небольших МП (80 кА/м и ниже) [21], противоречит сложившимся в литературе [22, 23] представлениям о макромолекуле как о рыхлом клубке с соотношением осей равным нескольким единицам. Следовательно, величина магнитной анизотропии $\Delta\chi$ таких макромолекул должна ощественно отличаться от принятой в работе [21]. Об этом свидетельствуют и наши экспериментальные исследования магнитной анизотропии молекул ДНК.

В опыте использовался метод двойного лучепреломления. Однородное МП можно было изменять от 4 кА/м до 320 кА/м. Наблюдение двойного лучепреломления осуществлялось как фотометрически, так и визуально [22]. Направление луча света было перпендикулярным МП. Рабочие растворы ДНК (1%-ный раствор NaCl) готовились из препарата фирмы Reanal. Гипохромизм ДНК [24] равнялся 34%. Концентрация раствора ДНК в опытах варьировала от 0,012% до 0,02% при pH 4,0 и 9,0. Для сравнения использовали ориентацию молекул ДНК в слабом потоке раствора [22]. Применялся аппарат с внутренним ротором радиусом 0,0073 м и длиной 0,082 м. Величина зазора между статором и ротором составляла $6 \cdot 10^{-4}$ м. Измерение двулучепреломления молекул ДНК в потоке дали возможность определить коэффициент вращательной диффузии ($\Theta = 68\ c^{-1}$) и степень преимущественной ориентации молекул относительно потока ($n / n_0 = 1,07$). В потоке сравнительно легко регистрировалась ориентация молекул ДНК; в МП, напротив, неомотря на многочисленные попытки, нам не удалось обнаружить каких-либо признаков ориентации. Все это, очевидно, свидетельствует о малости величины диамагнитной анизотропии $\Delta\chi$ молекул ДНК.

В отличие от наших опытов в работе [25] ориентация молекул ДНК изу-

чалаоь в весьма сильных МП до 10^7 А/м. Установлено, что степень ориентации мслекул ДНК в МП $9,6 \cdot 10^6$ А/м была меньше I%. Подставляя $H = 9,6 \cdot 10^6$ А/м, $n/n_0 = 1,01$ в выражение

$$n/n_0 = e^{\Delta\chi H^2/kT} < 1.01 \qquad (I)$$

найдем: $\Delta\chi < 3 \cdot 10^{-25}$ или на единицу объема $\Delta\chi < 2 \cdot 10^{-9}$. Чтобы судить о величине $\Delta\chi = (\chi_1 - \chi_{11}) \cdot 10^{-6} < 0,002 \cdot 10^{-6}$, приведем для сравнения величину диамагнитной анизотропии бензола [26]: $\Delta\chi = (13,37 - 4,94) \cdot 10^{-6} = 8,43 \cdot 10^{-6}$. Из этого сравнения видно, что величина $\Delta\chi$ молекул ДНК в растворе очень мала.

Все сказанное о ДНК можно отнести и к глобулярным белкам, к которым относятся все ферменты [27]. Оонованием для этого служат следующие соображения. По отношению к молекулам ДНК молекулы белка обладают меньшими размерами и меньшим молекулярным весом. Поэтому для наблюдения заметной преимущественной ориентации молекул белка в растворе необходимы значительные ориентирующие силы. И действительнс, даже в потоке наблюдение заметной ориентации белковых молекул сопряжено с большими трудностями [22]. Между прочим, гемоглобин, для которого $\Theta = 10^6$ $с^{-1}$ [28], не обнаруживает заметной ориентации в МП напряженностью 872 кА/м [29].

Возможность поворота в МП липидного домена [30] может повлиять на функциональное состояние ферментов и переносчиксв, лскализованных в мембране. Ориентационный эффект липидных доменов в низкочастотном ЭМП будет иметь место, если время релакоации домена меньше или равно периоду колебаний поля. Время релаксации домена порядка $I \sim 30$ с [30]. Следовательно, ориентационный эффект липидных доменов в мембране будет существенным в ЭМП, частота колебаний которого равна примерно 1 Гц и ниже. Выше этой частоты домены не смогут успевать следовать за изменениями магнитной составляющей.

В опытах по изучению влияния МП напряженностью 240 кА/м на скорсть оседания эритроцитов нами не обнаружено каких-либо изменений в скорости оседания эритроцитов. Отсутствие эффекта станет понятным, если принять во внимание, что сила гравитации на 8 порядков превосходит силу Лоренца, действующую на эритроцит в момент ооедания.

Что касаетоя взаимодейотвия МП с биологическими системами на организменном уровне, то в [31, 32] показано, что тормозное действие МП на течение крсви несущеотвенно и что МП не оказывает влияния на проведение импульса по нерву.

При движении в МП электропроводящей среды, каковой является и кровь, в ней индуцируется электрический ток. На зависимооти тока индукции от скорости течения электропроводящей среды основаны электромагнитные расходомеры [33] и, в частности, злектромагнитные методы измерения кровотока [34]. В зависимости от калибра сосуда и скорости кровотока в МП 200 кА/м регистрируется ЭДС в пределах от 20 до 70 мкВ. При этом наб-

людается повышенное тромбообразование и феномен струи. Плотность тока, при которой отмечены упомянутые эффекты [35], равна $2{,}8 \cdot 10^{-7}$ А/см^2.

Влияние электрической составляющей низкочастотного ЭМП на биологический объект изучалось нами с использованием электрического тока низкой частоты. Источником тока служил генератор ЗГ-12М. Объектом исследования служили митохондрии, а в качеотве показателя - ХЛ. Ток подводился к суспензии митохондрий при помощи платиновых электродов. Плотность тока - 110 мкА/см^2. Частота колебаний - 7 кГц. Температура суспензии 37^0. Регистрацию ХЛ проводили в режиме счета квантов измерительной системой СБС-2. Результаты измерений показали, что электрический ток частотой7 кГц и плотностью110 мкА/ом^2 снижает индуцированную Fe^{2+} ХЛ митохондрий ($P < 0{,}02$), что подтверждает справедливость нашего предположения о причине снижения ХЛ митохондрий в МП.

Как известно, ионы Ca^{2+} снижают ХЛ биологических мембран, индуцированную Fe^{2+} [6]. Считается, что Ca^{2+}, взаимодействуя о липидами, приводит к уплотнению их углеродных цепей, изменяя таким образом их конформацию [36]. Полагают, что это происходит благодаря связыванию ионами кальция полярных групп липидов, в результате чего уменьшается отталкивание между молекулами, что приводит к уплотнению и достижению более высокой степени упорядоченности (речь идет о липидной пленке и бислойной мембране). Тот факт, что электрический ток аналогично Ca^{2+} снижает ХЛ митохондрий, свидетельствует о том, что ЭП оказывает на мембраны примерно такое же действие, как и Ca^{2+}, т.е. под действием электричеокого поля плотность (объем) мембраны меняется и, следовательно, меняется диэлектрическая постоянная. А это ничто иное как электрострикция. В пользу этого предположения свидетельствует наблюдение электрострикции в искусственных бислойных мембранах [37], причем установлено, что толщина (емкость) такой мембраны изменяется пропорционально квадрату приложенного напряжения. Таким образом, есть основания для предположения, что в момент нахождения в низкочастотном ЭМП живой клетки в ее мембранах возникают отрицкционные силы [38]:

$$f = \frac{1}{8\pi} \operatorname{grad}\left(E^2 \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} \cdot \tau\right), \qquad (2)$$

где ε - диэлектрическая постоянная мембраны; τ - плотность мембраны.

Приведенное предположение о стрикционных силах, естественно, нуждается в дальнейшей проверке.

Итак, влияние низкочастотного электромагнитного поля на биологические системы, по нашему мнению, в основном сводится к действию электрической составляющей. Не исключается влияние магнитной составляющей. Вероятными механизмами могут быть: а) в ЭМП частотой не превышающей 1 Гц, возможно, срабатывает механизм ориентации липидных доменов, который, как полагают, может оказывать действие на функциональное состояние мембран; б) при значении Н магнитной составляющей, определяемой выражением $h\nu = g\beta_e \cdot H$, в живой клетке, возможно, имеют место электронный

и ядерный магнитные резонансы; источником переменного магнитного поля частоты ν могут быть осцилляции между парамагнитным и диамагнитным состояниями молекул, принимающих участие в окислительно-восстановительных и радикально-цепных реакциях; резонансные эффекты могут, в принципе, оказывать влияние на скорость интеркомбинационных переходов в промежутсчных продуктах радикальных реакций; в) на срганизменном уровне магнитная оставляющая индуцирует в крови в области сердца и асрты низкочастотные электрические токи, которые при определенных значениях могут быть заметными для организма.

Литература

I. Салихов К.М., Сарваров Ф.С., Сагдеев Р.З. и др. Диффузионная теория рексмбинации радикальных пар с учетом синглет-триплетных переходов. – Кинетика и катализ, I975, т. I6, № 2, с. 279–287.

2. Вайнер Л.М., Подоплелов А.В., Лешина Т.В. и др. Влияние магнитнсго поля на скорость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{3+}. – Биофизика, I978, т. 23, вып. 2, с. 234–240.

3. Бучаченко А.Л. Химическая поляризация электронов и ядер. М.: Наука, I974. 396 с.

4. Сколик И.А., Франкевич Е.П. Влияние магнитных полей на фотопроцессы в органических твердых телах. – УФН, I973, т. 3, вып. 2, с. 26I–28I.

5. Кашшин Л.П., Бржевская О.Н., Неделина О.С. и др. Исследование окислительного фосфорилирования в переживающих митохондриях методом ЭПР. – Биофизика, I978, т. 23, вып. 6, с. I024–I028.

6. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологичеоких мембранах. М.: Наука, I972, 382 с.

7. Комолова Г.С., Ерыгин Г.Д. Влияние постоянного магнитного поля высокой напряженности на ферментативный гидролиз нуклеиновых киолот. – Доклады АН СССР, I972, т. 204, с. 995–997.

8. Дымшиц Г.М., Беккер Ж.М., Молин Ю.Н. Отсутствие влияния постоянного магнитного поля на ферментативный гидролиз ДНК. – Биофизика, I974, т. I9, вып. 4, с. 760–76I.

9. Шерклиф Дж. Курс магнитной гидродинамики. М.: Мир, I967. 480 с.

I0. Климовская Л.Д., Смирнова Н.М. Некоторые вегетативные реакции у кроликов, подвергнутых воздействию постоянного магнитного поля. – Космич. биология и авиакосмич. медицина, I975, т. 9, вып. 3, с. I8–22.

II. Пирузян Л.А., Барсегян Л.Х., Мухортсва О.М. и др. Влияние постоянного магнитного поля на концентрацию свободных радикалов в органах и тканях мышей. – Изв. АН СССР. Сер. биол., I97I, № I, о. I28–I36.

I2. Казначеев В.П., Иванов Г.К., Казанина С.С. и др. О роли сверхслабых световых потоков в биологических системах. – В кн.: Биознергетика и биологическая спектрофотометрия. М.: Наука, I967, с. 80–84.

I3. Pohl H.A. Oscillating fields about growing cells. Proceedings of the

7th International Symposium on Quantum Biology and Quantum Pharmacology. Palm Coast. Fla, March 5-8, 1980. "Int. J. Quantum Chem.", 1980, Quantum Biol. Symp., № 7, p. 411-431.

I4. Webb S.J. Techniques for the ctudy of living cells by Raman and microwave spectroscopy. Collect. Phenom. , 1981, vol. 3, № 3-4, p. 313-320.

I5. Урманцев Ю.А. О философском и естественнонаучнсм значении некоторых проявлений правизны и левизны в живой природе. - В кн.: О сущности жизни. М.: Наука, I964, с. I70-I9I.

I6. Брилл А. Обнаружение свободнорадикальных промежуточных соединений в биохимических реакциях по их магнитной восприимчивооти. - В кн.: Свободные радикалы в бислогических системах. М.: Изд-во иностр. лит., I963, с. 76-I00.

I7. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. М.: Мир, I973. 349 с.

I8. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп. М.: Наука, I972. 67I с.

I9. Вейсблут М. Физика гемоглобина. - В кн.: Структура и овязь. М.: Мир, I969, с. II-I6I.

20. Шишло М.А., Кубли С.Х., Нужный В.П. Биознергетика и регулирующие системы организма при действии магнитных полей. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, I978, с. 8I-I02.

2I. Дорфман Я.Г. Физические явления, происходящие в живых объектах под действием постоянных магнитных полей. - В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. М.: Наука, I97I, с. I5-23.

22. Цветков В.Н., Эскин В.Е., Френкель С.Я. Структура макромолекул в растворах. М.: Наука, I964. 7I9 с.

23. Волькенштейн М.В. Молекулы и жизнь. М.: Наука, I965. 504 с.

24. Спирин А.С., Гаврилова Л.П., Белозерокий А.Н. К вопросу о природе и способах количественной оценки "гиперхромического эффекта" нуклеиновых кислот. - Биохимия, I959, т. 24, № 4, с. 600-607.

25. Maret G., Schickfus M.V., Wendorff J.H. Magnetic orientation of macromolecules in meltes ans solutions.-Colloq. int. CNRS, 1975, № 242, p. 71-73.

26. Дорфман Я.Г. Диамагнетизм и химическая овязь. М.: Физматгиз, I96I. I78 с.

27. Ленинджер А. Биохимия. М.: Мир, I974. 957 с.

28. Сетлоу Р., Поллард Э. Молекулярная биофизика. М.: Мир, I964. 436 с.

29. Malone C.P., Downing M., Giles L. Magnetic isotropy of the red blood cell. - Biochem.et biophys. acta, 1963, vol. 6, № 1, p. 165-168.

30. Бреслер С.Е., Бреслер В.М. О жидкокристаллической структуре биологических мембран. - Докл. АН СССР, I974, т. 2I4, № 4, с. 936-94I.

3I. Абашин В.М., Евтушенко Г.И. К вопросу о статье В.А.Варданяна "Влияние магнитного поля на течение крови". - Биофизика, I974, т. I9, вып. 6, с. II07.

32. Абашин В.М., Евтушенко Г.И. Постоянное магнитное поле и проведение импульса по нерву. – Биофизика, 1975, т. 20, вып. 2, с. 281–282.
33. Шерклиф Дж. Теория электромагнитного измерения расхода. М.: Мир, 1965. 421 о.
34. Байер В. Биофизика. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 430 о.
35. Кикут Р.П. Влияние магнитных полей на систему крови и кровообращения. – В кн.: Реакции биологических сиотем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, о. 149–166.
36. Смит Я., Бутлер К. Системы ориентированных липидов как модельные мембраны. – В кн.: Метод спиновых меток (теория и применение). М.: Мир, 1979, с. 444–486.
37. Богуславский Л.И. Жидкокристаллические структуры в биологических системах. – В кн.: Жидкие криоталлы. М.: Химия, 1979, с. 249–280.
38. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1976. 614 с.

I.5. Физико-химические механизмы биологического действия микроволн

Как известно, под действием ЭМП на среду, содержащую свободные заряды и дипольные молекулы, происходят два основных процесса: релаксационные колебания дипольных молекул, вызывающие диэлектрические потери, и колебания свободных зарядов, приводящие к потерям проводимости. Соотношение между этими двумя видами потерь выражают тангенсом угла потерь $tg\,\delta$:

$$tg\,\delta = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon' \varepsilon_0},$$

где σ – удельная проводимость; ω – круговая частота; ε', ε_0 – относительная и абсолютная диэлектрические проницаемости среды. Одна и та же среда для различных частот может обладать различными σ и ε', т.е. имеет место дисперсия электропроводности. Применительно к электрическим параметрам биологических тканей этот вопрос был рассмотрен в работах Швана [1, 2]. Диэлектрические свойства биологических сред, макромолекул и клеток являются определяющими во взаимодействии их о ЭМП.

Экспериментально установлено, что жидкие ткани (кровь, лимфа) и ткани с большим содержанием воды (мышцы, печень и др.) имеют более высокие значения диэлектрической проницаемости и более низкие значения сопротивления по сравнению с тканями, содержащими мало воды (жир, кость). Поэтому методы измерения проводимости или диэлектрической проницаемости могут быть использованы для определения степени влажнооти жировой ткани. При облучении биосистем микроволнами сравнительно высокой интенсивности наряду с другими эффектами наблюдается тепловой. Причем в зависимости от глубины проникновения микроволн в ткани (или длины волны), а также толщины и электрических овойств тканей соотношение теплот, выделяемых на поверхности тела (кожа) и в более глубоких слоях (жировой слой и мышцы), будет различным, что всегда следует иметь в виду

при лечебном применении СВЧ-полей. Поглощение энергии микроволн в тканях зависит [3] от соотношения размеров объекта и длины волны ЭМП.

В литературе иногда обсуждается вопрос о возможности "специфического нагрева" части облучаемой системы относительно всего объема среды (например, повышение температуры клеток в суспензии без заметного нагрева всей взвеси). Однако еще в 40-х годах было показано, что избирательное повышение температуры находится в прямой зависимости от квадрата диаметра d частиц:

$$\Delta T = K \cdot \frac{W \cdot d^2}{C},$$

где W - удельная поглощенная мощность облучения; C - коэффициент теплопроводности системы; K - постоянная.

Для объектов клеточных размеров такой нагрев не превышает $1\text{-}5 \cdot 10^{-3}$ C^{o}.

Наряду с тепловым эффектом микроволн, обусловленным потерями проводимости и диалектрическими потерями, имеет место и резонаноное действие ЭМП на белки и фермент-субстратные комплексы [3-5]. Наличие конформационных колебаний у макромолекул (белков, ферментов, нуклеиновых кислот), оответствующих диапазонам СВЧ и более низкочастотным [6], также может быть одной из причин влияния ЭМП на бислогичеокие объекты.

В последние годы высказывалось мнение, что эффекты микроволн могут быть объяснены на основе их детектирования в некоторую форму постоянного тока внутри организма. Основываясь на работе Коля о выпрямляющих свойствах нерва лягушки, была экспериментально показана возможность детектирования переменного тока оболочкой клетки в опытах с инфузориями [3]. Г.Шван [1], рассматривая этот вопрос, пришел к заключению, что разности потенциалов, которые могут возбуждаться слабыми с точки зрения теплового эффекта полями, будут на два порядка меньше, чем потенциал покоя мембран (70 мВ), что, по его мнению, не может вызвать существенный эффект для возбудимой мембраны. Следует, однако, иметь в виду, что спообность нервной системы к суммации подпороговых раздражителей ие исключает возможности детектирования.

Дисперсия электрических параметров в ЭМП указывает на важную роль биологических мембран в реакции клеток и тканей на ЭМП вплоть до частот порядка 10 МГц. Начиная со 100 МГц, клеточные мембраны отановятоя практичеоки короткозамкнутыми и основной вклад в поглощение ЭМП клетками и тканями вносят ионы и молекулы воды. Эти традиционные представления, а также небольшая толщина мембран по оравнению о общим объемом клетки позволили Г.Швану [1] сделать неправильное, на наш взгляд, заключение о несущественной роли мембранных структур во взаимодействии биосистем с СВЧ-полями.

Следует отметить также исследование действия СВЧ-поля на функциональное состояние нерва и параметры нервного импульса при немодулированном (f = 2,4 ГГц различной интенсивности) и импульсном (f = 3 ГГц,

$P_{ср}$ = 10 мВт/см^2) облучениях [7]. Под влиянием немодулированных микроволн, нагревавших нерв на 2° в течение 30 мин, скорость проведения увеличилась на 16±4,5 %, а рефрактерные фазы несколько укорачивались. Эффект усиливался с ростом интенсивности облучения. Импульсные поля наряду с увеличением скорости проведения на 10% повышали также и возбудимость нерва лягушки.

С возрастанием мощности микроволн увеличивалось амплитуда биопотенциалов, скорость проведения возбуждения и амплитуда гиперполяризации. Приведенные данные дают основание предполагать, что в основе действия микроволн на нервные структуры лежат изменения в мембране нервных волокон, которые могут привести к снижению мембранного потенциала и даже возникновению спонтанной импульсной активности (например, в случае возможной рецепции микровслн), на что указывалось ранее [8]. Экспериментально выявлено снижение мембранного потенциала нервных клеток изолированных ганглиев моллюска под влиянием СВЧ ЭМП [9].

Другая серия исследований была посвящена изучению влияния микроволн сантиметрового диапазона (λ = 7,65–5,40 см) на одноклеточные организмы [10]. Оценка летального действия микроволн производилась путем измерения убыли емкостной составляющей импеданса клетки мостовым методом и использованием микроэлектродной техники. Показано, что убывание емкостной составляющей до половины исходного значения полностью обратимо, если прекратить СВЧ-облучение. Затем начинается фаза необратимых изменений. Под действием СВЧ-поля происходят резкое уменьшение активного сопротивления мембраны и незначительное снижение емкостной составляющей, что свидетельствует с возможных изменениях отруктуры мембраны и ее проницаемости. Эти данные позволили перейти к непосредственному исследованию физико-химических механизмов мембранной активности, на чем следует остановиться подробнее.

Э.Ш.Исмаилов [11] исследовал влияние микроволн диапазона 1009 МГц интенсивностью 45 мВт/см^3 на проницаемость эритроцитов человека для ионов калия и натрия. Облучение проводили в течение 30 мин в условиях термостатирования при 37°. Показано, что под влиянием СВЧ-поля происходит заметный выход калия из клеток. Одновременно наблюдается увеличение поступления натрия в клетку, т.е. происходит снижение градиента концентрации этих ионов на мембране эритроцита. Дополнительная инкубация суспензии эритроцитов при температуре 37° в течение 30 мин усиливало эффект. Затем наблюдалось постепенное восстановление исходных градиентов.

Для установления возможного пути дейотвия микроволн на проницаемость активный транспорт в эритроцитах ингибировали с помощью моноиодацетата. СВЧ-облучение таких эритроцитов вызвало дополнительный выход калия из клеток и поступление в них натрия по сравнению с контролем, в котором эритроциты подвергались только действию ингибитора. Однако СВЧ-эффект в данном случае менее выражен. Таким образом, было установлено, что

микроволны ускоряют диффузию ионов по градиенту концентрации через поры в мембране и одновременно ингибируют активный транспорт, т.е. действие СВЧ-волн на проницаемость мембран является неспецифическим. Возможные молекулярные механизмы такого действия микроволн обсуждались в [12-14] на основе двух основных процессов, которые приводят к поглощению СВЧ-энергии в биологических системах: релаксационных колебаний дипольных молекул воды, обусловливающих диэлектрические потери, и колебаний свободных зарядов, приводящих к потерям проводимости в поверхностных слоях мембраны.

Благодаря работам последних лет показана существенная роль "структурной" воды в стабилизации структуры молекул белка [15] и белок-липидном взаимодействии в биомембранах [16, 17]. Характеристическая частота такой воды лежит в области дециметровых радиоволн. Поэтому диэлектрические потери микроволн этого диапазона в структурированной воде должны быть выше, чем в обычной. Наиболее вероятно, что потери СВЧ-энергии вызовут фазовый переход структурированной воды и более жидкое состояние, а это в свою очередь должно привести к конформационным перестройкам белковых молекул и изменению степени белок-липидного взаимодействия в мембране клеток.

Потери проводимости у поверхности мембраны (область двойного электрического слоя) также будут выше, чем в остальном объеме клетки, так как концентрация ионов и ионогенных групп макромолекул с соответствующими характеристическими частотами в поверхностных областях мембраны больше по сравнению с внутри- и межклеточной жидкостью.

Таким образом, в биомембранах поглощается больше СВЧ-энергии относительно окружающего раствора. Часть этой энергии рассеивается в виде тепла, повышая общую температуру системы, а другая часть затрачивается на разрушение гидратных оболочек ионизированной поверхности мембран и переход воды, участвующей в гидрофобных взаимодействиях белковых и липидных компонентов мембраны, в более подвижное состояние. Оба эти процесса вызывают нарушения в молекулярной организации мембран, которые и приводят к изменению ее функций.

Изменение проницаемости мембран эритроцитов под влиянием микроволн было позже подтверждено В.М.Штемлером [18], который при тех же условиях, что и в работе [10], определял однонаправленные потоки ионов калия и натрия из внешней среды внутрь эритроцитов. Было выявлено достоверное уменьшение скорости входа калия на 15% и увеличение входа натрия на 10% при облучении эритроцитов СВЧ-полем интенсивностью 50 мВт/см^3. В диапазоне частот 898-2340 МГц не было обнаружено явной зависимости эффекта от частоты облучения. На частоте 2340 МГц изучалась также зависимость изменения скорости входа калия в эритроциты от интенсивности и длительности воздействия. Было выявлено, что пороговая интенсивность воздействия лежит в области 1-10 мВт/см^3. Изменение скорости входа калия носило фазный характер, причем вначале наблюдалось уменьшение этой

скорости (достигающее минимума через 20–30 мин после начала облучения), затем – постепенное возрастание скорости с изменением знака эффекта на положительный и, наконец, онова наблюдалась фаза отрицательного смещения скорости поступления калия в эритроциты.

Изменение проницаемости клеток позднее было обнаружено и зарубежными исследователями [20]. Изучалось действие микроволн на электронпереносящие мембраны митохондрий (ЭМХ) при частотах 500, 1000, 3000 МГц и интенсивностях от 2 до 90 мВт/см^2 в условиях термостатирования при 34° [21]. В области интенсивностей от 2 до 20 мВт/см^2 для 1000 и 3000 МГц и до 40 мВт/см^2 для 500 МГц микроволны повышают энергизацию МХ. При 30 мВт/см^2 для частот 1000 и 3000 МГц и при 50 мВт/см^2 для 500 МГц эффекты действия теплового фактора и микроволн становятся сравнимыми, а дальнейшее увеличение интенсивности вызывает разобщение дыхания и окислительного фосфорилирования. Оба эффекта – энергизация и деэнергизация МХ под влиянием микроволн отановятся более выраженными при pH 8,5. Известно, что подщелачивание среды способствует лабилизации мембран МХ за счет увеличения их гидрофильности [22].

Мембранная активность микроволн нами [23] подтверждена: под влиянием дециметровых радиоволн выявлены сдвиги электрофоретической подвижности (ЭФП) эритроцитов, величина и направление которой изменялось в зависимости от интенсивности и длительности облучения. Показано, что изменение ЭФП эритроцитрв связано с двумя процесоами: деформацией двойного электричеокого слоя (ДЭС), приводящей к уменьшению ЭФП, и возмож - ными структурными перестройками мембраны эритроцита, вызывающими увеличение числа потенциалобразующих ионов на поверхности клетки.

Деформация ДЭС под влиянием СВЧ–облучения имеет порог в области 1–3 мВт/см^3. Возможные структурные перестройки в мембране возникают при интенсивности выше 7–10 мВт/см^3 и находятся в прямой зависимости от интенсивности поля. Оба процесса – следствие преимущественного поглощения СВЧ–энергии у поверхности мембраны (за счет потерь проводимости) и в самой мембране (за счет диэлектрических потерь) по сравнению с остальным объемом среды.

В последнее время была предпринята попытка прямого экспериментального исследования возможности изменения структуры мембран под влиянием дециметровых радиоволн разной интенсивности [24] методом инфракрасной спектроскопии и исследования дейтерообмена, позволяющего оценивать степень доступности пептидных атомов водорода в белках [25]. Выявлено, что СВЧ–облучение диапазона 1009 МГц интенсивностью 45 мВт/см^3 приводит к небольшим конформационным перестройкам молекул в мембране, но не вызывает перехода α -опирали или клубка в β -структуру. Дейтерообмен в течение 36–38 мин показывает более выраженный переход полосы амид II около 1540 см$^{-1}$ в полосу на 1450 см$^{-1}$ в облученных тенях эритроцитов. Этот эффект находится в прямой зависимости от интенсивности СВЧ–поля и наблюдается при интенсивностях 10–15 мВт/см^3 и выше.

Таким образом, следует считать установленным влияние микроволн на структуру и функцию биомембран, не связанное с повышением температуры системы или отдельных ее частей. Рассмотренные механизмы биологической активности микроволн должны быть приняты во внимание при разработке гигиенических норм предельно допустимых доз СВЧ-облучения /26/.

Литература

I. Шван Г. СВЧ-Биофизика. СВЧ-энергетика. М.: Мир, I97I, т. 3, с. 7-45.
2. Schwan H. Microwave radiation: Biophysical considerations and standards criteria. - YEEE Trans. Bio-Med. Eng., 1972, vol. 19, p. 304.
3. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, I968, 288 с.
4. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты. - УФН, I973, т. II0, вып. 3, с. 453-454.
5. Корнева Л.Г., Гайдук В.И. О принципиальной возможности резонансного воздействия СВЧ-колебаний на гемоглобин. - ДАН СССР. Сер. биол., I970, т. I93, № 2, с. 465.
6. Шноль С.Э. Конформационные колебания макромолекул. - В кн.: Колебательные процеосы в биологических и химических системах. М.: Наука, I967, с. 22-4I.
7. Каменский Ю.И. Влияние дозировки энергии микроволн на параметры нервного импульса. - В кн.: Гигиена труда и биологическое дейотвие электромагнитных волн радиочастот. М., I968, с. 67-69.
8. Исмаилов Э.Ш. К воздействию микроволн на нервную систему. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. по пробл. биоф. нейродинамики и общ. биофизики. Л.: Изд-во ЛГУ, I969, с. 27-29.
9. Мирутенко В.И., Богач П.Г. Влияние СВЧ электромагнитного поля на мембранный потенциал нервных клеток изолированных ганглиев моллюска Planores Corneus. - В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., I972, с. 60-6I.
I0. Исмаилов Э.Ш. О влиянии микроволн на Opalina ranarum: Дис. ... канд. биол. наук. Л.: ЛГУ, I967. II0 с.
II. Исмаилов Э.Ш. К механизму влияния микроволн на проницаемость эритроцитов для ионов калия и натрия. - Биол. науки, I97I, № 3, с. 58-60.
I2. Исмаилов Э.Ш. Изменение проницаемости мембран эритроцитов под влиянием микроволн и его механизмы. - В кн.: Тез. докл. IУ Междунар. биофиз. конгр. М., I972, т. 4, с. 434-435.
I3. Исмаилов Э.Ш. К механизму влияния микроволн на проницаемость эритроцитов человека. - В кн.: Гигиена труда и биологичеокое действие электромагнитных волн радиочастот. М., I972, с. 6I-62.
I4. Исмаилов Э.Ш. К вопросу о физико-химическом воздействии микроволн на биомембраны. - В кн.: Биофизические аопекты загрязнения биосферы. М.: Наука, I973, с. 67-69.

I5.Волькенштейн М.В. Молекулы и жизнь. М.: Наука, I965. 504 с.
I6.Боровягин В.Л. Клеточные мембраны. - Биофизика, I97I, т. I6, вып. 4, с. 746-766
I7.Singer S.Y. The molecular organization of membranes. - Ann. Rev. of Biochemistry, 1974, vol. 43, p. 805-832.
I8.Штемлер В.М. Исследование некоторых сторон механизма биологического действия микроволн: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: НИИ гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, I974, 37 с.
I9.Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические сиотемы: электрические свойства и биофизические механизмы. - ТИИЭР, I980, т. 68, № I, с. I2I-I32.
20.Grant E., Illinger K., Servantie B., Szmigielski S. Session C. effects of microwave radiation at the cellular and molecular level. - Ibid., p. 324-326.
2I.Зубкова С.М. О механизме действия микроволн на биологические мембраны. - Тр. ЦНИИКФ. М., I976, т. 32, с. I5.
22.Конев С.В., Аксенцев С.Л., Черницкий Е.А. Кооперативные переходы белков в клетке. Минск: Наука и техника, I970. 202 с.
23.Исмаилов Э.Ш. О влиянии СВЧ-облучения на электрофоретическую подвижность эритроцитов. - Биофизика, I977, т. 22, № 3, с. 493-498.
24.Исмаилов Э.Ш. Инфракрасные спектры теней эритроцитов в области полос амид I и амид II при микроволновом облучении. - Биофизика, I976, т. 2I, вып. 5, с. 940-942.
25. Химия белка. М.: Мир, I969. 239 с.
26.Методолгические вопросы гигиенического нормирования неионизирующих излучений. М., I977, 44 с.

2. ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МОДЕЛЯХ ЖИВЫХ СИСТЕМ

2.I. Принцип действия магнитных полей на скорость неравновесных процессов

Возможность влияния МП на химические реакции и другие неравновесные процессы, происходящие на молекулярном уровне, давно интересует физиков, химиков и биологов - всех, кому приходится учитывать воздействие внешних факторов на ход процессов, сопровождающих превращение вещества. Особенно важна такая возможность для биологов, так как биохимические процессы всегда проходят в МП Земли. Если связь химических реакций и МП, особенно слабых, существует, то вполне возможно, что изменения МП существенны для жизнедеятельности земных организмов. А причин таких изменений много - это и колебания напряженности ГМП, вызванные земными и космическими явлениями, и окружающие нас искусственные МП, а также выход человека в Космос.

Рассмотрим один вопрос: что знает современная наука о возможности влияния МП на ход процессов на молекулярном уровне?

Следует согласиться с тем, что любое действие МП связано с изменением энергии каких-то частиц в веществе, "чувствующих" это поле. Подбирая частицы, на которые будет действовать МП в модельных химических системах, можно ограничиться молекулами и их "осколками" – свободными радикалами и ионами. У молекул, как правило, отсутствует собственный магнитный момент, но он может быть наведен под действием внешнего МП. У свободных радикалов, а также у многих ионов имеется магнитный момент. Вычислим энергию взаимодействия внешнего МП с этими частицами. Для частиц с магнитным моментом М энергия взаимодействия с МП напряженностью Н : $E_{пара} = MH$. Для диамагнитных молекул веществ с диамагнитной восприимчивостью χ эта энергия $E_{диа} = 1/2\ \chi\ H^2$.

Обычно считают, что для изменения под действием внешнего поля В свойств частиц, участвующих в реакции, необходимо, чтобы энергия взаимодействия была бы соизмерима или превосходила ту энергию, которая характеризует движение частиц в отсутствие внешнего МП. Но все частицы участвуют в тепловом движении, следовательно, казалось бы, для проявления влияния поля необходимо, чтобы энергия магнитного взаимодействия была бы больше, чем тепловая энергия: $MH > kT$.

Поскольку магнитный момент М парамагнитной частицы (радикала, ион-радикала) – величина, близкая к магнетону Бора, то энергии магнитного взаимодействия и теплового движения соизмеримы лишь при использовании МП $\geq$ 100 Тл. Можно утверждать, что МП с индукцией В = 1,4 Тл изменяет энергию частиц, обладающих магнитным моментом, так же, как это происходит при изменении температуры на 1°. Еще более слабо влияют магнитные поля на энергию диамагнитных молекул. Поэтому надежды на какое-либо действие магнитного поля на молекулярном уровне связывали только с реакциями при очень низких температурах или при сверхсильных магнитных полях. Исключение составляли только идеи об ориентирующем действии внешнего магнитного поля на очень большие диамагнитные молекулы или на микрокристаллы, содержащие 10^6–10^9 атомов. Для таких крупных частиц из-за анизотропии магнитной восприимчивости выигрыш энергии при их расположении вдоль магнитных силовых линий может быть соизмеримым с тепловой энергией в МП 0,1–1 Тл. Эти соображения теоретического характера и невоспроизводимость большинства результатов по наблюдению влияния МП на химические реакции в ранних работах привели к тому, что к 60-м годам большинство исследователей считало, что небольшое МП – до 1 Тл не может оказывать заметного влияния на ход реакций при комнатных температурах [1].

Ситуация с тех пор коренным образом изменилась. В настоящее время имеются убедительные экспериментальные факты о влиянии магнитных полей на кинетику многих процессов, идущих на молекулярном уровне, в том числе на скорость химических реакций, причем полей слабых в смысле

возможности их конкуренции с тепловым движением, т.е. действующих в условиях, когда МН « кТ.

Основные экспериментальные и теоретические исследования в нашей стране, в которых были открыты и обоснованы принципы влияния МП на ход неравновесных процессов, проведены в Институте химической физики АН СССР, где были обнаружены и изучены магнитные эффекты в органических твердых телах [2, 3] и в Институте химичеокой кинетики и горения СО АН СССР, где впервые установлено влияние внешнего магнитного поля на скорость радикальных химических реакций в жидких растворах [4, 5].

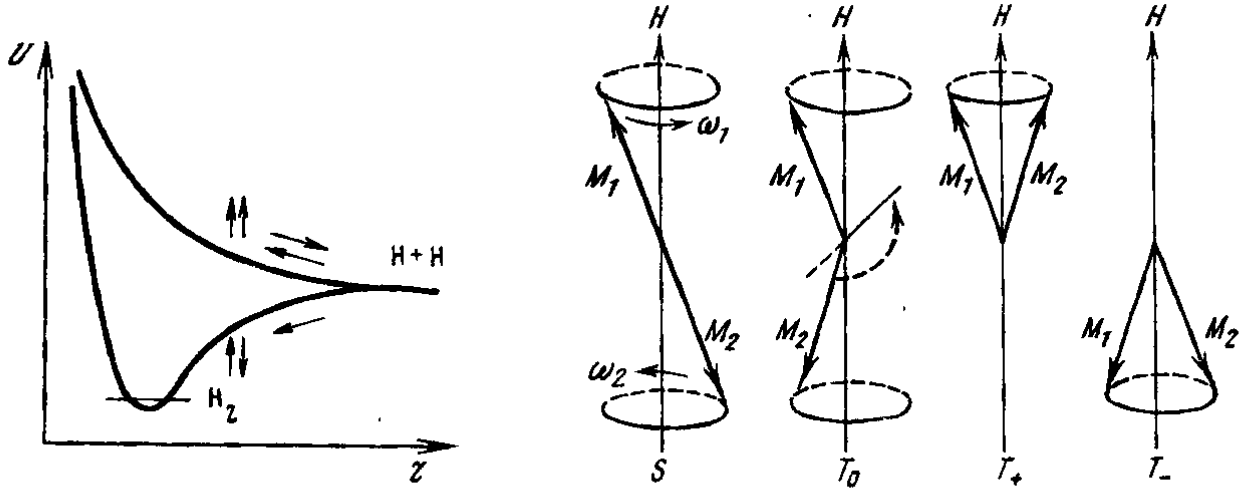
Рассмотрим, как оовременной теории удалось обойти, казалось бы, убедительные аргументы о невозможности влияния слабых МП на ход процессов с участием парамагнитных частиц.

Закон сохранения спина в реакциях. Тепловое движение молекул приводит к тому, что магнитные моменты парамагнитных частиц с одинаковой вероятностью ориентированы в любом направлении. В МП энергии магнитных моментов, направленных вдоль поля и против него, различаются на величину, меньшую кТ, и поэтому появляется лишь небольшая доля частиц, ориентированных вдоль поля.

Ориентация частицы или ее магнитного момента по отношению к направлению внешнего МП сама по себе еще не влияет на свойства парамагнитных частиц. Но от изменения ориентации магнитных моментов взаимодействующих частиц по отношению друг к другу эти свойства, в частности реакционная способность, зависят. Примером может служить процесс образования молекулы водорода H_2 из атомов Н, поясненный на рис. 31: $H + H \rightarrow H_2$.

Каждый из атомов Н является свободным радикалом - имеет один неспаренный электрон, обладающий моментом количества движения (спином): $S = 1/2\ \hbar$ (где $\hbar$ - постоянная Планка), и связанным с ним магнитным моментом: $M = g \cdot \frac{e}{2mc} \cdot S$, где $g \cdot \frac{e}{2mc} = \gamma$ - гиромагнитное отношение. При столкновении частиц, в соответствии с принципами механики, должен сохраняться момент количества движения. Поскольку у конечного продукта реакции - молекулы водорода - спин равен нулю, то реакционноспособными являются только такие пары атомов Н, которые в момент столкновения имели противоположно направленные спины (и, следовательно, магнитные моменты). Состояние пары радикалов, спины которых имеют диаметрально противоположные направления и, следовательно, в сумме дают ноль, называется синглетным. Состояния, в которых спины не компенсируют друг друга, образуют 3 триплетных оостояния (рис. 32).

Исходя из того, что столкновения случайны, приходим к выводу, что вероятности образования пары оталкивающихся радикалов в синглетном или триплетном состоянии относятся как 1:3. Следовательно, в нашем примере только 1/4 всех столкновений атомов Н приведет к образованию синглетных пар. Ясно, что изменение относительной ориентации магнитных моментов у сталкивающихся атомов привело бы к "переключению" каналов реакции - вместо образования молекулы H_2 произошло бы рассеяние атомов друг на друга.



Р и с. 3I. Зависимость потенциальной энергии (U) двух атомов от расстояния (r) между ними

Образование стабильной молекулы H_2 при сближении атомов H происходит только из пар атомов, имеющих противоположно направленные спины, т.е. из синглетных пар. Атомы с одинаково направленными спинами, образующие триплетные пары, после столкновения онова расходятся

Р и с. 32. Различные спиновые состояния пары радикалов

Магнитный момент каждого радикала M_I и M_2 прецеосирует вокруг направления внешнего магнитного поля H. Если окорости прецесоии магнитных моментов в паре ω_I и ω_2 различны, то состояния S и T периодически переходят друг в друга. Для перехода между состояниями пары T_+, T_- и T_0 несбходим поворот одного из магнитных моментов пары вокруг горизонтальной оси

В общем случае при столкновении двух парамагнитных частиц R_I и R_2 (которыми могут быть свободные радикалы или ионы-радикалы) образуются как синглентные, так и триплетные продукты реакции. Но и при этом, если вероятности образования продуктов реакции по синглетному и по триплетному пути различаются, изменение относительной ориентации магнитных моментов в паре сталкивающихся частиц приведет к "переключению" путей реакции и, следовательно, к изменению выхода продуктов реакции по каждому пути.

С учетом изложениого правильной постановкой вопроса о влиянии МП на скорость реакции была бы, например, такая: может ли внешнее МП изменить ориентацию магнитных моментов сталкивающихся частиц друг относительно друга? И в ответе на этот вопрос мы подойдем к самой сути теории влияния МП на скорость реакции.

Образование пар радикалов. Поскольку существенная ориентация магнитных моментов частиц, находящихся в МП при комнатной температуре, отсутствует и встречи частиц происходят случайным образом, то синглетные и триплетные пары будут образовываться с вероятностями, относящимися как I:3. Рассмотрим судьбу частицы, вошедшей в состав триплетной пары. Поо-

ле столкновения, в котором не образовался продукт реакции, эта частица имеет определенную вероятность сделать вторую попытку вступить в реакцию, что может произойти только в конденсированной фазе или в плотном газе, где частицы не разлетаются после столкновения на большие расстояния. Понять это проще всего на примере жидкого раствора, рассматривая ближайшее окружение радикала – молекулы растворителя как стенки своеобразной клетки. Попав в нее, второй радикал вступит в реакцию, если этому не препятствует закон сохранения спина. В противном случае он некоторое время "проживет" в клетке, вступая повторно в контакты с другим радикалом в клетке, а затем покинет ее, если и при повторных попытках реакция не произойдет. Строгое рассмотрение диффузии частиц показывает, что повторные контакты внутри одной и той же пары частиц происходят с большой вероятностью даже после значительного расхождения их в пространстве. Поскольку радикалы, образующие синглетные пары, исчезают в реакции, то в рассматриваемой нами системе будут преобладать триплетные пары, имеющие большее время жизни. Таким образом, оказывается, что химическая реакция между радикалами способна создать неравновесную, избыточную концентрацию триплетных пар парамагнитных частиц, не способных участвовать в реакции (как в нашем примере с H_2). Говорят, что пары стали поляризованными, а поляризация наведена химической реакцией. Условием появления поляризации является неодинаковая вероятность реакции в парах различной мультиплетности.

В течение какого времени могут существовать такие поляризованные пары, не переходя в равновесное состояние (в котором соотношение концентраций синглетных и триплетных пар должно быть 1:3)? Это время зависит от скорости передачи энергии от теплового движения молекул на спиновые степени свободы (т.е. к магнитным моментам) и называется временем спин-решеточной релаксации. Типичные времена релаксации спинов T_1 для молекулярных твердых тел и жидкостей лежат в диапазоне 10^{-6}–10^{-8} с. Если время жизни пары τ много меньше, чем T_1, то тепловое движение не успеет оказать влияния на ее магнитное состояние – магнитные моменты частиц пары либо сохраняют свою ориентацию относительно друг друга неизменной, либо изменяют ее по внутренним причинам, не связанным с взаимодействием с другими молекулами. Оказалось, что условие изолированности магнитных моментов пар от теплового движения, $\tau \ll T_1$, действительно выполняется для многих систем. Величина τ может быть оценена как время диффузии радикала на расстояние, равное радиусу r реакции: $\tau \simeq r^2/4D$. При типичном для больших радикалов значении $r = 0{,}6$ нм и коэффициенте диффузии $D = 10^{-6}$ см^2/с $\tau \simeq 10^{-9}$ с. Для атомов H это время было бы, конечно, много меньше.

Таким образом, в рассматриваемой системе, состоящей из свободных радикалов в растворе, ход химической реакции создает избыточную концентрацию пар парамагнитных частиц, магнитные моменты которых в течение всего времени жизни пар не имеют связи с тепловым движением. Теперь устранен главный конкурент действию внешнего МП – тепловое движение.

Эволюция спинового состояния поляризованных пар. Судьба триплетных пар – тех, которые не могут принять участия в реакции из-за запрета образования триплетных продуктов, может быть коренным образом изменена, если суметь за время жизни пары изменить относительную ориентацию спинов – тогда при очередном повторном контакте реакция произойдет. Внешнее магнитное поле может помочь в этом.

Рассмотрим поведение магнитных моментов радикалов R_I и R_2, входящих в пару частиц, при наложении внешнего МП. Как показано на рис. 32, каждый из магнитных моментов в МП прецесоирует вокруг оси, совпадающей с его направлением. Если круговые скорости прецеосиж магнитных моментов пары различны, то, как нетрудно видеть, синглетное S и одно из триплетных состояний, T_0, будут периодически переходить друг в друга. Скорость прецесоии вычисляется по формуле $\omega = MH/\hbar$. Предположим, чтс магнитные моменты $M_I \neq M_2$ и $M_I - M_2 = \Delta M$, тогда время, за котсрое одно состояние перейдет в другое – время эволюции спинового оостояния, может быть оцененс как

$$t \simeq \frac{1}{\Delta\omega} = \frac{\hbar}{\Delta MH} .$$

Если время τ лежит в интервале $t \lesssim \tau \ll T_I$, то внешнее МП сможет изменить мультиплетность пары: из триплетной сделает ее синглетной и, следовательно, позволит частицам пары вступить в реакцию. В реакции рекомбинации свободных радикалов $\dot{R}_I + \dot{R}_2 \rightarrow {}^I(R_IR_2)$, в которой триплетные продукты реакции стсутствуют, наложение МП приведет, осгласно расомотренному механизму, к увеличению скорооти образования синглетных продуктов реакции ${}^I(R_IR_2)$ примерно вдвое. Различие магнитных моментов радикалов обычно вызывается тем, что g-факторы радикалов $\dot{R}_I$ и $\dot{R}_2$ различны. Поэтому рассмотренный способ смешивания синглетных и триплетных соотояний пары называется Δg-механизмом.

Различие в прецессии магнитных моментов радикалов, обладающих магнитными ядрами, например протонами, может вызываться действием МП, сбусловленных самими ядрами. В этом случае взаимодействие магнитных моментов электрона и ядра (так называемое сверхтонкое взаимодействие) обусловливает синглет–триплетную зволюцию пары и в отсутствие внешнего МП. Наложение внешнего поля при этом оникает вероятность перехода, что также проявляется как изменение выхода продуктов реакции. Соответствующий механизм называется механизмом оверхтонкого взаимодействия (СТВ). Действующее внешнее МП должно быть соизмеримым со сверхтонким расщеплением ($B \gtrsim$ I–IO мТл).

Таким образом, мы переходим к выводу, что реакции в принципе могут быть чувствительными как к внешнему МП, так и к внутренним магнитным полям, лежащим в диапазоне I–I00 мТл. Будет ли скорость каждой конкретной реакции зависеть от МП, каков диапазон полей, оказывающих влияние на ход реакции, и сильно ли изменится выход продуктов, опреде-

ляется многими условиями, главные из которых следующие:

I) в ходе реакции должна образовываться и участвовать в реакции пара парамагнитных частиц;

2) реакция в паре должна идти по крайней мере по двум конкурирующим каналам, приводящим к разным продуктам реакции. Выбор канала должен зависеть от мультиплетности пары парамагнитных частиц;

3) скорости реакций пар по различным каналам должны различаться - это приведет к необратимой поляризации пар;

4) время жизни пар парамагнитных частиц должно быть достаточно большим, чтобы магнитные моменты пары имели возможность "эволюционировать" в МП и изменять мультиплетность пары. Нельзя, например, ожидать, что это условие будет выполнено для пар атомов Н в растворе: из-за большой подвижности атомов Н время жизни пар τ будет меньше времени эволюции t ;

5) время жизни пар должно быть меньше времени спин-решеточной релаксации.

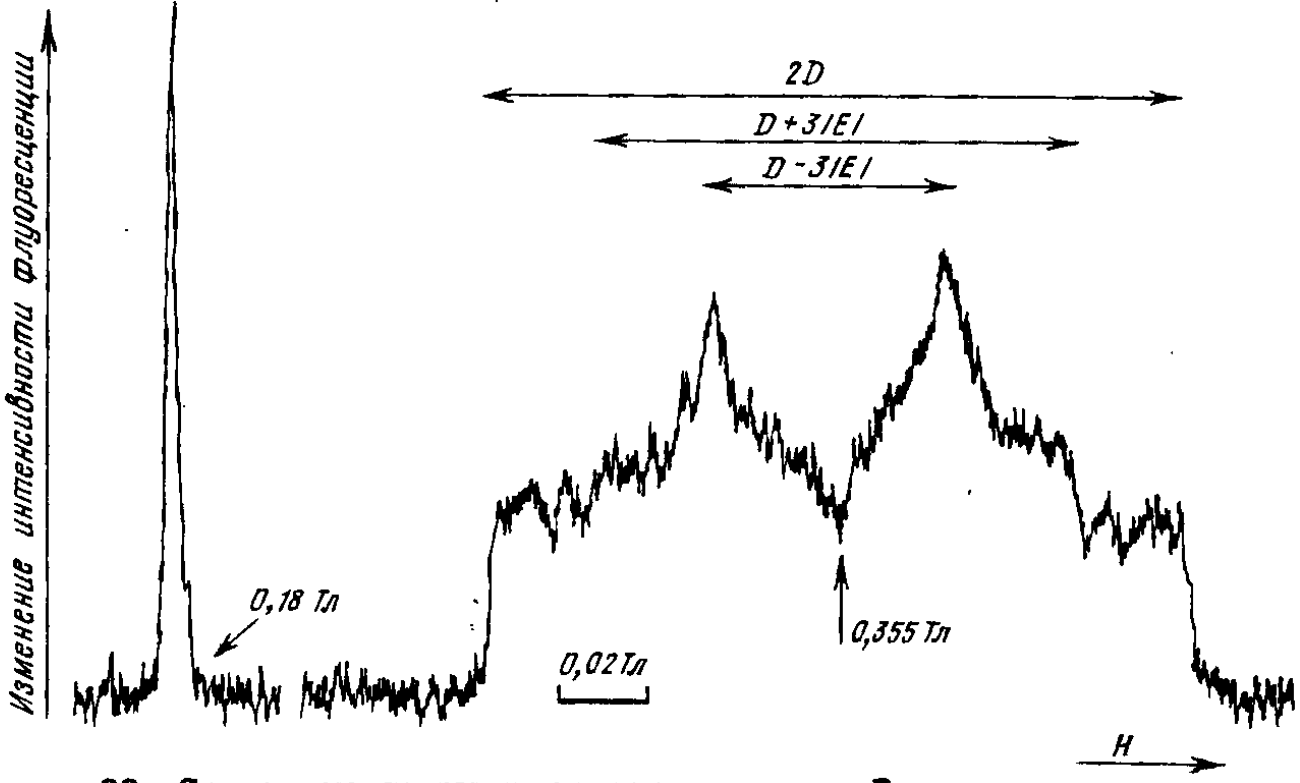
Напряженность (индукция) МП, оказывающего влияние на ход процесса, зависит от конкретных характеристик пары радикалов. Так, при Δg -механизме для пар с временем жизни 10^{-7} с и $\Delta g = 10^{-3}$ магнитный эффект, т.е. изменение скорости реакции на величину порядка десятка процентов, может ожидаться при $B \simeq 0{,}1$ Тл. При СТВ-механизме для таких же пар эффект может быть в полях, соизмеримых с теми, что создают магнитные ядра на электронной оболочке, т.е. в диапазоне I-I0 мТл. Максимальная величина эффекта зависит от той роли, которую играют пары в полной схеме реакции. Обычно относительная величина изменения выхода реакции не превышает 30%. Наибольшая чувствительность наблюдалась в фотохимической реакции в молекулярном кристалле - рубрене, где выход возбужденных состояний, детектируемый по флуоресценции, изменялся в области малых полей на I% на 0,I мТл [6].

Мы рассмотрели примеры реакций с участием свободных радикалов, т.е. частиц со спином 1/2. Но существует обширный класс процессов, в которых пара образуется частицами со спином I или частицами со спином 1/2 и I. Типичным примером является столкновение двух триплетных возбужденных молекул с передачей возбуждения на одну молекулу, возбуждаемую в синглетное состояние:

$$^3M^* + {}^3M \rightarrow {}^1M^* + M_0.$$

В этом случае, как и в радикальной паре, эффективными являются только те столкновения молекул, в которых суммарный магнитный момент частиц равен нулю. Эволюция магнитных моментов под влиянием МП в тех парах, которые не дали синглетного продукта при первом контакте молекул, приводит к зависимости скорости реакции от внешнего МП.

Важные классы магниточувствительных реакций - реакции взаимодействия триплетных возбужденных молекул с молекулярным кислородом и реакции гашения триплетных возбужденных состояний радикалами.



Р и с. 33. Спектр магнитно-резонансного воздействия на пары триплетных возбужденных молекул с временем жизни $6 \cdot 10^{-9}$ с

Спектр зарегистрирован по резонансному изменению скорости реакции аннигиляции триплетных возбужденных молекул с образованием синглетных возбужденных молекул. Реакция $T + T \rightarrow S$ проводилась возбужденным светом в поликристаллическом образце при комнатной температуре [8]

Магнитно-резонансное влияние на скорооти реакций. До оих пор мы рассматривали механизм действия постоянного МП. В рамках той же схемы не представляет труда понять происхождение и магнитно-резонансных эффектов. Действительно, вернемся к рис. 32, где показаны возможные ориентации магнитных моментов во внешнем МП. Можно видеть, что переход триплетной пары в синглетную произойдет, если один из магнитных моментов изменит свою ориентацию на противоположную, что овязано о изменением энергии этого магнитного момента на величину $\Delta E = g \beta_{ал} \cdot H$.

Если подавать на систему магнитных моментов поток электромагнитной энергии с квантами $h\nu = \Delta E$, то можно ожидать, что при их поглощении будет происходить переориентация магнитных моментов. А если эти магнитные моменты находятся в парах, то это эквивалентно превращению триплетных пар в синглетные, и наоборот, синглетных – в триплетные. Но такие превращения, как уже было показано, "переключают" каналы реакции и влияют на выход продуктов. Следовательно, можно ооуществить метод, в котором скорость реакции зависит от резонансного поглощения электромагнитной энергии.

Резонансное поглощение электромагнитной энергии широко используется в химии для регистрации свободных радикалов. На этом принципе основан известный метод электронного парамагнитного резонанса (метод ЭПР). В нашем случае те же переходы, но в радикалах, находящихся в парах, вы-

зывает изменение скорости реакции. Это дало возможность создать новый метод магнитного резонанса, в котором непосредственно измеряется не убыль энергии ЭМП, идущей на поглощение, а тот результат, который вызвало это поглощение – изменение выхода реакции [7, 8]. При этом, естественно, получается спектр поглощения (спектр ЭПР) радикалов, находящихся только в парах, т.е. живущих время, меньшее времени спин-решеточной релаксации – около 10^{-8} с. Чувствительность этого метода столь высока, что удается зарегистрировать спектр от 10^{2}–10^{5} пар, стационарно присутствующих в образце. Отметим, что чувствительность обычного спектрометра ЭПР составляет 10^{10}–10^{12} радикалов в образце. На рис. 33 приведен один из спектров магнитно-резонансного воздействия на выход реакции пар триплетных частиц в молекулярном кристалле. Продуктом реакции здесь были возбужденные молекулы, зарегистрировать которые удалось по их флуоресценции.

Конечно, относительная величина изменения выхода продуктов реакции под действием резонансного ЭМП невелика – в лучшем случае она достигает 1%. Но при использовании "удобных" параметров для измерения выхода, таких, как интенсивность свечения, оптическое поглощение, электропроводность и т.д., получающийся спектр дает такую же информацию о промежуточных радикалах в парах, какая могла бы быть получена методом ЭПР для долгоживущих радикалов.

Влияние МП в диапазоне 1–100 мТл на скорость спиново-селективных процессов, принцип которого был рассмотрен в этом разделе, послужило основой для создания новых методов исследования механизма таких процессов. Для использования магнитных эффектов сравнительно небольшая их величина не является принципиальным препятствием. Вопрос о том, существенно ли подобное влияние для протекания биологических процессов, пока остается открытым. Исследования в этом направлении только начинаются на модельных системах. Это же относится к возможности использования влияния МП на спиновое состояние пары частиц в целях управления какими-либо технологическими процессами.

Рассмотренный механизм не дает оснований ожидать существенного влияния магнитных полей, меньших полей диапазона ($B < 0{,}1$ мТл). Можно, конечно, ожидать усиления влияния в условиях, когда константа скорости, изменившаяся под действием МП, войдет, например, в показатель экспоненты (аналогично выражению для скорости цепных реакций) или в другую функцию, чувствительную к малым изменениям аргумента. Однако экспериментальных примеров такого рода пока нет.

Что же касается влияния МП на живые организмы, то в таких сложных системах при интерпретации наблюдаемых эффектов нельзя, по-видимому, ограничиться привлечением механизма, основанного только на эволюции спинового состояния пар парамагнитных частиц.

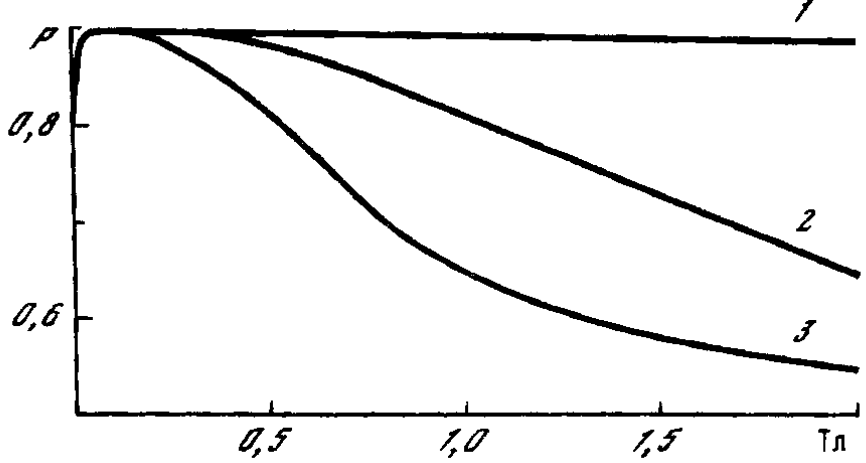
Литература
1. Дорфман Я.Г. Магнетохимия. – Краткая химическая энциклопедия. М., 1963, т. 2, с. 1003.
2. Франкевич Е.Л., Балабанов Е.И. Новый эффект увеличения фотопроводимости органических полупроводников в слабом магнитном поле. – Письма в ЖЭТФ, 1965, т. 1, вып. 6, с. 33–36.
3. Соколик И.А., Франкевич Е.Л. Влияние магнитных полей на фотопроцессы в органичеоких твердых телах (обзор). – УФН, 1973, т. 111, вып. 2, с. 261–288.
4. Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Лешина Т.В., Камха М.А., Шейн С.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на радикальные реакции. – Письма в ЖЭТФ, 1972, т. 16, с. 599–602.
5. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 294 с.
6. Румянцев Б.М., Леонн В.И., Франкевич Е.Л. Влияние магнитного поля на интенсивность флуоресценции рубрена в присутствии примеси. – Химия высоких энергий, 1978, т. 12, № 1, с. 42–47.
7. Франкевич Е.Л., Приотупа А.И., Лесин В.И. Магнитный резонанс промежуточных комплексов, детектируемый по изменению скорости реакции в молекулярных кристаллах. – ДАН СССР, 1977, т. 234, № 5, с. 1140–1144.
8. Франкевич Е.Л. Магнитные поля и скорость реакции. – Вести. АН СССР, 1978, № 2, с. 80–92.

2.2. Молекулярные механизмы влияния магнитного поля на радикальные реакции в растворах

В основе влияния МП на скорости радикальных реакций лежит предпосылка, что МП меняет скорость переходов между реакционным (синглетным) и нереакционным (триплетным) состоянием радикальных пар (РП). Эти переходы (так называемая интеркомбинационная конверсия в РП) согласно существующим предотавлениям могут вызываться как электрон-ядерным сверхтонким взаимодейотвием (СТВ-механизм), так и различием энергии взаимодействия магнитных моментов радикала о внешним МП $\Delta g \beta H^{I}$ (Δg -механизм). Оба этих механизма сводятся к тому, что частоты прецесоии двух электронных спинов будут различаться. Сверхтонкое взаимодейотвие заключается в том, что магнитные ядра, входящие в состав радикалов, создают внутреннее МП, дейотвующее наряду о внешним на электронные спины. Вследствие этого эффективное МП и, следовательно, частоты прецессии различны для электронных опинов в РП. Приведенные качеотвенные рассуждения подтверждаются строгими теоретическими расчетами /1/.

Кривые ($\Delta g = 0$) носят S-образный характер о переходной областью

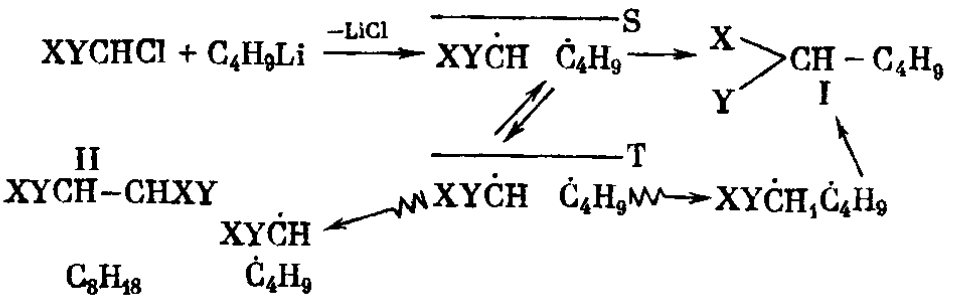
I Δg-различие g-факторов парамагнитных частиц в РП; β – магнетон Бора

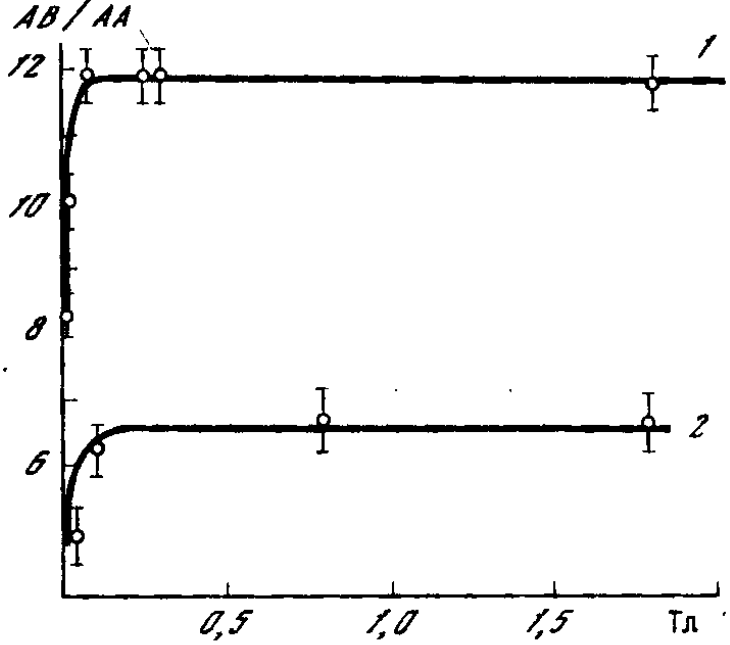


Р и с. 34. Зависимость вероятности рекомбинации Р (для однотипной РП) от величины МП, рассчитанная для S - предшественника при $\tau = 10^{-9}$ с; СТВ = 6 мТл; 1 - $\Delta g = 0$; 2 - $\Delta g = 5 \cdot 10^{-3}$; 3 - $\Delta g = 10^{-2}$

при напряженности внешнего поля равной внутреннему, оздаваемому магнитными ядрами. Для Δg-механизма (при $\Delta g \neq 0$, А = 0) кривые носят монотонный характер (рис. 34). Как следует из рис. 34, знак эффекта зависит от исходной мультиплетности РП. Теория показывает, что характерными параметрами, определяющими величину магнитного эффекта, являются константы СТВ, величины Δg и время жизни РП. Конотанты СТВ в органических радикалах редко превышают несколько единиц миллитесл, типичный интервал значений Δg = 0,0001-0,01. Время жизни РП определяется диффузионной подвижностью радикалов пары и, следовательно, зависит от размера радикалов, вязкости растворителя и температуры реакции. Уменьшение подвижности радикалов должно приводить к увеличению влияния МП на рекомбинацию радикалов. Теоретические оценки показывают, что заметных эффектов можно ожидать в невязких жидкостях ($\tau \sim 10^{-11}$ с) только при высоких значениях МП (единицы тесл) или аномально больших константах СТВ. Однако следует иметь в виду, что в парах, содержащих парамагнитные ионы, Δg достигает большой величины (до нескольких единиц). Такие пары характерны для биохимических окислительно-восстановительных реакций. В этом случае и слабые поля (1-10 мТл) могут оказывать заметное влияние.

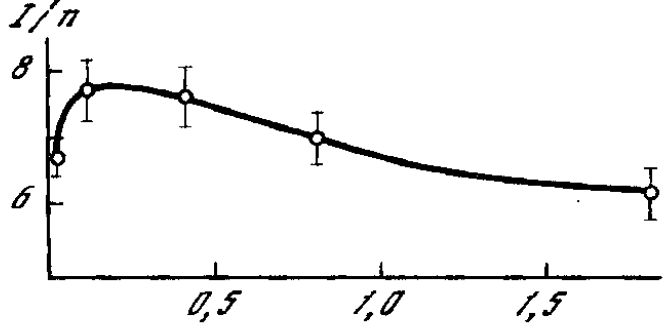
Химические реакции. Иллюстритуем раосмотренные выше механизмы нео - колькими примерами химических реакций. СТВ и Δg-механизмы /2,3/ впервые были обнаружены в одном классе радикальных химических реакций: в реакциях галоидорганических соединений общей формулой (ХУ СНСℓ, где Х = р-F-C_6H_4, У = $C\ell$; Х = C_6F_5; У = Н; Х = У = C_6F_5; Х = C_6H_5; У = Н) с литийорганическими (C_4H_9Li, C_3H_7Li и т.д.). В этом классе реакций первым актом является перенос электрона с литийорганического соединения на галоидорганическое с отщеплением молекулы хлористого лития. При этом образуется радикальная пара соответствующих органических свободных радикалов в синглетном электронном состоянии (см. схему).



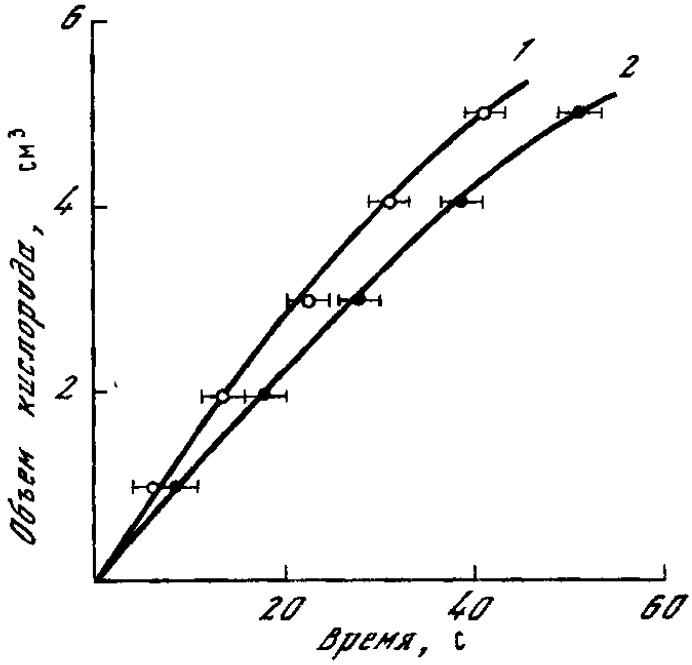


Р и с. 35. Зависимость соотношения основных продуктов реакции пентафторбензилхлорида (I) и парафторбензилхлорида (2) с бутиллитием от МП

Образовавшиеся радикалы частично рекомбинируют в исходном синглетном состоянии с образованием несимметричного продукта (I), частично диффундируют в раствор и под влиянием магнитных взаимодействий в РП могут перейти в триплетное электронное состояние. В последнем случае, согласно спиновому запрету, радикалы не могут рекомбинировать и тоже диффундируют в раствор. В растворе радикалы в результате столкновений с молекулами среды (в данных экспериментах среда - углеводороды) теряют спиновую корреляцию и образуют новые радикальные пары с обычным статистическим распределением I/4 синглетных и 3/4 триплетных РП. В результате рекомбинации радикалов в растворе в соответствии со статистикой столкновений могут образоваться как несимметричный продукт, так и симметричные продукты рекомбинации двух одинаковых радикалов. Таким образом, видно, что при проведении реакции в МП, отличающихся от земного, может изменяться соотношение несимметричного (I) и симметричного (П) продуктов (I/П), поскольку МП меняет скорость S-Т-конверсии и, следовательно, долю реакционноспособного синглетного состояния. Необходимо отметить, что последнее справедливо при условии, что скорость S-Т-конверсии сопоставима со скоростью рекомбинации свободных радикалов. Для рассмотренной реакции это условие выполняется. Действительно, при проведении реакции $C_6F_5CH_2Cl$, $C_6H_5CH_2Cl$ и р F-$C_6H_4CH_2Cl$ с бутиллитием соотношение продуктов I/П увеличивается с ростом напряженности МП (рис. 35). Этот эффект качественно и количественно описывается рассмотренной выше СТВ-моделью влияния МП. В синглетной РП в результате сверхтонкого взаимодействия спинов ядер со спинами электронов в слабых МП происходит смешивание синглетного и всех трех триплетных состояний, а в сильных полях - только S и T_0 состояний. Соответственно вероятность рекомбинации исходной РП с образованием продукта (I) в слабых полях меньше по сравнению с сильными, что и находит отражение в увеличении соотношения I/П с ростом МП. В реакции $(C_6F_5)_2CHCl$ с C_4H_9Li наряду с СТВ проявляется и Δg-механизм влияния МП. Последнее связано с наличием в РП $(C_6F_5)_2\dot{C}H$ $\quad \dot{C}_4H_9$ заметной разницы g-факторов. С рос-



Р и с. 36. Зависимость соотношения основных продуктов реакции декафтордифенилхлорметана с бутиллитием C_4H_9Li от МП

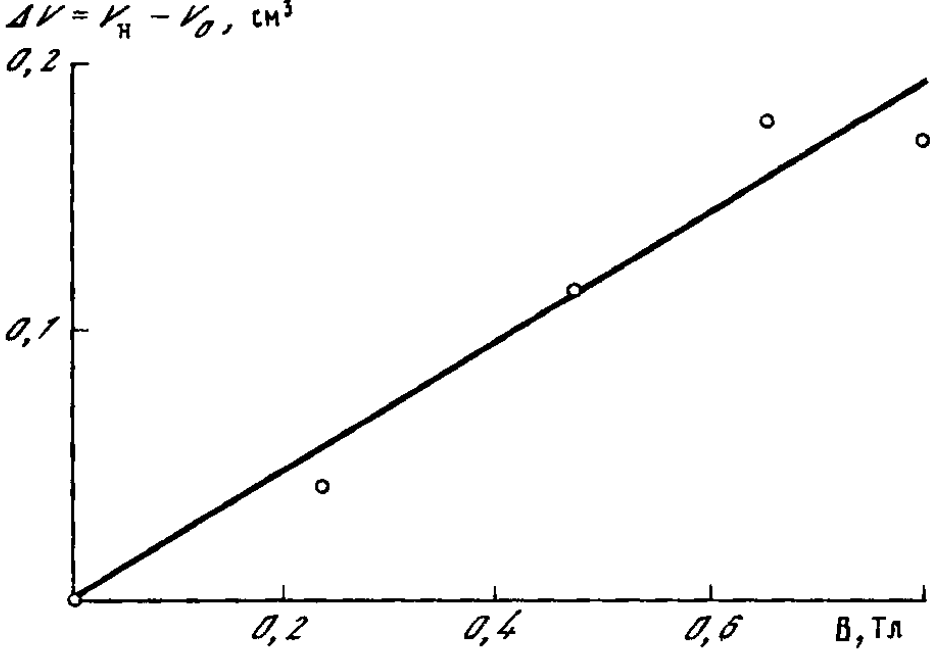


Р и с. 37. Кинетические кривые выделения кислорода в реакции разложения H_2O_2 в присутствии фермента каталазы в МП 0,65 Тл (I) и в ГМП 0,05 мТл (2)

том напряженности МП пропорционально величине $\Delta g \beta H$ возрастает скорость $S-T_0$-конверсии и, соответственно, уменьшается величина I/II (рис. 36).

Как видно из рис. 37, 38, максимальные эффекты МП в исследованных реакциях достигают 40%. Такие значительные величины изменения соотношения продуктов ствечают ситуации сравнительно долгоживущих РП с $\tau \sim 10^{-9}$ с, тогда как обычное время элементарного акта в химических реакциях 10^{-11}–10^{-12} с. Удлинение времени жизни, по-видимому, связано с тем, что в этом классе реакции участвуют не индивидуальные бензильный и бутильный радикалы, а большие частицы, ассоциированные с гексамером бутиллития. Известно [4], что бутиллитий в углеводородных растворителях существует в виде гексамера. Таким образом, в реакциях галоидорганических соединений с литийорганическими реализуются условия, наиболее благоприятные для наблюдения эффекта влияния МП: величины $A \times \tau$ и $\Delta g \beta H \times \tau$ порядка I. Следовательно, для того, чтобы создать благоприятные условия, необходимо иметь в реакции либо большое время жизни РП, либо значительные величины A и Δg. Время жизни можно увеличить либо увеличивая вязкость растворителя, либо уменьшая температуру проведения реакции.

Заметные эффекты МП можно ожидать, например, для реакций с участием оловоорганических, германийорганических или других элементоорганических радикалов [5]. Если параметры СТВ и Δg невелики, большие эффекты можно получить также в случае, если реагирующие частицы удерживаются вблизи друг друга за счет каких-либо специфических взаимодействий (на-



Р и с. 38. Зависимость эффекта МП ($\Delta V = V_н - V_0$) в реакции разложения H_2O_2 каталазой от МП

пример, электростатики). В обзоре [3] собраны сведения об эффектах магнитного поля, зарегистрированных в разных классах фотохимических, радиационнохимических реакций и фотофизических процессов.

Изложенные соображения указывают на то, что заметных по величине эффектов МП можно ожидать в биохимических реакциях, в которых участвуют большие частицы, зачастую обладающие гораздо меньшим числом степеней свободы, чем свободные радикалы в химических реакциях. Особенно перспективными в этом плане представляются ферментативные окислительно-восстановительные реакции, так как многие ферменты содержат в активном центре ионы металлов переменной валентности. Поскольку одним из элементарных актов в таких реакциях в ряде случаев может быть перенос электрона, можно рассчитывать на образование пары парамагнитных частиц, т.е. на наличие "магниточувствительной" стадии в реакции.

Биохимические реакции. В настоящее время уже имеется несколько примеров объяснения эффектов магнитного поля, зарегистрированных в ферментативных окислительно-восстановительных реакциях с позиций рассмотренных выше механизмов.

Так, изучено [6] действие постоянного МП (B = 0,05–850 мТл) на скорость разложения перекиси водорода каталазой и димерным комплексом Fe^{3+} – ЭДТА, обладающим каталазной активностью. Обнаружено, что с ростом напряженности МП ускоряется выделение кислорода в исследуемой реакции (рис. 37). Максимальный эффект составляет 25%. Авторы сделали попытку объяснить эффект влиянием МП на интеркомбинационные переходы в промежуточных РП. Действительно, для того, чтобы из H_2O_2 образовалась молекула кислорода, в этой реакции необходимо передать два электрона какому-нибудь акцептору. Таким акцептором может быть Fe^{3+}, расположенный в активном центре каталазы, а также в комплексе Fe^{3+} (ЭДТА)$_2$. При этом оба электрона могут переноситься одновременно (синхронный механизм), так как имеется 2 атома Fe^{3+} в комплексе и 4 в молекуле фер-

мента, или последовательно (радикальный механизм). В последнем случае образуются 2 пары парамагнитных частиц (РП) согласно схеме

$$2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

$$\left[Fe^{3+}(\text{ЭДТА})\right]_2 + HO_2 \xrightarrow{-H} \overbrace{Fe^{2+}\,O_2^{\cdot-}}^{\text{РП-1}}\;\overbrace{Fe^{3+}}^{\text{РП-2}} \longrightarrow \left[Fe^{2+}(\text{ЭДТА})\right]_2 + O_2 .$$

$$(\text{ЭДТА})_2$$

В обоих случаях в реакции имеется спиновый запрет, т.е. не все электронные конфигурации $Fe^{3+} - O_2^{2-} - Fe^{3+}$ или $Fe^{3+} + O_2^{-}$ являются реакционноспособными [6]. Следовательно, можно предположить, что МП, вызывая интеркомбинационные переходы между различными конфигурациями, изменяет долю реакционноспособного состояния. Изучение зависимости магнитных эффектов от напряженности МП показало, что процессом, связывающим электронные состояния является Δg -механизм (см. рис. 38). Действительно, в РП $Fe^{3+} - O_2^{\cdot-}$ значение Δg достигает 2, что по крайней мере на три порядка больше аналогичных величин в обычных радикальных химических реакциях. Отсюда следует, что эффекты влияния поля в биохимических реакциях с участием парамагнитных ионов типа Fe^{3+} можно наблюдать уже в МП $B \sim 0{,}01$–$0{,}1$ Тл.

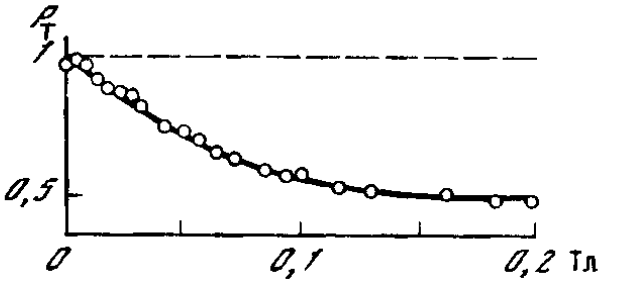
В литературе [7] есть также пример реализации СТВ-механизма влияния МП на одну из стадий бактериального фотосинтеза. Наложение МП $B = 1$ Тл уменьшает на 40% выход триплетно-возбужденных молекул бактериохлорофилла, возникающих по следующей схеме:

$$P\text{-}870 \underset{}{\overset{A,h\nu}{\rightleftharpoons}} \overbrace{P\text{-}870^{+\cdot}\,A^{-\cdot}}^{S} \overset{\text{МП}}{\rightleftharpoons} \overbrace{P\text{-}870^{+\cdot}\,A^{-\cdot}}^{T} \longrightarrow P\text{-}870^{T}A^{\cdot-}$$

где P-870 – пигмент; A – акцептор электрона.

После импульсного облучения фотохимического реакционного центра, содержащего пигмент P-870 [7], измеряется спектр поглощения триплетно-возбужденного P-870, который образуется в результате синглет-триплетной конверсии первичной синглетной пари. Характер полевой зависимости выхода триплетных молекул (рис. 39) соответствует СТВ-механизму влияния МП. Выход триплетов уменьшается с ростом напряженности МП в соответствии с уменьшением числа каналов S–T-конверсии при переходе от слабого поля ($S \leftrightarrow T_0$, T_+, T_-) к сильному (только $S \leftrightarrow T_0$-конверсия).

Суммируя, можно сделать вывод, что в настоящее время имеются надежные экспериментальные доказательства влияния МП на реакции с участием свободных радикалов, а также теории, описывающая это явление. Анализ теории и экспериментальных данных показывает, что заметные эффекты могут быть обнаружены в системах, обладающих одной особенностью – суще-



Р и с. 39. Зависимость от МП выхода триплетных молекул в реакции бактериохлорофилла с акцептором электрона

ственно большими, по сравнению с обычными реакциями, временами жизни τ радикальных пар ($\tau \sim 10^{-10}$–10^{-9} с). Отличаются эти системы только типом специфических взаимодействий (электростатическое взаимодействие заряженных частиц или комплексообразование), приводящих к увеличению τ. В других случаях увеличение времени жизни достигается существенным понижением температуры или увеличением вязкости растворителя.

Можно утверждать, что в системах со сравнительно небольшими константами СТВ и небольшими Δg, как и предсказывает теория, существенных величин эффектов следует ожидать в тех случаях, когда времена жизни радикальных пар значительно увеличены за счет какого-либо типа специфических взаимодействий.

Однако можно попытаться предсказать существование ряда систем, в которых даже при временах жизни РП $\tau \sim 10^{-11}$ с возможны значительные эффекты. Это реакции с участием радикалов, имеющих очень большие константы СТВ, например в реакциях с участием оловосодержащих радикалов, где величины констант СТВ на магнитных изотопах олова составляют величину порядка полутора сотен мТл. Существенное различие g-факторов в РП также может позволить наблюдать эффекты МП в системах с обычными τ. Такая ситуация может реализоваться в ферментативных окислительно-восстановительных реакциях, где встречаются значительные величины Δg, позволяющие ожидать проявления магнитных эффектов уже в очень слабых полях (десятков долей миллитесла). Эффекты можно обнаружить и при сравнительно небольшом Δg, но при высоких значениях магнитного поля.

Экспериментальные исследования и развитие теоретических представлений по влиянию МП на радикальные реакции представляют интерес для развития магнитобиологии (на уровне биохимических реакций). Они стимулируют рассмотрение экспериментов с точки зрения обсуждавшихся в обзоре механизмов, проверку ряда предсказаний, следующих из этих механизмов и постановку новых экспериментов на молекулярном уровне.

Важным аспектом является использование эффектов действия МП для обнаружения радикальных стадий в химических и биохимических реакциях. Этот подход может быть эффективным в тех случаях, когда методы электронного парамагнитного резонанса и химической поляризации ядер по тем или иным причинам неприменимы или не обнаруживают радикальных частиц. Наиболее полезным он может оказаться для реакций с так называемыми скрытыми радикальными стадиями, которые могут иметь место, например, в биохимических процессах.

Литература

I. Сарваров Ф.С., Салихов К.М. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. – В кн.: Теоретическая и экспериментальная химия, т. II. Киев: Наук. думка, 1975, с.

2. Сагдеев Р.З., Лешина Т.В., Камха М.А. и др. Взаимодействие полифторароматических соединений с серой в присутствии пятифтористой сурьмы. – Изв. АН СССР. Сер. хим., 1972, с. 2128-2129.

3. Сагдеев Р.З., Салихов К.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. – Успехи химии, т. 46, № 4, 1977, с. 569-601.

4. Талалаева Т.В., Кочетков К.М. Методы элементоорганической химии. М.: Наука, 1971. 564 с.

5. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, 1978. 296 с.

6. Вайнер Л.М., Подоплелов А.В., Лешина Т.В. и др. Влияние магнитного поля на скорость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{3+}. – Биофизика, т. 23, вып. 2, 1978, с. 234-241.

7. Blankenship R., Schaafsma T., Parson W. BBA, 461, 1977

2.3. Возможная роль электрически неравновесных состояний в механизме биоусиления

За последние годы усилилось внимание исследователей к изучению влияния электрических и магнитных полей на компоненты живых систем. Под действием ЭМП различных частотных диапазонов наблюдалось изменение оптических свойств белков и замедление ферментативной активности живых систем и их компонентов /1,2/, а также снижение электрофоретической подвижности и поверхностного потенциала форменных элементов крови /3/. К аналогичному эффекту приводит обработка клеточной мембраны РНКазой /4/, что, вероятно, обусловливает перестройку структуры нуклеопротеидов, входящих в состав поверхностной мембраны клетки и изменение их контактных свойств под действием различных по природе факторов.

Обнаруженный факт наличия падающих участков на вольтамперных характеристиках биологических мембран и их компонентов наводит на мысль о более значительной роли электрически неустойчивых состояний в работе биолгических систем, чем предполагалось ранее. Можно, в частности, допустить, что экспериментально наблюдаемое многими исследователями /5/ биологическое действие слабых ЭМП, близких по напряженностям к естественным полям, объясняется наличием в биологических объектах специфических структур, обладающих высокой чувствительностью к электрическим и магнитным полям. В связи с тем, что живые системы, согласно принципа Бауэра /6/ находятся в состоянии "устойчивого неравновесия", пред-

ставляется целесообразным исследовать простейшие модели этих систем с электрически неравновесными состояниями.

Целью настоящей работы является исследование электрически неустойчивых соотояний, возникающих в биологически активных веществах и биополимерах под действием ЭМП, а также определение возможного биологического значения этих эффектов.

Известно, что наиболее лабильный компонент биомембран – жирные кислоты, особенностью строения которых является мицеллярная структура с числом молекул в мицелле от 80 до 100. Ненасыщенные жирные кислоты в водных растворах склонны к образованию уфасом – бислойных ламеллярных структур, близких по строению к структурам в эмульсии фосфолипидов /7/.

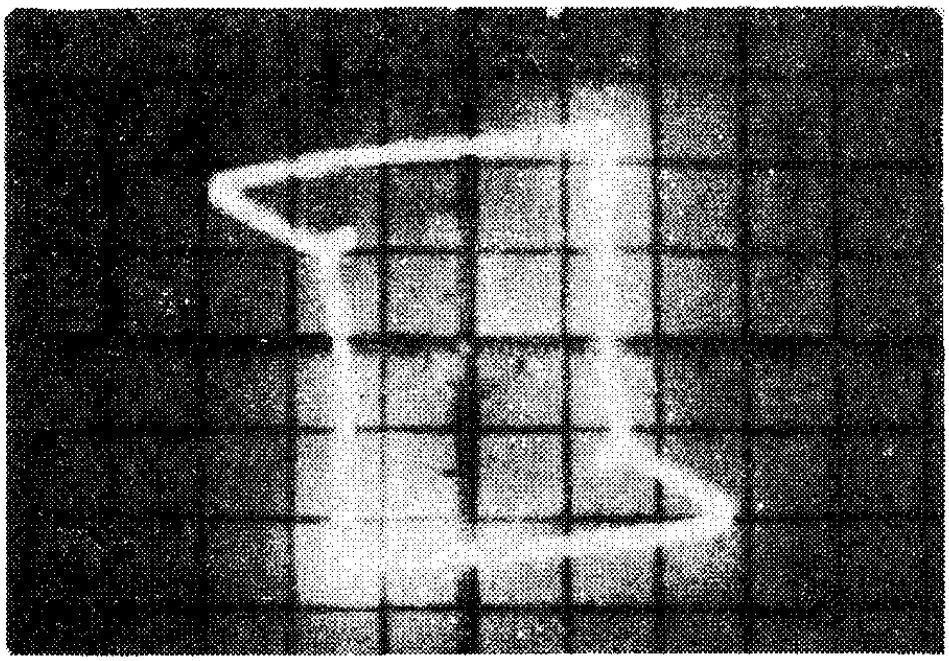
Изучалось влияние ЭМП с частотой менее I МГц на проводимость насыщенных жирных кислот: масляной, валериановой, капроновой, энентовой, каприловой, лауриновой, пальмитиновой. Из ненасыщенных жирных кислот выбрана олеиновая кислота. Исследовались также водные и $NaCl$ растворы различной молярности биополимеров – гемоглобина, желатина, дрожжевой РНК. Электрофизические характеристики пленок толщиной от 0,2 до 30 мкм исследовались в измерительных ячейках типа сандвич с золочеными электродами, зазор между которыми заполнялся исследуемой жидкостью или гелем. Электродами служили изолированные от корпуса наконечники электрометрической установки типа ИКП-3 либо К-6 со стрелочным отсчетным устройством. Толщина межэлектродного зазора в ячейке регулировалась с точностью 0,2–I мкм.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) ячейки снимались как на переменном, так и на постоянном токе и регистрировались осциллографом СI-I9Б или характериографом ТР-4802. Источником синусоидального напряжения служил генератор Г3-33 для исследования в области частот 20–$2 \cdot 10^5$ Гц и ГС-23-в области частот более $2 \cdot 10^5$ Гц. Изменение напряженности ЭМП достигалось либо регулированием толщины пленки, либо изменением напряжения, при этом напряженность варьировалаоь в пределах от I0 до 10^5 В/см. По изменениям тока и напряжения в ячейке определялась объемная удельная проводимость σ жидкости в слабых и сильных ($E > 10^5$ В/ом) полях, а также зависимость ВАХ от толщины пленки. С целью оценки диэлектрической проницаемости и величины поляризации жидкой пленки снимались частотные зависимости поляризации от поля.

В результате экспериментальных исследований обнаружен ряд нелинейных эффектов: отрицательное сопротивление и механоэлектрические эффекты.

Отрицательное сопротивление (ОС).

Изучение динамических ВАХ показало, что во всех исследованиях органических средах и биополимерах наблюдаётся специфические участки, дифференциальное сопротивление которых отрицательно. Наблюдаемые ОС обычно принадлежат к $\int$-типу /8/, реже встречается N-тип, а также смешанные



Р и с. 40. Осциллограмма зависимости поляризации от напряженности поля (гистерезисная петля), полученная для геля гемоглобина

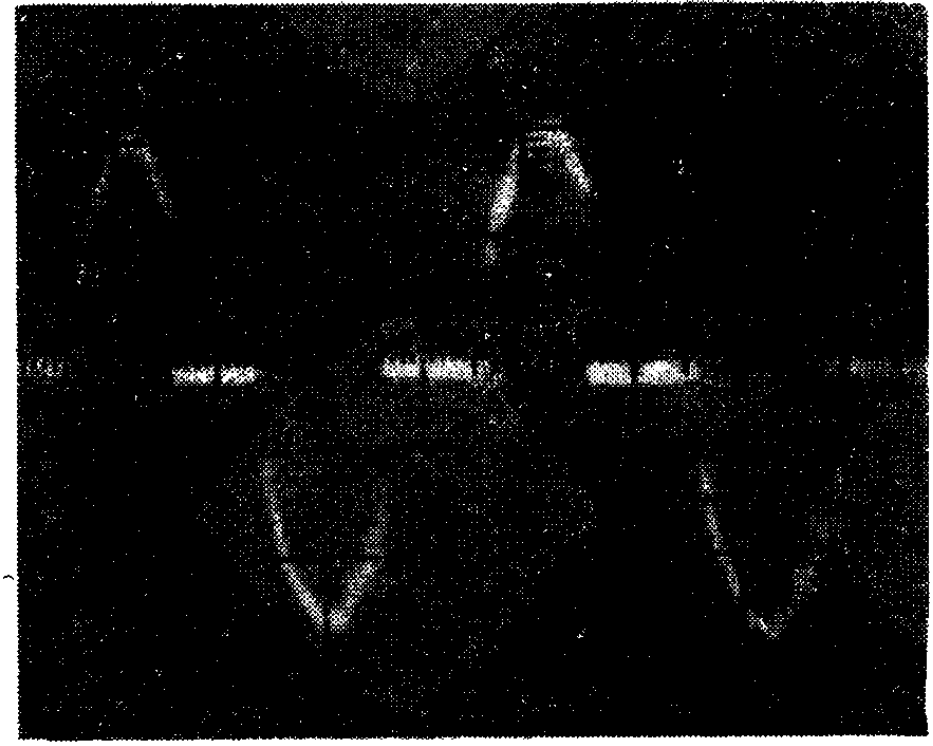
Толщина пленки 6 мкм, частота приложенного поля 1000 Гц

характеристики (РНК 10 г/л в 1 мМ растворе $NaCl$). Наличие характерных нелинейных участков ВАХ и зависимость тока от толщины указывают на ограничение тока пространственным зарядом, локализованным в объеме пленки. Наблюдается также значительная анизотропия электрических свойств. С электрической анизотропией и пространственным зарядом, по-видимому, связана и наблюдаемая нелинейность диэлектрических свойств.

На рис. 40 приведена осциллограмма зависимости поляризации от поля, полученная для пленки геля гемоглобина при частоте наложенного вдоль толщины пленки поля 10^3 Гц. Однако в отличие от обычной петли гистерезиса (наблюдаемой для сегнетоэлектриков и нелинейных диэлектриков и определяющей наличие внутренней спонтанной либо индуцированной поляризации), приведенная на рис. 40 осциллограмма гистерезисной петли имеет отрицательный наклон и, следовательно, дифференциальная диэлектрическая проницаемость ε, определяемая из этой петли, является отрицательной. Плавное увеличение напряжения на пленке до некоторой критической величины приводило, как правило, при небольших толщинах пленки к резкому увеличению на несколько порядков ее проводимости. Под действием ЭП напряженностью $E = 5 \cdot 10^4$ В/см дифференциальная проводимость жирных кислот и гидратированного гемоглобина увеличивалась от $\sigma = 10^{-6}$–10^{-10} Сим/см до $\sigma = 10^{-2}$–10^{-4} Сим/см, для желатина $\sigma = 1{,}7$ Сим/см. Увеличение проводимости после воздействия полем приводило к нелинейному характеру ВАХ уже в полях напряженностью $E = 500$ В/см.

В биополимерах наблюдались низкочастотные колебания тока от 0,5 Гц до 1 кГц, обусловленные существенно неравновесным состоянием систем с ОС (рис. 41). Зависимость проводимости и формы ВАХ от внешних воздействий – электрического поля и механической деформации – устойчиво сохраняется и после отвердевания пленки жидкости.

Уникальным свойством сред с ОС является, как известно, способность



и с. 4I. Низкочастотные колебания поля, при которых система переключается из низкоомного в высокоомное состояние (и обратно) для желатина

В точке максимума по сси ординат плотность тока I,2 мА/см^2

усиливать попадающий на них электромагнитный сигнал. Действительно, коэффициент поглощения любой изотропной средой /9/:

$$\alpha = \frac{\sigma}{|\varepsilon|}\mathcal{F}(\varepsilon, f)$$

где $\mathcal{F}(\varepsilon, f)$ – нелинейная функция, зависимая от диэлектрической постоянной среды и частоты f проходящего через среду сигнала ЭМП.

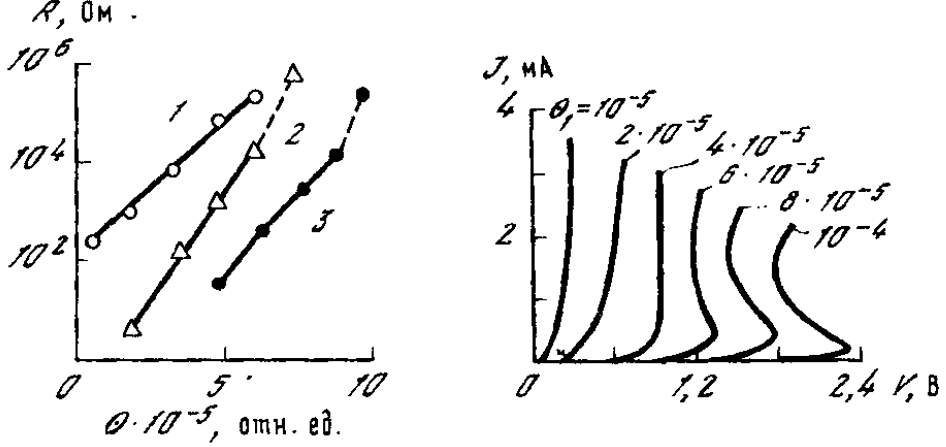
На участке ОС $\sigma < 0$ и, следсвательно, $\alpha < 0$, т.е. имеет место эффект отрицательного поглощения. Это значит, что электромагнитная волна, распространяясь в среде с ОС, не затухает, а нарастает. В наших экспериментах состояние ОС возникало в полях, напряженностью порядка 10^5 В/см (заметим, что напряженности поля в биомембранах, обусловленные электрохимическим градиентом, достигает значений 10^5–10^6 В/см).

Таким образом, отвлекаясь ст конкретных механизмов токопереноса, структуры с ОС вследствие наличия внутренней обратной связи можно считать наиболее простыми генераторами и усилителями электрических сигналов.

Механоэлектрические эффекты.

Эксперименты показали, что высокая чувствительность к механическим воздействиям (деформация, давление), возникающая под действием ЭП в жидкофазном состоянии полимеров, сохраняется при переходе в другие агрегатные состояния – гелеобразное и твердое.

Величина механочувствительности оценивалась по экспериментальной характеристике зависимости электросопротивлений R от нагрузки P. Пленка биополимера наносилась при этом на упругую металлизированную подложку, относительная деформация $\mathcal{D}$ которой определялась из выражения $\mathcal{D} = 3ax\Delta y/\ell^3$, где x – расстояние ст точки приложения нагрузки до середины пленки, a – расстояние от оси подложки до пленки, ℓ – длина подложки, Δy – величина прогиба подложки при нагруэке.



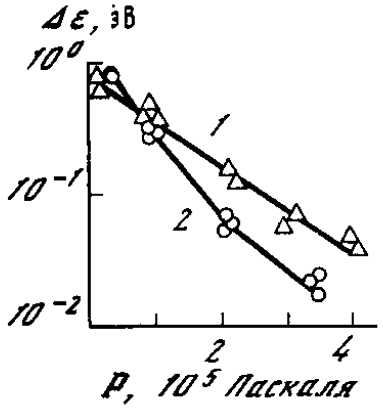
Р и с. 42. Зависимость сопротивления R от деформации растяжения
I – полиэтилен, толщина пленки h = 8 мкм; 2 – майлар, h = 4 мкм; 3 – желатин, h = 4 мкм

Р и с. 43. Вольтамперные характеристики пленки полиэтилена при деформации

На рис. 42 представлены зависимости R (Θ) для различных полимерных структур, предварительно подвергнутых воздействию ЭП. Линейная зависимость в полулогарифмичеокой шкале позволяет описать ее эмпирической формулой $R = R_0 \exp \alpha\Theta$, где α – коэффициент механочувствительноо-ти, R_0 – сопротивление недеформированной структуры. Величина α, определяемая тангенсом угла наклона кривых, достигает значений 10^5–10^9 отн. ед., что на несколько порядков превышает величину пьезорезистивного эффекта в неорганических материалах /10/.

Природа высокой механочувствительности детально изучена на пленках полимеров, обладающих простым линейным строением – полиэтилена и майлара – в различных агрегатных состояниях. Деформация полимерной пленки приводит к значительному изменению электросопротивления, нелинейности ВАХ и появлению ОС (рис. 43), что указывает на изменение при деформации энергетического спектра системы. Наиболее стабилен и полностью обратим этот эффект на твердых полимерах в диапазоне упругих и высокоэластических деформаций. При деформациях растяжения, превышающих некоторую критическую величину, электросопротивление жидких и твердых пленок резко возрастает, т.е. структура переключается в высокоомное состояние (рис. 43). При небольших деформациях сжатия наблюдается значительное изменение энергии активации электропроводности (рис. 44). В гетерогенных молекулярных структурах с барьерным типом проводимости, которыми являются полимеры и биополимеры, наблюдаемое уменьшение энергии активации эквивалентно сужению межмолекулярных барьеров при сжатии, что приводит к увеличению электропроводности. Увеличение интенсивности полос поглощения в инфракрасных спектрах полиэтилена в диапазоне 1630–1650 $см^{-1}$ указывает на увеличение числа полисопряженных групп молекул с двойными углеродными связями и числа ненасыщенных связей, а, следовательно, на ослабление ряда межмолекулярных связей.

Анализ вольтамперных, вольтемкостных характеристик, пониженная величина энергии активации после воздействия полем, а также зависимость ее от деформации указывают на уменьшение количества межмолекулярных потенциальных барьеров за счет укрупнения областей с полисопряженными связями и разрыхление структуры имеющихся потенциальных барьеров в направлении приложения поля. Последнее и сбусловливает высокую механочувствительность и анизотропию электрических свойств. Можно полагать, что ана-



Р и с. 44. Изменение энергии активации пленок при одноосном сжатии Р
I - полиэтилен; 2 - майлар

логичные перестройки структуры имеют место при действии поля на другие органические среды, в частности на биополимеры.

Возникновение состояний с ОС, а также эффекта высокой механочувствительности и сохранение их в различных агрегатных состояниях высокомолекулярных структур представляет интерес как для биологии, так и для физики полимеров и биополимеров. Известно, например, что чистые белки обладают при комнатных температурах значительной энергией активации проводимости, что, согласно /II/, исключает какой-либо тип провсдимости кроме экситонной. Однако нами показано, что энергия активации может являться функцией как деформации, так и ЭП. Отсюда следует, что фундаментальные электрофизические параметры в биополимерах являются более лабильными к действию внешних факторов, чем предполагалось ранее /II/.

Следует отметить, что в живой природе известны чрезвычайно чувствительные к механическим воздействиям системы /I2/. Однакс механизмы эффектов, обеспечивающих столь высокий выходной сигнал, неясны. Между тем, как в полимерных, так и в биологических структурах наблюдаются общие закономерности - наличие непрерывной кривой отклика вплоть до некоторого порогового значения действующего стимула и ответ по типу "да-нет" выше этой пороговой величины /I3/.

Деформация привсдит к непрерывному изменению проводимости структуры, совпадающей при пороговых значениях с участком ОС на вольтамперной характеристике (на рис. 43 восходящая ветвь кривых). При пороговых деформациях наблюдается резкий скачок проводимости и реакция полимерной пленки на нее является дискретной.

Таким образом, результаты исследования выбранных систем, как аналога механсрецепторов, могут представить интерес в решении проблемы бис-механоэлектрическогс преобразования и в создании на базе полимерных пленок чувствительных датчиков деформации.

Аномалии, проявляющиеся после воздействия ЭП распространяются и на диэлектрическую проницаемость биополимеров. Найденное из кулонвольтных характеристик значение ε достигает для различных веществ десятков и сотен единиц. Наблюдается дисперсия для ε и нелинейная зависимость поляризации от напряженности ЭП, что указывает на значительную роль кооперативных эффектов.

Электрическая нелинейность вольтамперных характеристик и участки с ОС наиболее четко проявляются на частотах порядка 10^6 Гц. Именно в этом интервале частот (10^3–10^6 Гц) наблюдается, как известно, резкое снижение чувствительности живой ткани – токами Д'Арсонваля уже не удается достичь порога раздражения нервных клеток.

Особенности импедансных характеристик биомембран свидетельствуют о том, что в указанном интервале частот биомембраны становятся прозрачными для поля /14/. В этом же интервале частот находится максимум спектра скоростей ферментативных реакций /15/. Следовательно, есть основание полагать, что между действием электрического поля и протекающими в биополемерах химическими реакциями существует взаимосвязь, которая может осуществляться вследствие возможности инициирования физическими факторами (электромагнитное поле, давление и др.) химических реакций в биополемерах.

Если допустить, что качественно новые свойства в пленках органических жидкостей возникают в результате стимулирования полем химических превращений, то его роль может заключаться в обеспечении электронных перестроек, необходимых для протекания реакций, и в создании благоприятного пространственного распределения молекул. Такой подход может дать основание для правильной интерпретации экспериментальных результатов. Действительно, скорость химической реакции определяется известным выражением, эквивалентным закону Аррениуса

$$C = p\frac{\kappa T}{h}\exp\left(-\frac{\Delta F}{\kappa T}\right) = p\frac{\kappa T}{h}\exp\left[(-\Delta V - T\Delta S)/\kappa T\right] \quad (1)$$

где C – константа реакции, имеющая размерность, обратную времени; ΔF – свободная энергия; ΔV – энергия активации; ΔS – энтропия реакции; к – постоянная Больцмана; Т – абсолютная температура; h – постоянная Планка.

У обычных реакций в переходном состоянии энтропия, как правило, большая отрицательная величина. Поэтому порядок величины $L = \exp\Delta S/к$ менее 10^{-6}–10^{-8}. Однако у каталитических реакций убыль энтропии значительно меньше и величина L равна примерно 10^{-1}–10^{-2} /15/. Времена реакций каталитического типа на 15–20 порядков меньше времен обычных реакций. Теоретически этот эффект складывается из увеличения предэкспоненциального множителя и уменьшения энергии активации в выражении (1). Первый вклад учитывается введением p-фактора, который для обычных реакций можно считать равным единице, а для реакций каталитического типа p имеет порядок 10^5–10^6. Ускорение в 10^5 раз и выше получается за счет превращения бимолекулярной реакции в реакцию, не зависящую от столк-

новений. Вклад в 5-6 порядков и увеличение предэкспоненциального множителя по сравнению с обычными реакциями вносится также сравнительно небольшим изменением энтропии при каталитических реакциях.

Используя выражение (I), нетрудно показать, что к экспериментально наблюдаемому увеличению электропроводности будут приводить только реакции каталитического типа с малой убылью энтропии. Однако согласие с экспериментом будет наблюдаться только в том случае, если энтропийный член достаточно велик.

На основе представления с переносе электрона от донорской молекулы к акцепторнсй с образованием активированного комплекса можно объяснить возникновение в органических средах сильного пьезорезистивного эффекта. В активирсванном комплексе электрон находится в потенциальной яме, образованной перекрытием Ψ - функций взаимодействующих молекул. Поскольку такая система обладает избыточной свободной энергией, то она должна быть чувствительной к внешним воздействиям.

Анализ результатов эксперимента приводит к заключению, что низкочастотное электромагнитное поле - своеобразный катализатор для протекания в органических средах биохимических реакций с малсй убылью энтропии.

Все обнаруженные эффекты, индуцированные внешним электрическим полем, наблюдаются в различных биологических веществах in vitro. Если учесть, однакс, что в живых системах, например в биомембранах, существуют поля напряженностью порядка 10^5-10^6 В/см, то естественно допустить возможность реализации рассмотренных эффектов в биополимерных конструкциях живсй клетки.

Таким образом, эффект ОС представляет собой электрическое проявление общего биологического принципа устойчивого неравновесия Бауэра, согласно которому живая система функционирует вблизи порога срабатывания. Отсюда следует возможность влияния слабых воздействий (слабых ЭМП) через посредство электрически неустойчивых состояний (состояний ОС) на жизнедеятельность живых систем.

В заключение укажем основные направления, развитию которых, с нашей точки зрения, может способствовать решение исследуемой проблемы биологической роли отрицательных дифференциальных сопротивлений, возникающих под действием ЭМП.

I.При разработке механизмов фрмирования нервного импульса в биомембранах необходимо учитывать наличие участков ОС. Известно, например, что момент зарождения спайка при возбуждении наблюдается в тех случаях, когда потенциал на мембране совпадает с началом участка ОС /I6/.

Стабильность формы импульса при различных способах запуска также свидетельствует о едином механизме его генерации.

2. Поскольку среды с ОС обладают отрицательным коэффициентом поглощения, волна возбуждения или электрические колебания в них будут усиливаться. С этих позиций перехваты Ранвье можно рассматривать скорее как амплитудные "ограничители", не допускающие чрезмерного усиления возбуж-

дения. Согласно теории распространения электрических колебаний в средах с ОС проходящий по нервному волокну импульс должен создавать динамическое опережающее состояние, поддерживающее волну без затухания. Наличие подобного состояния зарегистрировано в экспериментах /I7,I8/, где показано, что впереди нервного импульса обычно следует еще один сигнал, представляющий /I9/ волну электрофизических изменений в теле нейрона.

3. Взаимодействие со слабыми ЭМП может эффективно осуществляться через посредство электрически неустойчивых состояний с ОС, поскольку среды с ОС являются электро- и магниточувствительными системами.

4. Возникновение отрицательных сопротивлений после обработки полимерных пленок низкочастотным ЭМП послужило основой для разработки метода получения полимеров о новыми свойствами, позволяющими использовать их в качестве активных элементов в приборостроении (генераторов, усилителей, ячеек памяти, чувствительных датчиков механичеоких напряжений /20/). Аналогичные методы могут быть использованы также для иосследования механоэлектрических эффектов в горных породах.

Литература

1. Bach S.A. Biological sensivity to radio frequency and miorowave energy. Proc. Ann. Conf. on biologic effects of laser radiation, 1965, vol. 24, No.3, p. 22-26.
2. Чирков М.М. Электромагнитные колебания как фактор, изменяющий отношение организма к действию интероцетивных раздражителей. - В кн.: Некоторые вопросы физиологии и биофизики. Воронеж, I964, с.83-88.
3. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск: Беларусь, I974. I43 с.
4. Маленков А.Г. Ионный гомеостаз и автономное поведение опухоли. М.: Наука, I976. I7I с.
5. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, I975. Т.I, 340с.; Т.2, 207 с.; Т.3, 227 с.
6. Бауер Э. Теоретическая биология. Л.: ВИЭМ, I935. 205 с.
7. Ленинджер А. Биохимия. Молекулярные основы структуры и функций клетки. М.: Мир, I974. 957 с.
8. Юрьев В.Н., Преснов В.А. Отрицательное сопротивление в биополиме - рах. - Биофизика, I977, т.22, вып. 2, с. 228-230.
9. Горяинов С.А., Абезгауз И.Д. Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. М.: Энергия, I972, 3I8 с.
10. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Миронов А.Г. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. М.: Наука, I972. 4I4 с.
11. Богуславский Л.И., Ванников А.В. Органические полупроводники и биополемеры. М.: Наука, I968. I8I с.
12. Викулин И.М., Стафеев В.И. Полупроводниковые датчики. М.: Сов. ра - диодио, I975, I05 с.

I3.Ильинский О.Б. Механорецепторы. Вопросы физиологии сенсорных систем. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I967. 82 с.
I4.Кол К.С. Успехи в разработке электрических моделей клеток и аксонов. В кн.: Вопросы биофизики. М.: Наука, I964, с.87-I02.
I5.Бреслер С.Е. Молекулярная биология. Л.: Наука, I973. 577 с.
I6.Рубин А.Б. Термрдинамика биологических процеосов. М.: Изд-во МГУ, I976. 240 с.
I7.Ходжкин А. Нервный импульо. М.: Мир, I965. I25 с.
I8.Иванов-Муромский К.А. Электромагнитная биология. Киев: Наук. думка, I97I. I55 с.
I9.Левин С.В. Структурные изменения клеточных мембран. Л.: Наука, I976. 224 с.
20.Юрьев В.Н., Преснов В.А. Механоэлектрические эффекты в полимерах.- ДАН СССР, I978, т. 243, №I, с. I56-I58.

2.4. Действие неоднородного электрическогс поля на клеточные оуспензии

Действие неоднородного переменногс ЭП на клеточные суспензии вызывает следующие эффекты: ориентацию асимметричных клеток вдоль или поперек оиловых линий поля, образование из них цепочек, направленное перемещение (диалектрофорез) клеток и их осаждение на алектродах, движение водной среды, вращение клеток и другие локальные эффекты вблизи электродов /I-6/. Большинство из них является результатом взаимодейстаия электричеоких дипольных моментов клеток друг о другом и с внешним полем. В ряде случаев действие неоднородного ЭП приводит к изменению формы клеток /7/, увеличению проницаемооти и обратимому разрыву клеточной мембраны, а также слиянию клеток /8/.

В настоящей работе рассматриваются эффекты алектроорментации и диэлектрофореза клеток. Исследование этих эффектов имеет важное значение с точки зрения анализа электрофизических характеристик клеток /3, 4, 9, I0/ и исследования биофизических механизмов действия ЭП на клетки /II, I2/.

Теоретический анализ электроориентации и диэлектрофореза клеток проводился на основе двух подходов. Один из них состоит в том, что клетку, имеющую неоднородное строение, моделируют в виде однородной частицы, эффективные электрические параметры которой выбирают так, чтобы искажение внешнего поля было таким же, как и в случае реальной клетки /I3, I0/. Другой подход заключается в том, что сначала находят ЭП по всех частях неоднородной модели клетки, затем определяют энергию ЭП в различных частях модели, находят общую энергию клетки в ЭП и, наконец, отрицательный градиент энергии, равный действующей на клетку силе /9/. При таком подходе можно оценить вклад любой клеточной структуры в ре-

зультирующий эффект. Однако с помощью такого подхода разработана теория диэлектрофореза только для сферичеоких частиц, так как в случае эллипсоидальных частиц возникают значительные трудности. Используя эффективные электрические параметры клетки, согласно первому подходу, также можно перейти к электрическим параметрам различных клеточных структур на основе математического аппарата, развитого применительно к диэлектричеоким измерениям [I4].

Для клеток в форме аллипсоидов вращения, ориентированных вдоль силовых линий ЭП, выражение для диэлектрофоретичеокой силы имеет вид [I5]:

$$F = \frac{2}{3}\pi ab^2 Re\left[\frac{\mathcal{F}_1^*(\mathcal{F}_2-\mathcal{F}_1)}{\mathcal{F}_1+n_x(\mathcal{F}_2-\mathcal{F}_1)}\right] grad\, E^2 , \qquad (I)$$

где a и b - продольная и поперечная полуоои аллипсоида; $\mathcal{F}_1$ и $\mathcal{F}_2$ - комплексные диэлектрические факторы среды и частиц [9, I5]; n_x - коэффициент деполяризации аллипсоида [I6, о. 43]; E - напряженность ЭП.

Дейотвующий на клетку в ЭП эффективный вращающий момент ($\bar{M}$) оил можно предотавить в виде суммы двух слагаемых [I7]. Одно из них определяет вклад в момент электроосмотического скольжения жидкости и существенно только на достаточно низких частотах ($f < D/\pi a^2$; где D - коэффициент диффузии ионов ДЭС) и в случае, если при этом дзета-потенциал ζ клетки удовлетворяет неравенству $th(\zeta/4) \gg I$. Второе слагаемое определяет момент оил, действующий на клетку с ДЭС, и имеет вид [I8]:

$$\bar{M} = Re(\gamma_{II} - \gamma_{\perp})\, E^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha , \qquad (2)$$

где α - угол между продольной оою частицы и направлением поля; γ_{II}, $\gamma_{\perp}$ - продольная и поперечная поляризуемость клетки, определяемые выражением:

$$\gamma_{II(\perp)} = \frac{\pi}{3} ab^2 \frac{\mathcal{F}_1^*(\mathcal{F}_2-\mathcal{F}_1)}{\mathcal{F}_1+n_{x(y)}(\mathcal{F}_2-\mathcal{F}_1)} . \qquad (3)$$

В случае бактериальных клеток $th(\zeta/4) \leq 0{,}5$, следовательно, влиянием электрооомотического скольжения жидкооти можно пренебречь. Поэтому расчет ориентирующего момента проводили по формуле, полученной на основе выражений (2) и (3):

$$K = \frac{\bar{M}}{E^2 \sin\alpha\cos\alpha} = \frac{\pi}{3} ab^2 \left[\frac{S_1'' S_3'' + S_2'' S_4''}{\nu\left((S_1'')^2+(S_2'')^2\right)} - \frac{S_1^{\perp} S_3^{\perp} + S_2^{\perp} S_4^{\perp}}{\nu\left((S_1^{\perp})^2+(S_2^{\perp})^2\right)}\right], \qquad (4)$$

где

$$S_1^{II(\perp)} = \varepsilon_1 + n_{x(y)}(\varepsilon_e^{II(\perp)} - \varepsilon_1);\ S_2^{II(\perp)} = \lambda_1 + n_{x(y)}(\lambda_e^{II(\perp)} - \lambda_1);$$

$$S_3^{II(\perp)} = \nu\varepsilon_1(\varepsilon_e^{II(\perp)} - \varepsilon_1) + \lambda_1(\lambda_e^{II(\perp)} - \lambda_1);$$

$$S_4^{II(\perp)} = \varepsilon_1(\lambda_e^{II(\perp)} - \lambda_1) - \lambda_1(\varepsilon_e^{II(\perp)} - \varepsilon_1);$$

$$\nu = (2\pi f \varepsilon_0)^2;$$

ε_1, λ_1 - ДП и удельная проводимость среды; ε_0 - диэлектричеокая проницаемость вакуума; f - частота ЭП.

Эффективную диэлектрическую постоянную (ДП) ε_e и удельную проводимость λ_e клеток задавали частотнозависимыми с учетом основных релакса-

ционных механизмов электрической поляризации клетки: их α - и β -дисперсии [19]:

$$\varepsilon_e^{\prime\prime(1)} = \varepsilon_h + \frac{\varepsilon_s^{\prime\prime(1)} - \varepsilon_m^{\prime\prime(1)}}{1+(f/f_\alpha^{\prime\prime(1)})^2} + \frac{\varepsilon_s^{\prime\prime(1)} - \varepsilon_h}{1+(f/f_\beta)^2}; \quad (5)$$

$$\lambda_e^{\prime\prime(1)} = \lambda_h + \frac{\lambda_s^{\prime\prime(1)} - \lambda_m^{\prime\prime(1)}}{1+(f/f_\alpha^{\prime\prime(1)})^2} + \frac{\lambda_s^{\prime\prime(1)} - \lambda_h}{1+(f/f_\beta)^2}; \quad (6)$$

где ε_s, λ_s, ε_m, λ_m, ε_h, λ_h - низко-, средне- и высокочастотные значения эффективной ДП и проводимости клеток; f_α и f_β характеристические частоты α - и β -дисперсии соответственно.

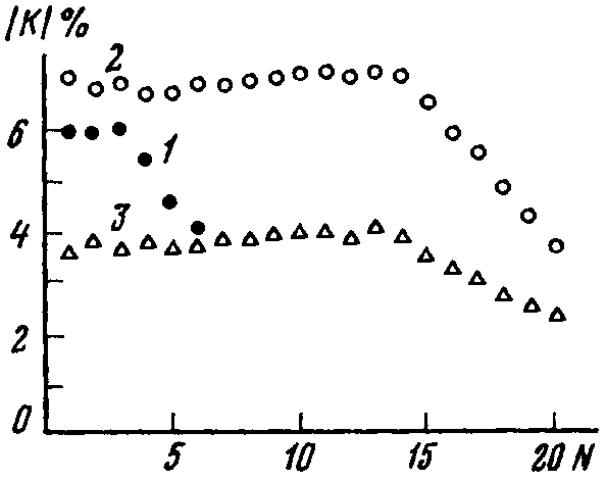
Экспериментальные исследования диэлектрофореза клеток обычно проводились на основе микроскопических методик измерения: 1) по толщине осадка клеток, образовавшегося за определенный промежуток времени на электродах [2, 9]; 2) уравновешивая действующую на отдельную клетку силу тяжести диэлектрофоретической силой [20, 21]; 3) по скорости перемещения клеток в неоднородном ЭП [22].

Под микроскопом, как правило, исследовали и цепеобразование [4], и электроориентацию [23, 24] клеток. Электроориентацию клеток можно также исследовать электрооптическими методами [25-28].

Турбидиметрическая методика регистрации эффектов, возникающих в клеточной суспензии под действием неоднородного ЭП, обеспечивает одновременную регистрацию электроориентации и диэлектрофоретического осаждения клеток [29 - 31]. Эта методика состоит в непрерывной регистрации проходящего через измерительную ячейку светового потока и определении на основе его изменения степени электроориентации и диэлектрофоретического осаждения клеток. По сравнению с исследованием под микроскопом турбидиметрическая методика обеспечивает увеличение точности и информативности измерений, а также возможность их автоматизации.

Изменение оптической плотности суспензии, наблюдающееся при ориентации клеток, обусловлено консервативным дихроизмом [25, 27], поэтому для достижения максимальной чувствительности использовали белый свет [17]. Применение измерительной ячейки с системой решетчатых электродов [32], создающих в объеме суспензии продольное по отношению к направлению светового пучка ЭП, дает возможность использовать неполяризованный свет [27]. Экспериментальная установка [29] представляет собой однолучевой фотометр, обладающий достаточно высокой чувствительностью (0,5% относительного изменения оптической плотности на 1 мВ шкалы регистратора). Обычно использовали двухэлектродную измерительную ячейку с параллельной системой электродов из платиновой проволоки, диаметром $3 \cdot 10^{-4}$ м, при расстоянии между электродами $2{,}4 \cdot 10^{-4}$ м [32]. Методика приготовления клеточных суспензий и интерпретация регистрируемых сигналов подробно рассмотрены в работах [30, 31].

Электрооптические измерения проводятся в средах с малой ионной силой (удельная проводимость $\lambda_1 \leq 10^{-2}$ $Ом^{-1}м^{-1}$). Клетки, имеющие клеточную стенку (дрожжи, бактерии, хлорелла), хорошо переносят такие усло-



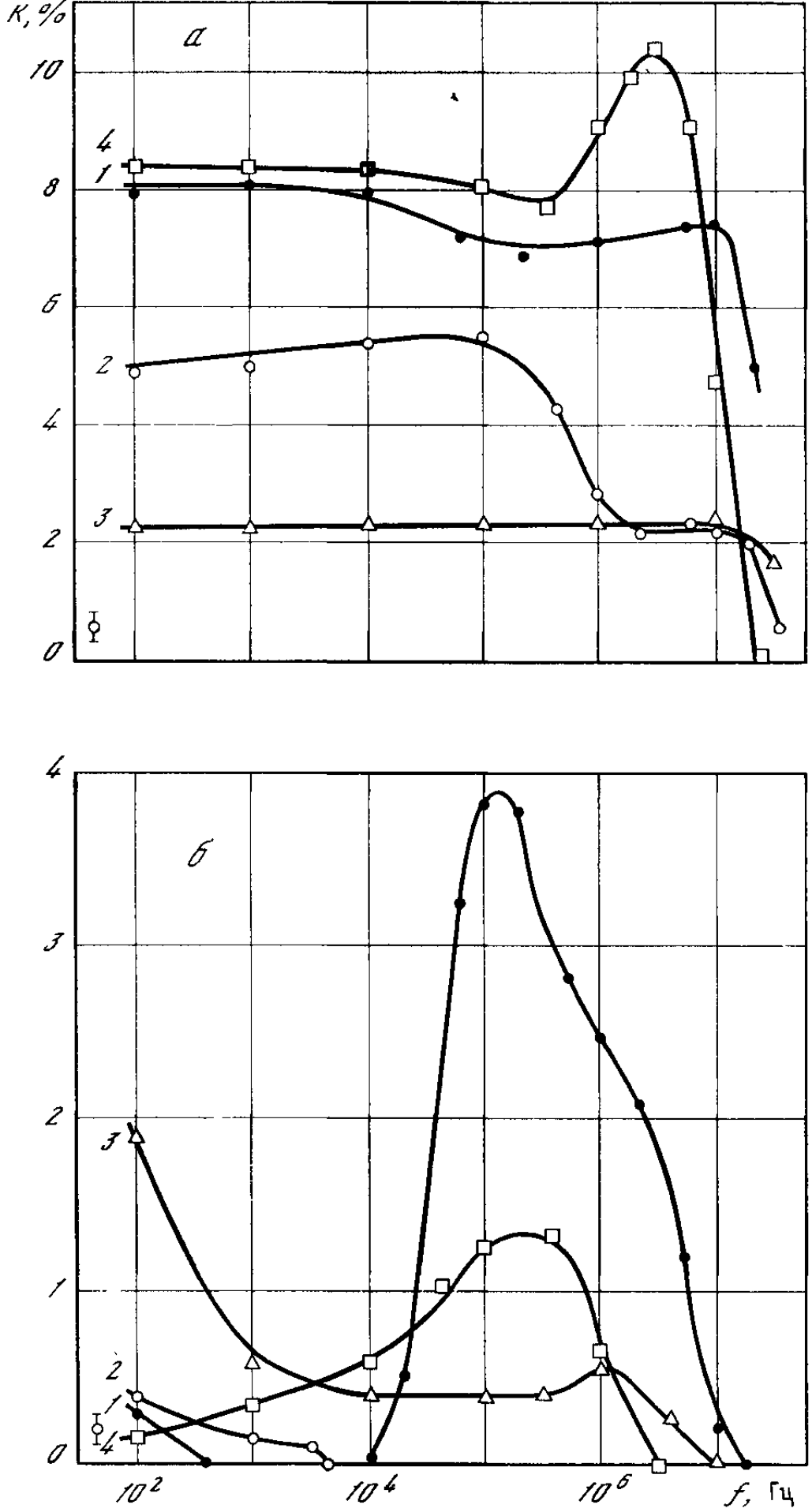
Р и с. 45. Зависимость электроориентации (I,2) и диэлектрофоретического осаждения нативных эритроцитов (3) от числа (N) включений ЭП pH 6,8; σ_I = I,2·I0^{-3} Ом$^{-I}$м$^{-I}$; V (в В): I-8, 2,3-25. I-II мас.% раствор сахарозы, 2,3-II мас.% раствор сахарозы с добавлением 0,0I мас.% бычьего альбумина

вия среды. Только под воздействием ЭП частотой свыше I0^7 Гц при напряжении на электродах порядка 40 В в культуре кишечной палочки отмечается 30%-ная потеря жизнеспособности. В случае клеток, не имеющих жесткой клеточной стенки (эритроциты, тромбоциты и т.д.), необходимо обеспечить изотоничноть среды, что достигается применением изотоничных растворов сахарозы (0,25 М), сорбитола и других электронейтральных веществ. При исследовании клеток крови рекомендуется иопользовать среду, содержащую 90 об.% изотоничеокого раствора глицина (2,I мас.%) и I0 об.% раствора гликозы (5,5 мас.%) /3/.

Однако даже в изотоничной среде прикладываемое к суспензии неоднородное ЭП может оказывать заметное влияние на эритроциты.

На рис. 45 представлены данные, характеризующие воспроизводимость регистрируемой величины обоих эффектов для нативных эритроцитов в изотоническом растворе сахарозы при повторном включении ЭП (время приложения ЭП составляло I мин) без смены образца в измерительной ячейке. (Осуществлялось только перемешивание суспензии с целью ресуспендирования осадка клеток на электродах.) При напряжении на электродах 25 В эффект электроориентации уменьшался уже при втором включении поля, а при напряжении порядка 8-I0 В этот эффект оникался, начиная о четвертого включения ЭП. При добавлении в среду бычьего лиофилизированного альбумина снижение величины эффектов наблюдалось только после четырнадцати включений ЭП при напряжении 25 В. Хорошее стабилизирующее действие на эритроцитарные суопензии оказывает гепарин, который, кроме того, предотвращает агглютинацию эритроцитов. Следует отметить, что добавление альбумина и гепарина к суспензии нативных эритроцитов практически не изменяет характер частотной зависимости их электроориентации и диэлектрофореза. В то время как такие же добавки к суспензии фиксированных эритроцитов могут значительно изменить эту зависимость /30, 3I/.

На рис. 46 представлены частотные зависимости электроориентации (а) и диэлектрофоретического осаждения (б) – электроориентационные (ЭО) и диэлектрофоретические (ДЭФ) спектры – нативных (I) и фиксированных (2) акролеином эритроцитов кролика, хлореллы (3) и поевдомонад (4). Видно, что спектры зависят от вида клеток и изменяются при их фиксации.

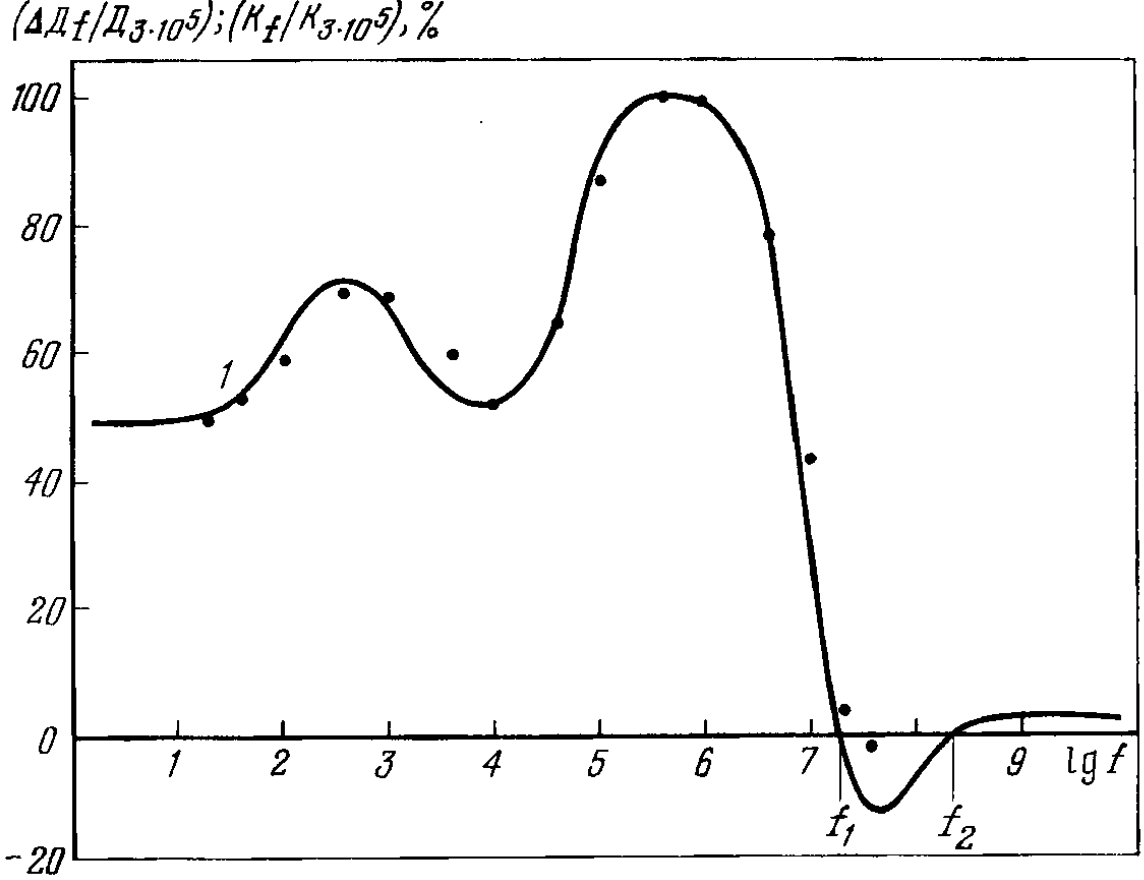


Р и с. 46. Ориентационные (а) и диэлектрофоретические (б) спектры нативных (I) и фиксированных (2) эритроцитов, хлореллы (3) и бактерий (4).

Электропроводность суспензии – $2\ 10^{-3}$ $ом^{-1}м^{-1}$. Эффективное напряжение на электродах ячейки 30 В. К – относительное изменение оптической плотности суспензии (в %), f – частота электрического поля (Гц) в логарифмическом масштабе

Строение клеток разных видов характеризуется наличием у них общих структур: клеточной мембраны, цитоплазмы, клеточной стенки и т.д. Кроме того, в водной фазе вблизи клеточной поверхности образуется ДЭС. Вместе с тем разные виды клеток отличаются по форме и размерам, проницаемости клеточной мембраны, концентрации и подвижности свободных ионов в цитоплазме, по строению и составу клеточной стенки и т.д. В соответствии с общностью строения клеток разных видов, их ЭО и ДЭФ спектры характеризуются общими закономерностями: снижение амплитуды ДЭФ спектра в диапазоне 10^2–10^3 Гц; минимум спектральной кривой на частотах около 10^4 Гц и ее максимум на 10^5–10^6 Гц и снижение амплитуды спектральных кривых на частотах выше 10^6 Гц. Индивидуальные особенности данного вида клеток приводят к различиям в характере ЭО и ДЭФ спектров. Так, ЭО спектры эритроцитов характеризуются наличием ступенчатого уменьшения эффекта на частотах 10^4–10^5 Гц для нативных и 10^5–10^6 Гц для фиксированных клеток. Для хлореллы характерна большая величина эффекта в ДЭФ спектре на низких частотах, чем на высоких, а для нативных эритроцитов и псевдомонад напротив – большая величина эффекта на высоких частотах. Следует отметить, что особенности ЭО спектра в килогерцовом диапазоне частот лучше выявляются при значениях электрического напряжения на электродах измерительной ячейки 15–20 В соответствующих линейному участку зависимости эффекта электроориентации от напряжения /31/.

С целью объяснения обнаруженных экспериментально особенностей ЭО спектров клеток был выполнен теоретический анализ частотной зависимости ориентирующего момента сил для электрофизической модели кишечных палочек. Для этого по формуле (4) с учетом (5) и (6) на ЭВМ была рассчитана частотная зависимость относительной величины момента для модели клетки, параметры которой выбирали, исходя из литературных данных /14/ и соответствия расчетной кривой экспериментальным данным. Как видно из рис. 47, теоретические и экспериментальные данные хорошо соответствуют друг другу. Анализ изменений частотной зависимости ориентирующего момента при вариации параметров электрической модели бактериальной клетки показал, что: 1) увеличение (с ростом частоты) момента на частотах 10–$4 \cdot 10^2$ Гц обусловлено α-дисперсией, а на частотах 10^4–$4 \cdot 10^5$ Гц β-дисперсией электрических параметров клетки; 2) наличие среднечастотного минимума обусловлено тем, что величина момента определяется разностью продольной и поперечной поляризуемости клетки, которые имеют разные характеристические частоты в области α-дисперсии; 3) величина момента и первая частота f_1 переориентации (см. рис. 47) зависят не только от электрических, но и от геометрических параметров модели; вторая частота f_2 переориентации зависит только от электрических параметров; 4) вариация эффективной проводимости и ДП клетки на частотах выше $4 \cdot 10^5$ Гц по-разному влияют на ход частотной зависимости момента: вариация проводимости вызывает одвиг высокочастотного опада



Р и с. 47. Расчетная кривая зависимости ориентирующего момента сил (в процентах к максимальному значению эффекта на частоте $3 \cdot 10^5$ Гц) от логарифма частоты ЭП; • – экспериментальные точки

момента и частот переориентации, а вариация ДП – значительное изменение величины момента на частотах выше характеристической частоты спада и небольшой сдвиг частот переориентации; 5) с увеличением проводимости (от 10^{-6} до $2 \cdot 10^{-3}$ $Ом^{-1}м^{-1}$) внешней среды при постоянстве проводимости клетки высокочастотный спад момента и частоты переориентации практически не изменяются, в то время как при увеличении проводимоти клетки имеет место их значительный сдвиг в область более высоких частот.

Одновременная регистрация электроориентации и диалектрофореза клеток с помощью турбидиметрической методики измерения позволяет более определенно трактовать особенность обоих спектров. Действительно, из рассмотрения формул (I), (2) и (3) видно, что величина эффекта в ЭО спектре определяется соотношением продольной и поперечной поляризуемостей асимметричных клеток, а в ДЭФ спектре – только величиной продольной поляризуемости. Расчет частотной зависимости диэлектрофоретической силы по формуле (I) дает расчетную кривую, которая качественно соответствует ДЭФ спектру только в области мегагерповых частот: наличие максимума и высокочастотного спада эффекта. В области герцовых и килогерцовых частот теоретические и экспериментальные данные расходятся: ДЭФ спектр с понижением частоты обычно растет, а расчетная кривая понижается. Возможно, что это расхождение связано с тем, что процесс диэлектрофоретического осаждения клеток зависит не только от величины диалектрофоретической, но и от влияния на него других эффектов, наблюдающихся в сус-

Таблица 8. Первая частота f_1 переориентации и ее изменение Δf для клеток *E. coli* MRE = 600 в средах с удельной проводимостью $6{,}4 \cdot 10^{-4}$ $Ом^{-1}м^{-1}$ ($f_{1,1}$) и $2{,}3 \cdot 10^{-3}$ $Ом^{-1}м^{-1}$ ($f_{1,2}$) при pH 6,5

Клетки	$f_{1,1}$, Гц	$f_{1,2}$, Гц	Δf, Гц	$(\Delta f / f_{1,1})100\%$
Интактные	$1{,}85 \cdot 10^7$	$1{,}95 \cdot 10^7$	10^6	5,4
Автоклавированные (100°, 10 мин)	$3{,}2 \cdot 10^6$	$5{,}4 \cdot 10^6$	$2{,}2 \cdot 10^6$	68,7
Фикоированные акролеином (1:100, 20 мин)	$2{,}9 \cdot 10^6$	$5{,}6 \cdot 10^6$	$2{,}7 \cdot 10^6$	93
Обработанные толуолом (1:100, 20 мин)	$5{,}2 \cdot 10^6$	$7{,}5 \cdot 10^6$	$2{,}3 \cdot 10^6$	44,3
Обработанные хлороформом (1:100, 20 мин)	$4{,}9 \cdot 10^6$	$7{,}5 \cdot 10^6$	$2{,}6 \cdot 10^6$	53

пензии под действием неоднородного ЭП: цепеобразование, циркуляция жидкости, поляризация электродов и т.д.

Дальнейшие исследования электроориентации и диэлектрофореза бактериальных клеток показали, что их спектры зависят от фазы роста культуры: с увеличением ее возраста величина обоих эффектов значительно уменьшается [33]. Установлено также, что изменение спектров кишечных палочек при их обработке антибиотиком зависит от знака электрического заряда антибиотика [34].

Кроме того, показано, что у ЭО спектра клеток с нарушенной барьерной функцией мембраны (при фикоации клеток и их обработке органическими растворителями) наблюдается значительный сдвиг высокочастотного спада и частот переориентации в более высокочастотную область при увеличении проводимости и pH исследуемой суспензии [10, 31]. В то же время в случае нативных клеток при аналогичном изменении параметров суспензии сдвиг высокочастотного спада ЭО спектра и первой частоты переориентации f_1 не превышает нескольких процентов (табл. 8).

Исходя из этого можно заключить, что зависимость высокочастотного спада ЭО спектра от физико-химических параметров среды можно использовать в качестве показателя нарушения барьерной функции клеточной мембраны.

Таким образом, действие неоднородного ЭП на клеточные суспензии проявляется в ориентации клеток вдоль или поперек силовых линий ЭП, образовании из них цепочек, перемещении клеток вдоль силовых линий ЭП (диэлектрофорез), их вращении, осаждении на электродах, а в ряде случаев в изменении формы и слиянии клеток.

Исследование электроориентационного и диалектрофоретического спектров клеток разных видов свидетельствует о том, что они имеют характерные отличия. Спектры клеток данного вида зависят от электрических и морфологических характеристик клеток, фазы их развития и изменяются при их обработке биологически активными веществами.

Литература

I. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с.

2. Pohl H.A., Crane J.S. Dielectrophoresis of cells. - Biophys.J., 1971, vol. 11, p. 711-727.

3. Pohl H.A. Dielectrophoresis: applications to the characterization and sepsration of cells. - In: Methods of cell separation. N.Y.: Plenum press, 1977, vol. 1, p. 67-169.

4. Schmidt K.P., Glaser R., Pescheck C., Krause G. Die kettenbildungskinetik als messparameter für die dielektrophorese von zellen. - Stud. biophys., 1979, vol. 75, p. 81-91.

5. Mischel M., Lamprecht I. Dielectrophoretic rotation in budding yeast cells. - Ztschr Naturforsch., 1980, vol.c35, p. 1111-1113.

6. Zimmerman U., Vienken J., Pilwat G. Rotation of cells in an alternating electric field: the accurence of a resonance frequency. - Ibid., 1981, vol. c36, p. 173-177.

7. Friend A.W., Finck E.D., Schwan H.P. Low frequency electric field induced changes in the shape and motility of amoebas. - Science, 1975, vol. 187, p. 357-359.

8. Zimmermann U., Schewrich P., Pilwat G., Bens R. Zellen mit manipulierten funktionen: neuen perspektiven für zellbiologie. - Angew. Chem., 1981, Bd. 93, S. 332-351.

9. Crane J.S., Pohl H.A. Theoretical models of cellular dielectrophoresis. - J.Theor.Biol., 1972, vol. 37, p. 15-41.

I0. Фомченков В.М., Денесюк А.И. Теоретическая модель высокочастотной релаксации электроориентации бактериальных клеток. - Электрон. обраб. материалов, 1980, № 2, с. 65-70.

II. Schwan H.P., Sher L.D. Alternating current field induced forces and their biological implications. - J.Electrochem. Soc., 1969, vol. 116, p. 170-174.

I2. Шван Х.П., Фостер К.Р. Воздействие высокочастотных полей на биологические системы. Электрические свойства и биологические механизмы. - ТИИЭР, 1980, т. 68, № I, с. I2I-I32.

I3. Sher L.D. Dielectrophoresis in lossy dielectric media. - Nature, 1968, vol. 220, p. 695-696.

14. Asami K., Hanai T., Kozumi N. Dielectric analysis of E.coli suspensions in the light of the theory of interfacial polarization.- Biophys.J., 1980, vol. 31, p. 215-228.

15. Pohl H.A., Pollock K., Crane J.S. Dielectrophoretic force: a comparison of theory and experiment. - J.Biol.Phys., 1978, vol. 6, p. 133-160.

I6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Физматгиз, 1959. 257 с.

контролируемым образом ожидаемый эффект медикаментозного лечения. От - сюда следует, что в прогнозах действия лекарственных препаратов и в обосновании их применения следует учитывать возможные эффекты внешних воздействий на гемодинамику, метаболизм, нейро-эндокринно-вегетативную регуляцию с учетом данных биоритмологии - суточных, недельных, ме - сячных, сезонных ритмов, (см., например, /I5/, а также т.2, глава I, раэдел 5). Целесообраэно всесторонне проанализировать по данным физио- терапии, климатотерапии и курортологии /I6/ эффекты действия факторов внешней среды на организм. Известна, в частности, биологическая актив- ность высокогорного климата - низкое барометрическое давление, пони - женное парциальное давление кислорода, повышенная ультрафиолетовая и инфракрасная радиация, сравнительно высокая ионизация воздуха - все это стимулирует защитно-приспособительные реакции организма, способст- вуя повышению его устойчивости к неблагоприятным внешним воздейст - виям /I7/.

Следует уделить больше внимания динамике восстановительных процес- сов в зависимости от сезона года и времени суток. Показано, например, /I8/, что зимой под влиянием ультразвука уровень глюкозы в крови крыс заметно повышался, а весной и летом чаще понижался. Омагниченные сно- творные, как показано М.М.Десницкой, эффективнее действуют на сон жи- вотных зимой, чем летом. Фармакологический эффект от введения омагни- ченным животным барбамила зависит от времени суток омагничивания - наи- больший эффект, включая гибель животных от введения снотворного, наб- людался между I2 и I4 часами, т.е. в период наивысшего уровня показа - телей сердечно-сосудистой системы.

В настоящее время широко используются комплексные методы лечения физическими воздействиями в сочетании с лекарственными препаратами (физико-медикаментозная терапия) - введение лекарств через кожу под действием электрического тока (электрофорез, фонофорез), ингаляционные методики (аэрозольтерапия). Следует, однако, заметить, что под дейст- вием электрофореза /I9/, ультразвука /I8,20/, МП /2I/, электроаэрозоль- терапии /22/ наблюдаются изменения проницаемости мембран, активности лекарств и их свойств.

Фармакологический эффект при электрофорезе достигается в сотни и тысячи раз меньшими дозами препарата, чем при пероральном их использо- вании. Так, при введении крысам с саркомой-45 противоопухолевых препа- ратов методом электрофореза отмечается такая же противоопухолевая ак - тивность, как и при внутрибрюшинном введении предельно допустимых доз этих веществ /23/. Многие лекарственные препараты изменяют свою стру- ктуру, теряя характерное фармакологическое действие. Так, например, адреналин и норадреналин, предварительно подвергнутые действию МП (0,I; 0,I3; 0,4 Тл), вызывали несвойственную им реакцию угнетения, вплоть до полной остановки изолированного сердца лягушки /24/.

Исследования устойчивости к действию физико-химических факторов

высокочувствительных сложных, особенно белковых, соединений показали, в частности, что спектры поглощения и люминисценции раствора панкреатина после действия током не совпадают с оптическими свойствами исходного раствора [25].

Растворы панкреатина под действием постоянного тока (0,05-2 мА) теряют фармакологическую активность, т.е. становятся непригодными для лечебного электрофореза. Вместе с тем воздействие током, например на трипоин и полярные аминокислоты, не приводит к изменению спектров люминисценции и поглощения [26].

Не менее сложно и разнообразно, чем в лекарственном электрофорезе, действие ультразвука на структуру и свойства лекарств, при этом не исключена возможность разрушения белков в ультразвуковом поле [27]. Под влиянием ультразвука бактерицидное действие, например грамицидина, усиливается, полимиксин почти полностью теряет свою антимикробную активность [28]. В то же время кофеин, применяемый часто для стимуляции сердечной деятельности, под влиянием ультразвука, наоборот, может вызвать мгновенную и необратимую остановку сердца [29]. При использовании ультразвука мощностью около 2 Вт/см^2 наблюдается разрушение новокаина, увеличивается антимикробное действие бициллина и пенициллина, олеандомицина и террамицина [30]. Из приведенных примеров следует, что под действием физических факторов может происходить как разрушение, так и повышение активности лекарств, причем, используя физикофармакологические методы воздействия, возможно получить значительную фармакологическую активность при весьма малой дозе лекарственных средств [31].

Изложенные выше результаты относятся также и к комплексному воздействию на организм природной среды - электрических и магнитных полей, температуры, аэрозольного и ионного ссстава воздуха, действие которых совмещается с лекарственной терапией и приводит в ряде случаев к эффектам, отличным ст ожидаемых. В связи с этим следует подчеркнуть необходимость учета непрерывного воздействия на биообъекты ЭМП атмосферы Земли. Пренебрежение этим фактором может привести к неблагоприятным эффектам действия лекарственных препаратов, а также оказаться одной из причин разброса данных в медико-биологических исследованиях.

Магнитсфармакологический эффект [8,9] зависит от условий экоперимента и может иметь разнонаправленное действие. Омагниченный раствор папаверина понижал устойчивость крыс к гипоксии, в то время как введение неомагниченного препарата омагниченным животным вызывал обратный эффект - повышение антигипоксического действия. Омагниченный раствор иодида натрия ослаблял отек легких у мышей, увеличивал выносливость животных по сравнению с контролем. Иньекции омагниченного раствора гистамина (0,4 мг/кг) при сенсибилизации крсликов увеличивали их смертность от анафилактического шока [32].

Эффект действия снотворных, как и аналептиков, зависит от числа актов омагничивания препаратов. Например, при многократном введении

мышам повторно омагниченного раствора барбамила (ежедневно в течение 21 суток) эффект проявляется циклически. Омагниченные препараты снотворных при повторном облучении оказывали больший эффект в первые три дня, а также на 12-14-й и 19-20-й дни. Аналогичный эффект действия отмечен и у омагниченных животных, получавших неомагниченные снотворные.

Необходимо отметить отсутствие линейной зависимости действия омагниченного препарата от индикации МП, причем в ряде случаев использование значительно меньших напряженностей полей приводит к более благоприятному эффекту. Так, раствор барбамила, обработанный МП 0,1 мТл, вызывает увеличение продолжительности сна, в то время как при обработке его МП 0,42 Тл продолжительность сна у подопытных животных при прочих равных условиях меньше, чем у контрольных.

Хроматографический анализ омагниченных растворов, содержащих лекарственный препарат, и отдельно каждого из компонентов: растворитель (вода, физиологический раствор), сухой препарат (барбамил, бромид натрия, ксефин, коразол, гистамин, адреналин и др.) показали, что наиболее существенные изменения наблюдаются для растворов. Отсюда следует, что в механизме дейотвия МП на лекарственные препараты, по-видимому, существенным является взаимодействие активных групп лекарственного вещества и растворителя /33,34/.

Изучение хроматографической подвижности 12 растворов препаратов различных фармакологических групп показало, что под действием МП полярность веществ в используемой системе растворителей изменяется. Отмечено различие хроматографической активности омагниченных и неомагниченных препаратов. При многократном воздействии МП на раствор лекарственных препаратов существенные изменения хроматографической подвижности наблюдались после одного, двух- и трехдневного омагничивания. Дальнейшее омагничивание в течение 7 дней не приводило к заметным изменениям хроматограммы.

В свете полученных данных можно предполагать, что одним из механизмов магнитофармакологического эффекта может быть первичное изменение под действием МП свойств водных сред организма и лекарственных растворов. Затем возникает вторичный процесс взаимодействия лекарственного вещества с жидкой средой организма, что приводит к изменению свойств лекарственных препаратов, влияющих на фармакокинетику и фармакодинамику. Как следствие этого процесса изменяется реакция организма на действие внешних сигналов, что может быть одной из причин магнитофармакологического эффекта.

Приведенные выше, далеко неполные, данные свидетельствуют о том, что успех медикаментозного лечения зависит не только от точности диагноза заболевания, качества и количества применяемых лекарственных средств, но и от действующих на организм внешних физических факторов. Факторы внешней среды, в том числе и ЭМП, оказывают влияние на больной организм, что необходимо учитывать при медикаментозном лечении. Резкие изменения метеорологических и гелиогеофизических условий, а также перемещение биологических объектов в разные климатические зоны требуют четкой работы систем

адаптации. Больной организм не всегда обладает этой способностью. В связи с этим при использовании лекарственных препаратов и физических методов воздействия для профилактики и восстановления здоровья следует учитывать факторы внешней среды, параметры которой изменяются в широких пределах.

Таким образом, проблемы комплексного исследования биологичеокого действия веществ, поступающих внутрь организма с воздухом, пищей, с лекарственными препаратами, в зависимости от состояния организма и факторов внешней среды становятся весьма актуальными. Поскольку, как показано выше, внешние физические факторы как естественной, так и искусственной природы могут менять фармакологическую активность лекарств, необходимо пересмотреть и уточнить используемые дозировки как в лекарственной, так и в физиотерапии, особенно в их сочетаниях. При разработке методов физикофармакологического лечения необходимо принимать во внимание не только) факторы внешней среды, но и законы биоритмологии, а также избирательную чувствительность организма к различным частотным диапазонам электромагнитных сигналов.

Литература

I. Сперанский А.П. К изучению влияния типа погоды на больных с нарушениями нервноприспособительных механизмов. – В кн.: Вопросы клинической физиотерапии и курортологии. М.: ЦИУ, I964, т. 22, с. I03–I09.
2. Воронин Н.М. Основы медицинской и биологической климатологии. М.: Медицина, I98I, 35Ic.
3. Чубинский С.М. Синоптический фронт и его значение в патологических состояниях организма. – Вопр. курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, I962, № 5, с. 429–433.
4. Кондратюк И.К., Матвейков Г.П., Боборыкин А.М. и др. Влияние гелиогеофизических и геомагнитных факторов на заболеваемость инфарктом миокарда. – Докл.АН БССР, I973, № 9, с.853 – 856.
5. Козырь Л.Г. Влияние метеорологических и гелиофизических факторов на возникновение и течение инфаркта миокарда: Автореф. дис...канд. мед. наук, М.: Центр. ин -т курортологии и физиотерапии МЗ СССР, I974,23с.
6. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха.М.:Наука, I975, т.I,339с.;т2,207с.
7. Юрьев В.Н., Красногорская Н.В. Флюктуационные электромагнитные поля в процессе роста и бластомогенеза. – Бюл. эксперим. биологии и медицины. М.: Медицина, I980, с. 602–604.
8. Десницкая М.М. Магнитофармакологические эффекты. – В кн.: Применение магнитных полей в клинической медицине и эксперименте. Куйбышев: КГУ, I979, с. 79–82.
9. Чеснокова Л.Н. Фармакологические эффекты холинотропных веществ в условиях воздействия магнитным полем. – В кн.: Фармакология нейротропных средств. Саратов: СГУ, I980, вып. I, т. II8, с. 87–90.
I0. Ярославцев В.Л. Адаптация и проблемы общей патологии. Новосибирск; НГМИ, I974, т. 3, с. I49–I5I.

II. Гавриков Н.А. Курортная терапия и профилактика гипертонической болезни. М.: Медицина, 1978. 174 с.
12. Бокша В.Г., Богуцкий Б.В. Медицинская климатология и климатотерапия. Киев: Здоровья, 1980. 261 с.
13. Казначеев В.П., Дзизинский А.А. О механизмах биологического действия дальнеофакторов. – В кн.: Матер. Второй Всесоюз. конф. по эксперим. курортологии и физиотерапии. М.: Центр. НИИ курортологии и физиотерапии, 1970, с. 94–99.
14. Сперанский А.П., Артемкин В.Д., Святенко Е.С. и др. Электронномикроскопические и иммунологические исследования в изучении действия МП в эксперименте на белых крысах. – В кн.: Физикоматематические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т. 2, с. 82–89.
15. Заславская Р.М. Сутсчные ритмы больных с сердечнососудистой патологией. М.: Медицина, 1979. 164 с.
16. Боголюбов В.М. Проблемы индивидуального лечения больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями физическими факторами. – В кн.: Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, 1979, № 3, с.1–5.
17. Сиротинин Н.Н. Высокогорье и больной организм. Фрунзе :Киргизский Гос. ун-т, 1969, с. 3–12.
18. Чиркин А.А., Богданович Л.И., Улащак В.С. Ультразвук и реактивность организма. Минск: Наука и техника, 1977. 190 с.
19. Парфенов А.П. Электрофорез лекарственных веществ. Л.: Медицина, Ленингр. отд-ние, 1973, 175 с.
20. Сперанский А.П. Биофизические и клинические основы лечебного применения ультразвука. М.: ЦИУ, 1976, 25 с.
21. Фефер А.С. Матричные магнитоносители (магнитофоры), как средство регуляции жизнедеятельностью биологических систем. – В кн.: Физико-математические и биологические проблемы электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.1, с. 246–265.
22. Парфенов А.П. Физические лечебные средства и курортные факторы. М.: Медицина, 1975. 212 с.
23. Стрелкова Р.Л. Электрофорез противоопухолевых препаратов в эксперименте : Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.: Ин-т эксперим. и клинич. онкологии АМН СССР, 1967, 24 с.
24. Гольцева И.Н. О влиянии постоянного магнитного поля на некоторые физиологически активные вещества, изучение влияния магнитных полей на биологические объекты. – В кн.: Матер. Всесоюз. совещ. М.: Наука, 1969, с. 66–67.
25. Бойцов Л.Н. Общие закономерности и частные методики электрофореза сложных лекарственных веществ: Автореф. дис.,канд. мед. наук, Минск: Центр. ин – т курортологии и физиотерапии МЗ СССР, 1980. 22 с.
26. Улащик В.С., Бойцов Л.Н. К вопросу о физикохимических основах и количественных закономерностях электрофореза аминокислот. – Вопросы ку –

рортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, М.:Медицина, 1977, с. 58–62.
27. Эльпинер И.Е. Ультразвук, физико-химическое и билогическое действие. М.: Физматгиз, 1963. 420 с.
28. Эльпинер И.Е., Сутоцкая И.В. О действии ультразвуковых волн на структуру и антибиотическую активность грамицидина.-ДАН СССР, 1964, т.157, с. 759–764.
29. Бусаров С.Г. О введении лекарственных веществ с помощью ультразвука: Автореф. дис.... канд. мед. наук. М.: Центр. НИИ курортологии и физиотерапии МЗ СССР, 1963, 16 с.
30. Улащик В.С., Чиркин А.А. Ультразвуковая терапия, Минск: Беларусь, 1983. 254с.
31. Улащик В.С. Физико-фармакологические методы лечения и профилактики. Минск: Беларусь, 1979. 223 с.
32. Смирнова В.В., Табакова Т.Д. Влияние магнитного поля на действие папаверина в условиях гипоксии. – В кн.: Влияние магнитных полей на биологические объекты. Калининград: Изд-во Калининград. ун-та, 1975, с. 19–20.
33. Десницкая М.М., Каргаполов А.В. К механизму действия лекарственных веществ, подвергавшихся воздействию магнитного поля. – Там же, с. 20– 21.
34. Кирганцев А.И., Соколов В.М., Ханоев Е.И. К вопросу о влиянии магнитного поля на физико-химические свойства растворов.-В кн.:Физическая химия, 1968, т. 62, № 1, с. 301–309.

2. Некоторые биохимические проблемы магнитобиологии и магнитотерапии

За последнее время магнитобиология достигла серьезных успехов в решении прикладных задач прежде всего благодаря широкому использованию постоянных МП в терапевтических целях. Однако в оценке эффективности широкого внедрения МП в клиническую практику настораживает тот факт, что МП играет роль универсального средства от множества патологий, и это достигается незначительными вариациями параметров: напряженности, экспозиции, локализации омагничивания /1/. Очевидно, использование МП в терапии должно основываться на детальном знании его влияния на интактный организм. Эти знания можно получить в гигиенических исследованиях, которые, в частности, свидетельствуют в некоторых случаях о неблагоприятном действии МП на организм в различных производственных условиях /2/. Кроме того, целый ряд экспериментально-клинических исследований характеризуют МП как фактор, активно нарушающий деятельность метаболических систем углеводного, липидного и белкового обменов /3/. Естественно, чтобы примирить в клинической практике два взаимоисключающих биологических действия МП – терапевтическое и патологическое , необходимо знание как молекулярных механизмов, так и закономерностей ответных реакций ор-

ганизмов на воздействие МП в норме и патологии. Поскольку биохимические реакции протекают с чередованием парамагнитно-диамагнитных состояний промежуточных и конечных продуктов метаболизма, МП может вызвать изменение скорости как прямых, так и обратных реакций, что определяет возможность взаимокомпенсации изменений, вызванных МП в биохимических звеньях. Тогда биологический эффект МП интегрально можно интерпретировать как итог нескомпенсированных изменений в биохимических звеньях, трансформированных на клеточный и органный уровни. Необходимым условием для успешного терапевтического применения МП должно явиться знание тех молекулярных нарушений, из-за которых возник патологический процесс, адекватный выбор воздействия МП не только на нарушенную при патологии молекулярную систему, но и на соседние интактные системы. На основании таких сведений и общих законов регуляции липидного, углеводного и белкового обменов могут быть разработаны общетеоретические и методичеокие основы магнитотерапии для выбора значения напряженности МП, его локализации и длительности омагничивания.

Биохимические механизмы адаптации наиболее важны в жизни организмов, ибо составляют существо "интимных" метаболических процессов клетки [4]. И с этой точки зрения общие закономерности биохимической эволюции и адаптационных взаимодействий организмов с физико-химическими факторами внешней среды могут быть поняты в рамках строгих физико-химических закономерностей Биохимические изменения в организмах большей частью адаптивны на уровне основных метаболических процессов и макроскопически не проявляются. Именно биохимическая адаптация к изменению факторов внешней среды позволяет сохранить постоянство анатомической и физиологической форм организмов. Для стационарного протекания жизненных процессов организма необходимо, чтобы гомеостаз метаболических функций осуществлялся в определенном направлении и с определенной скоростью, соответствующей оптимальному режиму обмена организма с внешней средой энергией, веществом и информацией. Для достижения этой цели возможны следующие превращения с биологически важными макромолекулами: изменение типов макромолекул, их концентрации и адаптивной регуляции функций макромолекул. Организмы синтезируют макромолекулы белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов и их взаимо - группирующихся комплексов, составляющих основу специфических свойств живых систем, одновременно сочетая при этом образование высокоэнергетических соединений и низкомолекулярных предшественников, а также генерирование восстановителей [4,5].

Можно полагать, что МП влияет прежде всего на гомеостаз живых систем, изменяя скорость и направленность радикальных метаболичеоких реакций, как наиболее чувствительных параметров адаптационной системы организма, т.е. в основе механизмов действия МП должны быть те же физико-химические закономерности, что и в основе процессов адаптации к ним. В настоящее время можно считать доказанной способность МП изменять кинетику радикальных химических реакций [6,7] (см. также т.2,гл.II,п.2.I) и,видимо, это доказа-

тельство можно распространить на радикальные биохимические реакции, по крайней мере на кинетику свободнорадикальных реакций перекисного окисления липидов /8/ (см. также т.2, гл.II, п.2.2).

Эффекты МП в кинетике химических реакций предсказывались еще в конце XIX столетия и только в 1913 году было обнаружено влияние МП на флуоресценцию паров иода. Эксперименты же по исследованию действия МП на реакции в растворах долгое время оставались безрезультатными. Теоретически возможно смещение химического равновесия за счет изменения магнитной восприимчивости химической системы /9/, но относительное изменение константы скорости реакции очень мало и, например, в МП I Тл не превышает 10^{-4}. Под действием МП ориентация ассоциатов молекул или макромолекул с анизотропией магнитной восприимчивости, хотя и может изменить их реакционную способность, но незначительно - эффекты не превышают 0,1% в полях порядка I Тл /10-12/. Обнаруженное влияние МП на фотофизические процессы с участием триплетных электронов в кристаллах стимулировало поиск подобных эффектов в растворах /13/. Открытие явления химической поляризации ядер и электронов положено в основу физического механизма влияния МП на радикальные химические реакции в растворах и способствовало созданию строгой теории этого явления /6/. Теория влияния МП на скорость радикальных химических реакций и реакций с участием молекул в триплетных возбужденных состояниях в растворах способна предсказывать оптимальные условия возникновения эффектов, где могут наблюдаться магниточувствительные стадии /7,9,14/.

Может ли теория /6/ явиться основой для объяснения действия МП на биохимические процеосы в живых организмах? По-видимому, может, поскольку биохимические реакции, несмотря на их особенности, подчинены законам элементарного химического акта; многие биохимические реакции, из которых часть ферментативных, идут через отадии свободнорадикальных метастабильных состояний; радикальная пара является детектором МП, благодаря возникающей в ней спиновой динамики переходов между уровнями различной мультиплетности, индуцируемых внешним и локальным МП электрон-ядерной системы. Вмешательство МП, оцениваемое по зеемановскому и сверхтонкому взаимодействиям, изменяет вероятность протекания реакций за счет ранее запрещенных переходов.

При знании физико-химичеокого механизма все большее значение приобретает поиск биохимических закономерностей реакций биологических систем на воздействие МП. Для решения этой проблемы необходимо знать не только молекулярный механизм влияния МП, но и способ трансформации молекулярных изменений на клеточный и органный уровни, а также изучить роль адаптационных и регуляторных систем в формировании (а это, пожалуй, самое важное) реакций организма на действие МП, что по существу и является биологическим эффектом магнитных полей.

В практической магнитобиологии уже сегодня можно руксводствоваться накопленными теоретическими и экспериментальными данными о влиянии МП на

ферментативные системы углеводного и липидного обменов в миокарде, отделах ЦНС и других системах организма, поэтому своевременно ставить вопрос о формировании теоретических положений в магнитобиологии и магнитотерапии /I5,I6/. В настоящее время можно, пусть в самом общем виде, получить важные практические рекомендации: какие напряженности МП необходимы, в каких патологических случаях следует (или не следует) применять МП, каково оптимальное время омагничивания объекта, необходима ли локализация МП на патологическом очаге или вне его.

Результаты, полученные при исследовании теоретических и экспериментальных химических и биохимических моделей,овидетельствуют о сложной зависимости изменения скорости радикальных химических реакций от напряженности МП. Если биохимическая система адекватна, т.е. она определена в рамках закономерностей действия МП на радикальные химические реакции, то для такой системы может быть предсказана теоретически или получена экспериментально зависимость изменения скорости реакции от напряженности МП. В современной магнитотерапии возникает острая необходимость знания молекулярных нарушений, лежащих в основе возникшей патологии, с целью определения того, какие системы радикальных биохимических реакций следует активировать, а какие ингибировать с учетом конкретных взаимодействий в реагирующих компонентах, т.е. необходимо вскрыть патологию на молекулярном уровне /3,8/.

Изменение скорости реакции под влиянием МП - процесс практически мгновенный и, следовательно, время омагничивания (экспозиция) объекта всецело должно зависеть от времени срабатывания адаптационных систем в момент раскомпенсации. При этом следует учитывать порог биохимической адаптации, циркадные и сезонные изменения исследуемой биохимической системы. Перестройка большинства молекулярных процессов и переход их на новый метаболический уровень в клетке заканчивается за I5-20минут (синтез белков, липидов, гормонов и других молекул; процессы проницаемости, возбуждения ограничиваются десятками миллисекунд). Видимо, 20 минут и есть лимитирующая экспозиция действия МП для определенных молекулярных перестроек при конкретном циркадном значении активности исследуемой метаболической системы /I6/. Произведение напряженности Н на экспозицию Т (НхТ) можно рекомендовать как гипотетическую, но экспериментально определяемую, "дозу" омагничивания, для которой величина биомагнитного эффекта в каждом конкретном случае должна быть оптимальной. В клетке существует многоступенчатая регуляция любого метаболического процесса, контролируемого, в свою очередь, ЦНС. Если активность исследуемого метаболического звена полностью подавлена развитием патологии, то активация и восстановление его функций должны происходить через резервные интактные пути при участии ЦНС, что и определяет требования к локализации МП. При частичной утрате активности звена активация может быть достигнута локально, непосредственно в патологическом очаге или через посредство воздействия также и на другие системы организма.

Итак, биологическое действие МП может быть интерпретировано с позиций молекулярного механизма, согласно которому его влияние выражается в изменении кинетики и направленности биохимических радикальных реакций и в первую очередь реакций перекисного окисления липидов. На первичное воздействие МП у живого организма возникают многочисленные адаптационные реакции на разных уровнях его жизнедеятельности, протекание которых определяет биологический эффект.

Терапевтическое действие МП может быть тем значительнее, чем полнее выявлены нарушенные патологией биохимические параметры организма (биоритмы, адаптационный порог, время ответной реакции), на которые МП должно оказать нормализующее действие.

Литература

I. Применение магнитных полей в клинике: Тез. докл. Куйб. обл. конф., Куйбышев, I976. I99 с.
2. Гигиническая оценка магнитных полей: Матер. симпоз., М., I972. I69с.
3. Применение магнитных полей в клинической медицине и эксперименте: Тез. докл. 2-ой Поволж. конф., Куйбышев: I979. 243 с.
4. Хочачка П., Сомеро Д. Стратегия биохимической адаптации. М.;Мир, I977. 398 с.
5. Ньюсхолм Э., Старт К. Регуляция метаболизма. М.; Мир, I977. 407 с.
6. Бучаченко А.Л. Химическая поляризация ядер и электронов. М.:Наука, I974. 246 с.
7. Франкевич Е.Л. Магнитные поля и скорость реакции. - Вестн. АН СССР, I978, т. 2 , с. 80-86.
8. Аристархов В.М., Пирузян Л.А. Роль биохимических процессов в ответных реакциях биосистем на воздействие магнитных полей. - Изв. АН СССР, СССР. Сер. биол., I977, № 6, с. 9I5-9I9.
9. Сагдеев Р.З.. Салихов К.М., Молин Ю.Н. Влияние магнитного поля на процессы с участием радикалов и триплетных молекул в растворах. - Успехи химии, I977, т. 46, № 4, с. 569-60I.
I0. Аристархов В.М., Пирузян Л.А., Цыбышев В.П. Физико-химические основы первичных механизмов биологического действия магнитного поля. - В кн.: Реакции биосистем на магнитные поля. М.: Наука, I978, с.6-25.
II. Дорфман Я.Г. О специфике воздействия магнитных полей на диамагнитные макромолекулы в растворах. - Биофизика, I962, т. 7, № 6, с. 733-736.
I2. Аристархов В.М. Критические замечания о теоретических обоснованиях биологических эффектов магнитного поля. - Изв. АН СССР. Сер. биол., I979, № I, с. I22-I23.
I3. Соколик И.А., Франкевич Е.Л. Влияние магнитных полей на фото-процессы в органических твердых телах. - УФН , I973, т. III, вып. 2, с. с. 26I-288.
I4. Вайнер Л.М., Подоплелов А.В., Лешина Т.В. и др. Влияние МП на ско-

рость разложения H_2O_2 каталазой и комплексом ЭДТА с Fe^{+3}. – Биофизика, 1978, т. 23, вып. 2, с. 234–241.
15. Удинцев Н.А., Канская Н.В. Влияние магнитного поля на сердце. Томск: Изд-во ТГУ, 1978. 124 с.
16. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975. 206 с.

3. Применение электромагнитных полей в диагностике и терапии

Проблема применения ЭМП в медицине в диагностических и лечебных целях развивается в двух направлениях: 1) регистрация внутренних (эндогеннообразуемых) ЭМП; 2) воздействие внешними ЭМП (экзогенное воздействие) с целью обнаружения и разрушения патологического очага или замедления патологического процесса.

Внутренние поля меняются при различных функциональных состояниях и патологических процессах. Использование внутренних ЭМП базируется на их тесной связи с метаболическими процессами и молекулярной организацией организма. Регистрация внутренних ЭМП – наиболее чувствительный диагностический метод, позволяющий в ряде случаев получить сведения о состоянии организма безболевым и бесконтактным способом, не используя стандартные методики забора крови, биопсийного материала, посевов и введения различных зондов. Эти методы (см. т.I, гл.III,п.п.I.3; I.4) не имеют противопказаний для применения.

В терапевтических целях часто ограничиваются воздействиями внешних, иногда высокоинтенсивных ЭМП. В настоящее время еще недостаточно учитывается роль резонансного действия ЭМП на молекулярную организацию и влияние его на патологические процессы, не используется возможность воздействия на сумму воспринимающих структур потоком излучений волн разной длины, для каждой из которых имеется селективно поглощающая структура.

Наиболее важными структурами, воспринимающими излучение, являются мембраны, вода, ферменты, ионы, их взаимосвязь друг с другом, а на уровне организма – его функциональное состояние. Мембраны состоят из белков, жиров, углеводов, погруженных в структурированную воду [1]. С мембранами связаны многие ферменты, в липидах мембран протекают процессы свободнорадикального перекисного окисления (СРПО). Изменение структуры мембран, наблюдающееся при действии некоторых излучений, вызывает изменение активности ферментов, синтеза макроэргических соединений, интенсивности СРПО. Эти изменения на клеточном уровне могут проявиться нарушениями в проницаемости, всасывании, устойчивости мембран к гипоксии, действию других факторов.

Для проявления биологического действия ЭМП необходима вода, включенная в единый комплекс "макромолекула–вода", являющийся единой упорядоченной структурой с собственным регулярным ЭМП [2]. Подобный комплекс

обеспечивает создание возбужденных состояний, возникновение и распространение возбуждения [3], рецепцию ЭМП. Вода ответственна за основной биологический эффект при действии микроволн: поглощает 98% падающего излучения с длиной волны 3 см [4].

Комплекс "вода-фермент" воспринимает электромагнитную энергию как непосредственно за счет наличия полос поглощения, так и при миграции энергии между молекулами. Ферменты изменяют свою активность при поглощении ЭМП, а также при воздействии радиотоксинов, преимущественно липидной природы, при нарастании концентрации активированных форм кислорода, изменении структуры мембран.

Следующий рецептирующий компонент - ионы, степень гидратации которых определяет разнообразие реакций при действии ЭМП. Увеличение связей между молекулами воды уменьшает гидратацию ионов, ослабление связей - усиливает ее [1]. Внешнее ЭМП воспринимается также нуклеиновыми кислотами. При действии излучения с длиной волны, соответствующей полосе поглощения, наблюдается либо разрушение связей, либо передача энергии другим молекулам, либо излучение энергии возбужденной молекулой [5,6].

Один из наиболее важных признаков живого - обмен информацией между его составными элементами. Он осуществляется внутренними ЭМП [6-9], молекулами циклических нуклеотидов, белков, ферментов, а также некоторыми клетками [10,11], что приводит к формированию процессов деления, интеграции, узнавания клетками друг друга [12-16]. Наиболее полно обмен информативными молекулами разработан в теории креаторных связей [17]. На интенсивность обмена информацией влияет как состояние внутриклеточного метаболизма, так и состояние мембран для информативных молекул, вызывая "возмущение" в каналах передачи информации, что приводит к изменению отдаленных не облучаемых клеток. Возможно также непосредственное влияние на информативную связь, осуществляемую внутренними ЭМП.

Рассмотрим применение каждого из диапазонов ЭМП - от гамма-излучений до радиоволн в диагностических и терапевтических целях, обосновывая эффективность действия этих методов теми влияниями, которые наблюдаются в организме при действии конкретного вида излучений.

Ионизирующее излучение

Различают прямое воздействие ионизирующего излучения на молекулы, приводящее их в состояние возбуждения или к разрушению, и опосредованное воздействие - на реакции между макромолекулами и "активированными" молекулами воды [18]. В самые ранние сроки после облучения отмечается повышение количества радиотоксинов. Показано, что молекулы радиотоксинов находятся в свободнорадикальном состоянии [19,20] и усиливают СРПО [20-22]. Ионизирующая радиация на биохимическом уровне вызывает нарушение процессов гликолиза и окислительного фосфолирования как при непосредственном воздействии на ферменты и мембраны, так и при опосредованном действии через увеличение СРПО, которое также оказывает разобщающее воздействие на процессы окисления. В повреждающем действии важная

роль принадлежит кислороду, по этой причине оксигенация увеличивает поражение, а гипоксия оказывает защитное воздействие /23/. Повреждающее действие выражено у активных форм кислорода - супероксид-анион радикала - и усиливается как по причине их образования под действием облучения, так и в силу ингибирования супероксиддисмутазы, понижающей уровень активных форм кислорода.

В терапевтических целях ионизирующая радиация применяется для полного разрушения патологических очагов (опухоли) и для замедления патологических процессов (патохимических и патофизиологических), например хронического воспаления (болезнь Бехтерева, упорные к лечению формы радикулитов и др.). Введением изотопов, селективно накапливающихся в органах и тканях, также воздействуют на патологические процессы до полного разрушения патологических очагов (опухоли щитовидной железы, болезни крови и др.).

Диагностическое использование ионизирующей радиации основано на различной проницаемости тканей для этого излучения. При изменениях в органах (опухоль, туберкулез, повреждения) можно видеть на рентгеновских снимках соответствующее изменение /24/. Внутреннее ЭМИ данного диапазона образуется при распаде естественных изотопов и действии космического излучения. Однако введением радиоактивных изотопов уровень излучения можно повысить и получить информацию о состоянии органов и тканей. Распределение изотопов определяется функциональным состоянием органов, избирательным поглощением различных изотопов, что позволяет выявить начальные стадии заболевания /25/.

При больших дозах облучения отмечаетоя развитие астенизации организма, ослабление функций систем и органов, снижение иммунологической защиты. Ослабление функций в первую очередь затрагивает нервную систему.

Ультрафиолетовая (УФ) радиация

Первичной воспринимающей структурой, по-видимому, являются молекулы белка, с которых энергия возбуждения передается на молекулы липидов, стимулируя СРПО /26-30/. УФ поглощают также нуклеиновые кислоты, каротиноиды, хиноны, цитохромы и некоторые другие пигменты. На клеточном уровне это приводит к разрущению мембран, микросом, выходу метаболитов и ферментов в цитоплазму, что еще более ухудшает повреждение /31/. Наблюдаются мутагенные и летальные эффекты, зависящие от дозы облучения, длины волны, состояния облучаемых объектов, наличия в них защитных систем (антиоксиданты, ферменты репарации и др.).

УФ-радиация, являясь неспецифическим стимулятором физиологических процессов организма, воспринимается поверхностью кожи, внутренние ткани надежно защищены от ее действия. Подводя световоды к тканям, можно наблюдать разнообразные эффекты от УФ-радиации; если такой структурой будет мозг, то возможно развитие некоординированных движений, эпилеп-

тических припадков (наши предварительные эксперименты). УФ-радиация применяется при лечении тонзиллитов, болезней кожи (зимняя форма псориаза, язвенное повреждение кожи), воспалительных и трофических процессов. В естественных условиях УФ-излучение представлено в солнечном спектре и находит применение в гелиотерапии совместно с действием оптического и инфракрасного излучений.

Установлено следующее соответствие между длинами волн УФ-радиации и биологическим действием: 180–275 нм – повреждающее действие, 275–400 нм – антирахитическое и слабобактерицидное, 320–400 нм – эритемнозагарное действие. Основой применения внешнего УФ для диагностики является тот факт, что при развитии патологических изменений меняется структура белков, ферментов, мембран, следовательно, изменяется реакция организма на облучение – изменяется флуоресценция тканей, что позволяет установить наличие патологии, например развитие опухоли [32–33]. Регистрация эндогеннообразуемых полей позволяет обнаружить в одних случаях снижение интенсивности УФ-излучения (опухоль) [34], в других – увеличение его (болезнь сосудов). В настоящее время внутреннее УФ-излучение регистрируется совместно с оптическим на установках по определению сверх – слабого свечения [35].

Оптическое излучение (ОИ)

Эффект действия ОИ определяется присутствием в биообъектах молекул и структур, поглощающих длины волн ОИ (фотосинтез, рецепция света глазом, эритемное воздействие и др.) [36–38]. При воздействии ОИ значительной мощности необходимо учитывать слагаемые от ударных процессов и теплового повреждения тканей. ОИ влияет на структуры мембран (воздействие слабых потоков в течение примерно 60 мин) и на активность мембраносвязанных ферментов.

В терапии ОИ используется для повышения неспецифической резистентности организма, а также (при большой интенсивности) – для разрушения поверхностно расположенных очагов.

Применение оптического и УФ-излучения совместно с фотосенсибилизаторами (8 метоксипсорален, метксален, гематопорфирин и его производные) увеличивает эффект при лечении псориаза, некрозов и опухолей [39–40]. Более выраженные эффекты наблюдаются при использовании оптических квантовых генераторов (лазеров) для лечения глаз, кожных болезней, опухолей, особенно меланом [41,42]. Интересен факт, что облучение одной опухоли вызывает регресс другой, расположенной отдельно и не облученной [43,44]. Поскольку титр противоопухолевых антигенов не возрастал, значит, имеются другие механизмы защиты в организме помимо иммунологической, а именно – неиммунологическая система, включающая тиоловые соединения, антиоксиданты, липиды, липазы, супероксиддисмутазы и др. [45–47]. Все перечисленные соединения имеют связь с генерацией организмом ЭМП. Возможно, что внутренние ЭМП самостоятельно выполняют некоторую защитную роль. Ис-

ходя из различной чувствительности составных частей организма к разным длинам волн, считается возможной "настройка" лазерного излучения на селективное взаимодействие с определенными тканями, особенно при введении селективно поглощающих красителей /48/. Это позволит не только изменить состояние тканей, но и перестроить измененные ткани в нужном направлении.

В диагностических целях внешнее излучение применяется для осмотра пазух, полостей тела и кожных поверхностей. Внутреннее ОИ регистрируется хемолюминесцентным методом в нативных тканях или сыворотке крови /35/. Нами показана возможность создания камер для определения суммарного ОИ организма или некоторых его частей. Они напоминают камеры для исследования общего обмена, однако для регистрации ОИ используются определенные ФЭУ (ФЭУ 37, ФЭУ 42, ФЭУ 42б, ФЭУ 85 и др.). Отмечено, что при наличии незначительного венозного застоя в нижних конечностях наблюдается возрастание ОИ с конечностей. При различной патологии уровень ОИ сыворотки крови или гомогената ткани меняется: повышается (атеросклероз, лучевая болезнь, туберкулез) или понижается (опухолевые процессы, гипоэндокринные процессы /42-52/). Уровень ОИ зависит от уровня и вариаций СРПО.

Инфракрасное (ИК) излучение

ИК-излучение вызывает возбуждение молекул, комплексов и структур. Однако возбуждение затрагивает преимущественно вращательную и колебательную способности молекул. При длительном или интенсивном воздействии ИК-лучей меняется структура мембран, активность ферментов. В результате при поглощении тканями ИК-излучения развиваются местные процессы: увеличивается проницаемость кровеносных и лимфатических сосудов, освобождаются биологически активные вещества. В дальнейшем присоединяются общие процессы: изменение температуры, интенсификация обмена, увеличение числа эозинофилов и СОЭ, стимуляция иммуногенеза. При интенсивном ИК-излучении происходят процессы разрушения организма.

В терапевтических процедурах ИК-излучение используется как составной элемент гелиотерапии и совместно с другими видами излучений (ОИ, УФ) при лечении кожных болезней и астенизации организма.

Воздействие внешнего ИК-излучения для диагностических целей практически не используется, за исключением тех случаев, когда дискомфорт человека при нахождении в поле ИК-радиации расценивается как ответ астенизированного организма с хроническими воспалительными процессами (туберкулез, болезнь Бехтерева).

Интересным и перспективным является регистрация внутреннего ИК-излучения организма, уровень которого меняется при развитии патологического процесса. Эти изменения в органах и тканях выявляются в начальных стадиях и увеличиваются по мере развития патологии. Регистрация внутреннего ИК-излучения используется для диагностики болезней нервной,

сердечно-сосудистой систем и др. Теоретически можно предположить, что при наличии приборов достаточно высокой чувствительности возможна регистрация любых изменений процессов метаболизма /53-57/.

Радиоволновое излучение

Физической основой для действия радиоволн на организм является наличие в нем ионов, диполей, свободных радикалов, полярных микро- и макромолекул, наличие внутренних ЭМП и электрических токов. Биологический эффект определяется длиной волны действующего излучения, интенсивностью, важностью для организма воспринимающих поле структур, селективностью воздействия.

В действии внешнего радиоволнового излучения различают: I) тепловое действие эндогенного характера; 2) селективное действие, т.е. поглощение определенными тканями энергии различных диапазонов длин волн; 3)специфическое действие на определенные органеллы /58-60/.

Энергия внешних ЭМП поглощается тканями за счет диэлектрических потерь, ионной проводимости, резонансных явлений. Резонансное поглощение становится возможным, когда частота внешнего воздействия близка к частоте собственных колебаний макромолекул, их комплексов и боковых цепей. Для резонансного взаимодействия необходимо наличие воспринимающих структур - УВЧ, например, поглощается преимущественно боковыми молекулами а микроволны - комплексами молекул воды / 5, 60 /. Яркое подтверждение эффекта резонансного воздействия СВЧ излучений было получено в опытах с гемоглобином. Установлено, что облучение одной длиной волны (7 мм) приводит к выраженным изменениям (диссоциации молекулы гемоглобина на субъединицы), а действие другой длины волны, даже достаточно близкой, эффекта не оказывает /6I-63/. Для резонансного взаимодействия характерны выраженные изменения в организме при действии слабых потоков излучения. Биологические эффекты могут измениться, если в падающем потоке сохранится несколько длин волн, для каждой из которых в организме имеется резонансно настроенная структура.

К действию внешних ЭМП радиодиапазона высокую чувствительность проявляет нервная система. При недозированном облучении отмечаются жалобы на общую слабость, снижение памяти, внимания, работоспособности, бессонницу. У экспериментальных животных нарушается условнорефлекторная деятельность, изменяется биоэлектрическая активность мозга и др./64/. Малые дозы микроволн ингибируют СРПО.

Возможности применения ЭМП в терапии полностью не раскрыты. В медицине используются ЭМП различных частотных диапазонов: УВЧ терапия, импульсная УВЧ терапия, индуктотермия, сантиметровая, дециметровая СВЧ терапия, импульсная СВЧ терапия. В терапии также используются постоянные электрические поля (франклинизация), переменные МП низкой частоты (магнитотерапия).

Применение ЭМП, а также внешних статических полей основано на изменении диэлектрических свойств тканей при патологических процессах. Оп-

ределяя эти изменения, можно получить ценные диагностические признаки. Регистрация внутренних ЭМП радиодиапазона нашла клиническое применение в виде магнитокардиографии, магнитоэнцефалографии. Эти методы не требуют наложения электродов или каких-либо других манипуляций на пациенте. Использование данных о биополях (см. т.I, гл. I, раздел 3) даст новые возможности в бесконтактной диагностике. Эти методы требуют клинического осмысливания и дальнейшего изучения, поскольку регистрируемые ЭМП внутреннего происхождения продемонстрированы на незначительном контингенте больных и малом числе нозологических форм. Возможности использования внутренних ЭМП в терапии недостаточно ясная проблема. По-видимому, о подобном воздействии можно говорить при аутотренинге и бальнеологическом лечении. Внутренние ЭМП затрагиваются при лечении антиоксидантами, при использовании ингибиторов супероксиддисмутазы, при действии внешних излучений. Однако методы целенаправленного влияния на внутренние эндогенные ЭМП, а также электромагнитные "каналы" связи в организме не ясны в настоящее время. Требуются дальнейшие исследования, чтобы определить роль внутренних ЭМП и возможности управления ими. Очень перспективным для терапии является поиск резонансных структур организме и создание "мозаики" действующих на них внешних излучений.

Литература

I. Аскоченокая Н.А., Петинов Н.С. Структура воды и ее роль в биологических системах. – Успехи соврем. биол., I972, т. 73, с. 288–305.
2. Привалов П.Л. К вопросу о состоянии и роли воды в биологических системах. – Биофизика, I958, т. 3, № 6. с. 738–742.
3. Сент-Дьердьи А. Биоэнергетика. М.:Физматгиз, I960. I55 с.
4. Василенко Ф.Д. Физическое обоснование действия физических факторов на организм. – В кн.: Физические факторы в комплексном лечении и профилактика внутренних и нервных болезней / Под ред. А.Н.Обрссова . М.:Медицина, I97I, с. 29–I04.
5. Самойлова К.А. Действие ультрафиолетовой радиации на клетку. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I967. I96 с.
6. Мостовников В.А., Хохлов И.В. Взаимодействие клеток человека с помощью электромагнитных волн оптического диапазона. Препринт №I28, Минск: Наука и техника, I977.
7. Казначеев В.П. О межклеточных дистантных взаимодействиях в системе двух тканевых культур, связанных оптическим контактом. – В кн.: Сверхслабые свечения в биологии. М.: Наука, I972, с. 224–227.
8. Ивлиев Ю.А. Некоторые возможные механизмы информационного взаимодействия в молекулярных физико-биологических системах. – Биофизика, I976, т.2I, вып.I, с.I5 – 20.
9. Тарусов Б.Н. Информационное значение сверхслабого свечения. – Тр. МОИП, М.: Наука, I972, т.39, с. 9–I6.
I0. Меерсон Ф.З. Пластическое обеспечение функций организма. М.: Наука, I967. 3I8 с.

II. Межклеточные взаимодействия в дифференцировке и росте: Матер.симпоз. I8–2I ноября в Тбилиси/Под ред Г.В. Лопашова. М.: Наука, I970. 255 с.
I2. Дорофеев Г.И., Кожемякин Л.А., Ивашкин В.Г. Циклические нуклеотиды и адаптация организма. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I978. I82 с.
I3. Певзнер Л.З. Функциональная биохимия нейроглии. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, I972. I99 с.
I4. Певзнер Л.З. Обмен нуклеиновых кислот и белка в нервной системе. – В кн.: Итоги науки и техники. Физиология человека и животных. М., I972, т. I0, с. I24–I99.
I5. Трумэн Д. Биохимия клеточной дифференцировки. М.: Мир, I976. I88 с.
I6. Федоров Н.А. Биологическое и клиническое значение циклических нуклеотидов. М.: Медицина, I979. I84 с.
I7. Косицкий Г.И., Ревич Г.Г. Креаторная связь и ее роль в организации многоклеточных систем. М.: Наука, I975. I24 с.
I8. Окада Ш. Радиационная биохимия клетки. М.: Мир, I974, 407 с.
I9. Серкиз Я.И., Рябова Э.З., Чеботарева Е.Е. Спонтанное и индуцированное излучение сыворотки крови, как показатель степени лучевого поражения животных. – Радиобиология, I975, т. I5, № 5, с. 7I6–72I.
20. Эйдус Л.Х. Молекулярный механизм повреждения клеток и защита от действия ионизирующей радиации. – Радиобиология, I973, т. I3, № 5, с. 65I–66I.
2I. Бурлакова Е.Б., Алесенко А.В., Молочкина Е.М. Биоантиоксиданты в лучевом поражении и злокачественном росте. М.: Наука, I975. 2I3 с.
22. Тарусов Б.Н. Хемилюминесценция липидов при облучении. – В кн.: Первичные и начальные процессы биологического действия радиации. М.: Наука, I972, с. 50–54.
23. Рампан Ю.И., Анохин Ю.Н. Проблема усиления биологического действия ионизирующих излучений. – Радиобиология, I975, т. I5, № 6, с. 843–849.
24. Фанарджян В.А. Рентгенодиагностика. Ереван: Айастан, I977. 606 с.
25. Фатеева М.Н. Очерки радиоизотопной диагностики. М.: Медгиз, I960. 268 с.
26. Орлов С.Н., Малков Ю.А., Ребров В.Г., Ранилов В.С. Свободнорадикальное окисление липидов биологических мембран. – Биофизика, I976, т. 2I, № 2, с. 276–279.
27. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, I972. 252 с.
28. Конев С.В., Волотовский И.Д. Введение в молекулярную фотобиологию. Минск: Наука и техника, I97I. 230 с.
29. Владимиров Ю.А. Хемилюминесценция, сопряженная с образованием липидных перекисей в биологических мембранах. IX. Свечение в присутствии люминола. – Биофизика, I972, т. I7, № 4, с. 702–706.
30. Волотовский И.Д., Шейко Л.М., Конев С.В. Влияние УФ света на структуру мембран эритроцитов и на каталитические свойства мембранной

ацетилхолинэстеразы. – Молекуляр. биология, 1976, т. 10, № 5, с. 1027–1034.
31. Зотиков Л.А., Пинчук В.Г. Некоторые аспекты проблемы лизосом. – Цитология, 1969, т. 11, № 10, с. 1205–1220.
32. Карякин А.В., Анисимова И.Н. Флуоресценция легочной ткани в норме и при раке легкого. – Биофизика, 1962, т. 7, № 2, с. 146–149.
33. Брумберг И.Е., Шунаева С.Е. Ультрафиолетовая флуоресценция лейкоцитов крови при их повреждении. – Цитология, 1964, т. 66, № 6, с. 766–768.
34. Гурвич А.Г., Залкинд С.Я., Песоченский Б.С. Учение о раковом тушителе: Теория и клиника. М.: АМН СССР, 1947, 99 с.
35. Гербек Э.Э., Афризмон А.Ф., Гербек Г.В. Метод регистрации сверхслабого свечения живой ткани. – В кн.: Новые методы диагностики и лечения, разработанные в Томском медицинском институте. Томск; ТГУ, 1974, вып. 2, с. 111–113.
36. Сазоненко М.К. О фотодинамической стиуляции скелетной мышцы лягушки. – Биофизика, 1963, т. 8, № 6, с. 681–689.
37. Тамар Г. Основы сенсорной физиологии. М.: Мир, 1976, 520.с.
38. Пэдхэм Ч., Сондэрс Дж. Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978, 256 с.
39. Parrish I.H., Fitzpatrick T.B., Tanaabaum L., Pathak M.A. Photochemotheraphy of pscriasis with methoxalen and longwave ultraviolet light.- N. Engl. J. Med., 1974, vcl. 291,N.23, p.1207-1211.
40. Swanbeek J. Thyresson-Hok M., Bredberg A., Lambert B. Treatment of psoriasis with oral psoralens and longwave ultraviolet light.-Acta dermatovener., 1975, vol. 55, N 5, p. 367-376.
41. Гамалея Н.Ф. Лазеры в эксперименте и клинике. М.: Медицина, 1972, 232 о.
42. Пигментные опухоли /Под ред. Р. Иконописова . София: Медицина и физкультура, 1977, 268 с.
43. Klein E., Klein I. Antigenic properties of lymphomas induced by the Moloney agent.- J. Nat. Cancer Inst., 1964, vol.32, p.547-568.
44. Goldman L., Rochwell R.I. Lasers in medicine. N.J. Gordon a. Breach, 1971, 385 p.
45. Appfel C.A. Nonimmunological host defenses.- Rev. Cancer Res.,1976, vol. 36, p. 1527-1537.
46. Fridovich I. Superoxide dismutases. Advances in enzymology. N.J. ets., 1974, vol. 41, p. 36-97.
47. Ланкин В.З. Защитные ферментные системы и перекисное окисление липидов в норме и патологических состояниях. – В кн.: Симпозиум "Биоантиоксиданты в регуляции метаболизма в норме и патологии". Тезисы докладов. Черноголовка, 1978, с. 23–25.
48. Лазеры на красителях (под ред. Ф.П. Шефера). М.: Мир, 1976, 329 с.
49. Журавлев А.И. Спонтанное метаболическое свечение плазмы и сыворот-

ки крови в видимой области спектра. – В кн.: Сверхслабые свечения в медицине и сельском хозяйстве: Тр. МОИП. М.: Изд-во МГУ, I974, т.50, с. 9–27.

50. Журавлев А.И., Журавлева А.И. Сверхслабое свечение сыворотки крови и его значение в комплексной диагностике.М.:Медицина, I975, I28 с.

5I. Владимиров Ю.А., Арчаков Ю.А. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, I978, 252 с.

52. Коган А.Х. Свободнорадикальное перекисное окисление липидов и патогенез коронарооккклюзионного инфаркта миокарда. – В кн.: Свободнорадикальное окиоление липидов в норме и патологии. М.: Наука, I976, с. 68–7I.

53. Миркин Л.И., Стерлин Ю.Г. Статическая модель термографических изображений медико-биологических объектов. – Мед. радиология, I977, т. 22, № 3, с. 38–49.

54. Морозов К.А., Валенкевич Л.Н., Мельникова В.П. и др. Термография в диагностике некоторых хронических заболеваний органов пищеварения. – Врачеб. дело, I979, № 4, с. 73–76.

55. Солдаткина Л.В., Гасилин В.С., Неретин В.Я. и др. Значение термографии в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний.–Терапевт. арх., I976, т. 48, № 9, с. 96–I0I.

56. Хондкариан О.А., Ступин И.Д., Богин Ю.Н., Глориозова Т.Г. Использование тепловидения при массовом обследовании с целью выявления начальных стадий каротидной недостаточности. – Тр. Горьк. мед. ин – та, I977, вып 82, с. 93–94.

57. Зарецкий В.В., Выховская А.Г. Клиническая термография. М.: Медицина, I976. I68 с.

58. Быкова Е.Б., Файтельберг Бланк В.Р. Изучение активности окислительно-восстановительных реакций в органах пищеварения для оценки действия СВЧ. – В кн.: Вопросы курортологии: Тез. докл. межресп. науч.-практ. конф. врачей-курортологов. Минск, I973, с. 72–73.

59. Габович Р.Д., Никберг И.И. Гигиенические аспекты гелиометеорологических воздействий в патологии органов кровообращения. – Гигиена и санитария, I978, № 3, с. 94–97.

60. Скурихина Л.А. Современное состояние высоко-, ультравысоко- и сверхвысокочаототной электротерапии.–В кн.: Вопросы высоко-, ультравысоко- и сверхвысокочастотной электротерапии. М., ЦНИИКиФ , I97I, с. 5–20.

6I. Девятков Н.Д., Храпов В.В., Гарибов Р.Э. Влияние миллиметрового излучения малой интенсивности на гамма-резонансные спектры гемоглобина. – Докл. АН СССР, I975, т. 225, № 4, с. 962–965.

62. Кудряшова В.А., Ильина С.А., Фалеев А.С. Исследование резонансного воздействия волн миллиметрового диапазона на гемоглобин. – В кн.: Гигиена труда и биологическое действие электромагнитных волн радиочастот. М., I972, с. 64–65.

63. Коренева Л.Г., Гайдук В.И. О принципиальной возможности резонансного взаимодействия сверхвысокочастотных колебаний на гемоглобин. – Докл. АН СССР, 1970, т. 193, № 2, с. 465–468.
64. Холодов Ю.А. Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.; Наука, 1975. 207 с.

4. Методы измерения электрических параметров клеток и их использование в биологии и медицине

Основы электрофизики клетки были заложены в 30-е годы. Однако в последнее время интерес к этой области биофизики вновь возрастает. Связано это с появлением современных автоматизированных приборов для измерения электрических параметров клеток и развитием новых подходов к изучению и интерпретации результатов электрофизических измерений. Для современного этапа изучения электрофизики клетки характерен рост числа прикладных исследований и комплексный подход в изучении нескольких электрических параметров клеток с привлечением различных методов. Основное преимущество электрофизического исследования клеток состоит в том, что его можно проводить достаточно быстро, не нарушая целостности клеток, при минимальном искажающем влиянии внешних факторов. Все это выгодно отличает электрофизические методы исследования от ряда других, например химических.

Исследование электрических параметров клеток дает возможность изучать структуру и свойства клеточной поверхности и внутриклеточного содержимого, механизмы проницаемости клеточных мембран, характеризовать физиологическое состояние клеток в процессе их развития или повреждения в результате внешних, в том числе и медикаментозных, воздействий. Наиболее часто используются следующие электрические параметры клеток: электрокинетический потенциал, электрофоретическая подвижность, электрическая поляризуемость, удельная электропроводность, диэлектрическая проницаемость и поверхностный заряд.

Практическое использование электрокинетических исследований клеток крови определяется большой биологической значимостью заряда клетки, как характеристики свойств и структуры клеточной поверхности. Именно они определяют регуляцию транспорта веществ через поверхность и взаимодействие клеток между собой и с внешней средой [1, 2]. Агрегативная устойчивость клеток, реология крови и деформируемость эритроцитов, пространственно-структурная организация движущейся крови в крупных кровеносных сосудах и микроциркуляция в капиллярах, оценка зрелости клеток и фаз клеточного цикла, изменение клеточной поверхности разных возрастных групп эритроцитов, взаимодействие антигенов и антител на клетсчных поверхностях – во всех этих областях важную роль играют электрокинетические характеристики клеток, связанные с их биологическими функциями.

Использование в клинической практике электрокинетических характеристик клеток крови основано на том, что для поддержания оптимального состояния гемостаза организма форменные элементы крови должны обладать устойчивым зарядом /3/. Изменение его является интегральным показателем сложных патологических изменений кровообращения и биохимических сдвигов в организме.

В электрокинетических измерениях экспериментально определяемым параметром является скорость движения клетки в суспензии под действием постоянного однородного электрического поля, по которой рассчитывают электрокинетический потенциал и плотность поверхностного заряда иоследуемых клеток. Общепринято использовать нормированную скорость - отношение окорости движения клетки в электрическом поле к его напряженности - электрофоретическую подвижность (ЭФП). При оформлении результатов электрокинетических измерений целеоообразно пользоваться экспериментально полученной гистограммой о подобранным шагом по подвижностям, а в случае сравнительно гомогенной суопензии - средним значением ЭФП и дисперсией. Для гетерогенных суспензий, состоящих из нескольких субпопуляций клеток, среднее значение ЭФП оерии измерений теряет смысл.

Наиболее распространенными в настоящее время методами измерения ЭФП являются микроэлектрофорез, метод препаративного разделения по зарядам частиц гетерогенной суспензии в свободном потоке /4-6/ и метод лазерной допплеровской спектроскопии /7/. Во всех перечисленных методах измеряется ЭФП клеток, разница между ними заключается лишь в опособах регистрации.

В работе /8/ описана микроэлектрофоретическая полуавтоматическая установка, в которой вместо традиционной методики измерения времени прохождения клеткой заданного пути определяется расстояние, пройденное ею в электрическом поле за фикоированное время. Это позволяет повысить точность одного измерения, и оократить общее число измерений при среднеквадратичной погрешности не более 3%. Следует также отметить автоматическую установку /9/ для микроэлектрофореза, где используется гелий-неоновый лазер и вращающийся с заданной скорсстью диск с радиальными щелями, через которые отраженный от движущихся клеток свет лазера, попадает на фотодетектор. Сигнал с детектора поступает на электронное уотройство, преобразующее сдвиг чаототы на величину ЭФП клеток. Этот метод измерения ЭФП более чувствителен, чем метод допплеровской спектроскопии и позволяет определить ЭФП клеток с высокой точноотью за короткий промежуток времени.

В настоящее время известны две промышленные установки для микроэлектрофореза: цитоферометр "Оптон" (ФРГ) и "Пармоквант" (ГДР). Цитоферометр - компактный и простой в обращении прибор. Но ручной режим работы делает измерения очень трудоемкими и длительными с погрешноотью более 3%. "Пармоквант" /10/ - полностью автсматизированный прибор для микроэлектрофореза. В нем предусмотрены три режима работы: ручной, полуав-

томатический и автоматический; используются разные варианты обработки результатов измерений на ЭВМ и вывод результатов на печатающее устройство. Полная автоматизация ввода пробы, измерений и обработки результатов позволяет быстро (ЭФП ота клеток измеряется за несколько минут) и с высокой точностью (I%) получить результаты в виде таблицы или гистограммы с результатами расчета основных значений (среднего значения ЭФП, дисперсии, числа измеренных клеток).

Принцип метода препаративного разделения по зарядам [4-6] заключается в том, что гетерогенная суспензия, подлежащая разделению, вводится тонкой струйкой в равномерно текущий поток жидкости, поперек которого приложено электрическое поле. Вследствие различного смещения клеток под действием поля исходная струя разделяется на фракции, которые отбираются коллектором в разные пробирки. Этот метод позволяет быстро (десятки-сотни секунд) без больших повреждений препаративно разделить по зарядам разные биологические суспензии - клеточные, субклеточные, молекулярные. Разрешающая способность этого метода несколько меньше, чем метода электрофореза на поддерживающих средах, но он незаменим в тех случаях, когда необходима высокая скорость разделения.

С середины 70-х годов несколько фирм ФРГ (Бендер и Хобейн, Лабомед, ДЕСАГА, Биотроник) и США (Бриикман Инструментс) освоили промышленный выпуск приборов для рассматриваемого метода препаративного разделения электрофорезом в свободном потоке (модели Эльфор-5, ФФ-48). Эти приборы имеют прямоугольную камеру, эффективное термостатирование, инжектор для равномерного ввода суспензии в камеру разделения и некоторые непринципиальные технические различия. Разрешающая способность приборов по измерению подвижностей (порядка 10^{-9} м^2/с·В) и производительность (I-3 мл/час) всех устройств примерно одинакова. В последней модели прибора "Эльфор II" есть блок оптической регистрации фракций в процессе разделения. Результаты оптического анализа обрабатываются и выводятся на печатающее устройство в виде гистограммы.

При измерении электрокинетических характеристик клеток крови следует иметь в виду, что вещества, добавляемые в кровь для предотвращения ее коагуляции (антикоагулянты) могут существенно исказить результаты измерений. В частности, прединкубация с гепарином приводит к необратимому увеличению ЭФП клеток крови. Эффект действия гепарина пропорционален его концентрации и характеризуется разной степенью влияния на субпопуляцию клеток в гетерогенной суспензии [II]. Прединкубация форменных элементов крови в течение I5 мин с I%-м раствором цитрата натрия, 0,I35%-м раствором оксалата натрия, 0,25 и 0,5%-м растворами ЭДТА не оказывает необратимого воздействия на величину заряда клеточной поверхности, следовательно при электрокинетических измерениях эти вещества в данных концентрациях могут быть использованы в качестве антикоагулянтов. При длительной работе с клетками крови ЭФП эритроцитов уменьшается [I2]. С целью воспроизведения результатов из-

мерений ЭФП клеток крови их неоднократно "отмывают" центрифугированием и затем помещают в известный буфер. Эти методичеокие процедуры могут изменить поверхность клеток и тоже исказить результаты измерений. Так, ЭФП эритроцитов, отмытых 0,85%-м раствором хлористого натрия, увеличивается [13], однако они гибнут быстрее (особенно пятикратно отмытые эритроциты), чем в плазме крови.

В последние годы было опубликовано несколько новых способов и устройств по изучению электрокинетических характеристик клеток и использованию этих характеристик для препаративного разделения.

В работах [14,15] для измерения ЭФП эритроцитов использован метод флуоресцентных зондов, который заключается в одновременной регистрации объема клеток и интенсивности флуоресценции после добавления в суспензию поликатионов, окрашенных флуоресцеин-изотиоцианатом. Оказалось, что средняя интенсивность флуоресценции в I мкм^2 поверхности клетки пропорциональна ЭФП эритроцитов и является мерой плотноти поверхностных отрицательных зарядов клетки. С целью изучения распределения плотности поверхностных отрицательных зарядов в работе [16] использован метод микрофотографий, полученных с помощью электронной микроскопии. Для увеличения разницы в ЭФП отдельных групп клеток в гетерогенной суопензии поверхность клеток модифицируют путем добавления в суспензию микросфер [17]. Для получения узкоспецифичеокой модификации только одного вида клеток микросферы предварительно иммунологически сеноибилизируют, т.е. намного увеличивают их сродство с клетками определенного вида. После такой обработки авторам удалось электрофоретически разделить два вида эритроцитов (человеческие и индюшиные), которые до обработки имели близкие значения ЭФП.

Интересен метод выделения эритроцитов из цельной крови путем использования магнитного поля [18]. Сущность его заключается в том, что при пропускании цельной крови через фильтр (проволочную сетку, помещенную между полюсами магнита) при определенных скоростях протока и напряженности МП все эритроциты задерживаются, а лейкоциты и тромбоциты проходят через сетку. Однако живые и неживые лимфоциты переферической крови в неоднородном поле ведут себя по-разному - живые выталкиваются из области сильного МП, а неживые перемещаются по градиенту его напряженности [19]. Исходя из этого, методика выделения эритроцитов магнитным путем нуждается в некотором уточнении.

Измерение ЭФП клеток находит в настоящее время применение при изучении нормальных и патологических изменений в организме при различных внешних воздействиях и заболеваниях: иммунологических, онкологических, сердечно-сосудистых и др. [20-24].

В иммунологических и гистологических исследованиях на клетках животных использовался проточный электрофорез [22]. Значительная часть работ [21, 25] посвящена клиническому использованию клеточного электрофореза в онкологии. Отмечено изменение ЭФП тромбоцитов в начальной

стадии инфаркта миокарда и при артериальном тромбозе в ограниченный период времени (для инфаркта - в течение 10 час, для тромбоза - в течение 24 час) [26]. Дальнейшее изменение ЭФП проследить не удалось, так как использование в лечебной практике антикоагулянтов (в особенности гепарина) приводит к восстановлению нормального значения ЭФП. Стрессовые состояния снижают ЭФП, что в значительной степени сказывается на повышении агглютинации форменных элементов крови [27]. Любые неблагоприятные воздействия на эритроциты ведут к разрушению менее стойких стареющих эритроцитов, обладающих меньшим зарядом. Установлено [28, 29], что старение эритроцитов связано с увеличением положительно заряженных групп на мембране. Исследование раопределения эритроцитов по фракциям при препаративном разделении проточным электрофорезом крови больных пароксимальной ночной гемоглобинурией и гипопластической анемией показали, что среднее значение ЭФП эритроцитов у больных ниже, чем у здоровых [30].

Обширную информацию о электрофизических свойствах клеток дают методы диэлектрической спектроскопии, предназначенные для измерения диэлектрической проницаемости и удельной электропроводности клеток. В частности, изучение частотной зависимости этих электрических параметров позволяет определить свойства клеточных мембран и цитоплазмы в нативном состоянии [31,32].

Наиболее широкое применение при измерении диэлектрических харакретистик суспензий нашли мостовые методы [33]. Следует отметить, что мосты с индуктивно связанными плечами (трансформаторные мосты) обеспечивают более высокую чувствительность и простую защиту от паразитных связей [34]. Основная трудность при мостовых измерениях в мегагерцовом диапазоне заключается в выборе образцовой меры активных сопротивлений, так как на этих частотах необходимо использовать безреактивные резиторы с минимальными значениями паразитных емкостей и сложную кинематическую схему переключения. Одним из авторов обзора уравновешивание моста по активной составляющей проводилось путем изменения электропроводноти жидкости в ячейке, включенной в эталонное плечо моота. В мегагерцовом диапазоне чаотот применяют также методы, основанные на использовании резонансных контуров. В качестве примера можно привести методы коммутируемого [35] и регенерированного [36] контуров. Применяют также метод синхронного детектирования [37], который позволяет выделить активную и реактивную составляющие сигнала, несущего информацию о параметрах объекта. Подробное описание различных измерительных ячеек для диэлектрических измерений дано в обзоре [38]. Различные аспекты интерпретации диэлектрических измерений обобщены в монографии [39].

Применение диэлектрической спектроскопии в медицине определяется возможностью исследования с ее помощью клеточной проницаемости, содержания и подвижноти белков, патологических процессов в органах и тканях, а также действия на ткани повреждающих факторов [4, 27, 31, 40,

41/. Однако, несмотря на большие потенциальные возможности метода диэлектрической спектроскопии, он все еще не нашел широкого применения на практике вследствие отсутствия специальной аппаратуры и неоднозначности интерпретации результатов измерений. За последние годы появился ряд работ, содержащих анализ результатов диэлектрических измерений на основе рассмотрения многооболочечной электрофоретической модели клетки /42/. Дальнейшее развитие данного направления повысит значимость диэлектрических измерений в научных и прикладных исследованиях.

В работах /43/ в широком диапазоне частот от 30 Гц до 30 мГц исследована частотная дисперсия диэлектрической проницаемости и электропроводности крови и показаны возможности практического применения диэлектрической спектроскопии в медицине. Анализ данных, полученных авторами указанных выше работ, позволил сделать вывод о том, что дисперсия диэлектрических параметров крови в радиодиапазоне хорошо объясняется мембранной моделью /44-47/, оонованной на теории Максвелла-Вагнера. Различного рода отклонения в диэлектрических опектрах от нормы, наблюдающиеся при различных воздействиях на кровь, объяснены в рамках этой модели либо изменением проницаемости клеточной мембраны (изменение удельной электропроводности при постоянной диэлектрической проницаемости), либо агрегированием клеток (изменение диэлектрической проницаемости при постоянной удельной электропроводности). Исследование диэлектрических спектров крови больных пернициозной анемией и полицитемией показало, что они отличаются от спектров нормальных клеток /48/. При анемии диэлектрическая проницаемость крови меньше, а удельная электропроводность больше нормальных значений. При полицитемии диэлектрическая проницаемость больше или равна норме, а удельная электропроводность гораздо меньше нормы. В целом авторы пришли к выводу, что диэлектрическая спектроскопия обеспечивает количеотвенную диагностику некоторых параметров крови и позволяет исследовать как субмолекулярные (проницаемость мембран), так и молекулярные (дипольная поляризация белков) и надмолекулярные (образование сгустков) структурные процесоы в крови.

Частотная дисперсия электрических свойств клеток может также иоследоваться путем изучения электроориентации и диэлектрофореза клеток, обусловленных взаимодействием электрического дипольного момента клеток с внешним электрическим полем. Действие ЭП заданной частоты приводит к ориентации продольной оси асимметричных клеток вдоль или поперек силовых линий поля (электроориентация), а также к направленному пере - мещению клеток в неоднородном ЭП и их осаждению на электродах (диэлектрофорез). Индуцированный дипольный момент суспензионных частиц, в том числе клеток,- новая и пока что недостаточно исследованная электроповерхностная характеристика частиц, важность изучения которой показана в работах /49-51/. Обычно рассчитывают не сам дипольный момент

клеток, а их электрическую поляризуемость, равную отношению дипольного момента к напряженности ЭП.

Ориентация клеток асимметричной формы в ЭП приводит к возникновению ряда электрооптических явлений, обусловленных оптической анизотропией суспензии ориентированных клеток. На основе этих явлений разработаны электрооптические методы анализа электрических и геометричеоких свойств клеток путем измерения светорассеяния, двулучепреломления или дихроизма клеточных суспензий [49]. При электрооптическом исследовании клеток непосредственно измеренным параметром является величина электрооптического эффекта α, которую характеризуют безразмерным отношением [50]:

$$\alpha = \frac{A_E - A_o}{A_o},$$

где A_0, A_E – оптическое свойство суспензии в отсутствие и при наложении электрического поля.

В общем виде зависимость электрооптического эффекта от параметров клеток, поля и среды выражается соотношением

$$\alpha = \alpha_\infty F(p, \gamma, E, T),$$

где α_∞ – эффект при полной ориентации клеток, зависящий от их геометрических и оптических параметров; F – функция, характеризующая зависимость эффекта от постоянного дипольного момента клеток p, от их электрической поляризуемости γ, напряженности электрического поля E и абсолютной температуры среды T; эта функция стремится к I при увеличении E. Подробный анализ функции F для различных электрооптических эффектов и ее связь о функцией распределения клеток по ориентациям выполнен в работах [49, 50].

К основным электрическим свойствам клеток, определяемым электрооптическими методами, относятся электричеокая поляризуемость и постоянный дипольный момент.

Существует несколько независимых способов определения электрической поляризуемости клеток на основе электрооптических измерений.

I. Метод сравнения экспериментальной зависимости электрооптического эффекта от квадрата напряженности приложенного ЭП с теоретическими кривыми этой зависимости, вычисленными при различных отношениях постоянного и индуцированного моментов [52].

2. Метод с использованием нестационарных электрооптических эффектов. Используется два варианта измерений [50]. В первом из них определяют начальный наклон кривой нарастания эффекта и соотношение площадей, ограниченных кривыми нарастания и спада; во втором определяется минимальное значение напряженности ЭП, при котором нарушается начальная линейная зависимость. Приравняв энергию ориентации к энергии теплового движения, можно найти приближенное значение электрического момента.

3. Метод исследования частотной зависимости электрооптических эффектов, позволяющий различить постоянные и индуцированные дипольные моменты клеток. При этом используется тот факт, что клетки не могут ориен-

тироваться под действием поотоянного момента, при частоте поля во много раз больше собственной частоты вращения клеток они не будут следовать за изменением поля [50].

Наиболее часто используют комбинацию первого и третьего из упомянутых выше методов. А именно: по начальному линейному участку зависимости электрооптического эффекта от квадрата напряженности электрического поля на частотах, где вклад постоянного момента равен нулю, определяют поляризуемость частиц по формуле [53]:

$$\gamma = \frac{4J_0}{F(k)} \qquad kT\left(\frac{\Delta\alpha}{\Delta E^2}\right)_0^{\nu=\nu_i},$$

где $J_0 = \frac{\sin(2k)}{k} - \left(\frac{\sin k}{k}\right)^2$; $F(k) = \frac{J_0}{3} + \frac{\sin 2k}{4k^3} - \frac{1}{2k^2}$

$$k = k'l\sin(\theta/2); \quad k' = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad \sin x = \int_0^x \frac{\sin t}{t}\,dt$$

l – длина клетки, апроксимируемой цилиндром, ν_i – частота поля, на которой измеряется эффект, λ – длина волны света в растворе; θ – угол наблюдения светорасоеяния; $(\Delta\alpha/\Delta E^2)^{\nu_i}$ – наклон кривой при $E \to 0$ и частоте ν_i ; k – постоянная Больцмана.

Вопрос о наличии у суспензионных частиц постоянного дипольного момента можно считать решенным только для частиц малого размера (несколько сот ангстрем, например, белковые молекулы). Для таких больших частиц как клетки данные о постоянном моменте весьма противоречивы. Поэтому авторы работы [49] делают вывод о том, что к изучению постоянного дипольного момента можно приступать только поле накопления достаточной информации об электрической поляризуемости частиц, так как только ее можно измерять в чистом виде.

В настоящее время нет определенного мнения относительно того, в каком виде использовать электрическую поляризуемоть как параметр, характеризующий клетку. Предлагается [49] ввести понятие электрической поляризуемости на единицу длины, на единицу поверхности клетки или использовать некоторую функцию, которая зависит от соотношения осей клетки. В качестве другой возможности оценки свойств клетки предлагается вычислять электрический заряд [49] или эффективные диэлектрическую проницаемость и удельную электропроводность клеток [54–57] по их поляризуемости.

Электроориентацию и диэлектрофорез таких крупных частиц, как клетки, можно изучать путем наблюдения под микроскопом за поведением клеток в поле [4, 57].

В турбодиметрической методике регистрации электроориентации и диалектрического осаждения клеток [4] объединяются четыре существовавших ранее независимо друг от друга направления исследований электрических

свойств клеток: изучение электроориентации, диэлектрофореза, электрооптических и диэлектрических свойств клеток – в одно направление, обеспечивающее более полную биофизическую информацию о клетках с перспективой быстрого и надежного контроля их электрических параметров.

Для реализации турбодиметрического метода используется измерительная ячейка /58/. Эффекты электроориентации и диэлектрофоретического осаждения клеток оцениваются по величине относительного изменения оптической плотности суспензии. Надежное различие этих эффектов, когда первый из них вызывает увеличение, а второй – уменьшение оптической плотности суспензии, достигается путем пропускания светового пучка ортогонально плоскости решетчатых электродов ячейки. Разделение этих эффектов во времени достигается соответствующим выбором величины прикладываемого к электродам напряжения. Пути оптимизации электродной системы и геометрии измерительной ячейки рассматриваются в работе /59/. Наибольший практический интерес представляет исследование частотной зависимости электроориентационного и диэлектрофоретического спектров (см. т. 2, гл. П, п. 2.4).

В ряде случаев для надежной регистрации электроориентации возникает необходимость использовать высокие концентрации клеток в суспензии и повышенные напряженности ЭП, например при измерении клеток с малой асимметрией формы и низкой величиной электрической поляризуемости. При этом необходимо учитывать, что эти меры могут привести к изменению процесса ориентации клеток в поле. С ростом концентрации суспензии уменьшается расстояние между клетками и наблюдается усиление взаимного влияния наведенных электрических дипольных моментов клеток друг на друга и, как следствие, увеличение цепеобразования и агрегации клеток /60/. Увеличение напряженности ЭП может привести к изменению формы клеток /61/, проницаемости цитоплазматической мембраны /62/, а в случае применения неоднородного ЭП к наложению эффектов диэлектрофоретического осаждения и электроориентации при их регистрации турбидиметрическим методом (т. 2, гл. П, п. 2.4). Использование способа регистрации электроориентации, основной особенностью которого является одновременное определение изменений оптической плотности суспензии при двух взаимноперпендикулярных по отношению к направлению светового пучка ориентациях клеток в неоднородном ЭП, позволяет избежать отмеченных выше нежелательных эффектов. Для этой цели применяют двухлучевой фотометр и две измерительные ячейки, конструкция которых аналогична описанной выше. Подключение электродной системы ячеек к генератору осуществляется таким образом, что в одной ячейке силовые линии ЭП направлены вдоль светового потока, а в другой – поперек направления светового потока. Когда в первой ячейке происходит продольная по отношению к направлению света ориентация клеток, что вызывает увеличение потерь световой энергии и повышение оптической плотности суспензии, во второй ячейке наблюдается поперечная ориентация клеток и уменьшение оптической плотности суспен-

зии. В результате алгебраического суммирования сигналов от фотоприемников получают вдвое больший сигнал, чем при использовании одной измерительной ячейки. При этом значительно увеличивается отношение сигнала к шуму, обусловленного флуктуацией интеноивности источника света, а также происходит компенсация влияния на измерения диалектрофоретического осаждения клеток из-за однонаправленности соответствующих ему изменений оптической плотности в обеих ячейках. Увеличение точноти, чувствительности и информативности электроориентационных измерений с применением двухлучевого турбидиметрического метода регистрации позволят проводить исследования при низких концентрациях клеток в суспензии и при меньшем эффективном напряжении на электродах ячейки.

Следует отметить, что при исследовании электроориентации и диалектрофореза клеток иопользуются среды с достаточно низкой электропроводностью (менее 0,I См·м$^{-I}$). Дело в том, что при малой электропроводности не только уменьшается выделение джоулева тепла и влияние поляризации электродов, факторов вызывающих нежелательное конвекционное движение жидкости в объеме измерительной ячейки, но и обеспечивается достижение большей электрической поляризуемости клеток, так как значительная ее часть имеет межфазную природу и уменьшается с ростом электропроводности.

Таким образом,на основании приведенных выше данных по исследованию электрофоретической подвижности, диалектрической проницаемости, удельной электропроводности и электрической поляризуемости клеток крови с применением различных методов измерения можно сделать вывод о том, что исследование электрических характеристик клеток представляет большой общебиологический и практический интерес для изучения общих закономерностей функционирования организма, диагностики заболеваний, эффективности медикаментозного лечения. Исследование электрокинетических свойств клеток крови находит в настоящее время широкое применение при изучении нормальных и патологических изменений в организме. В последние годы интенсивно развиваются новые подходы к изучению и интерпретации результатов электрофизических измерений на основе диалектрических и оптических методов. Первые результаты по их практическому применению для медицинских целей свидетельствуют о большой перспективности этих методов для изучения структуры и физиологического состояния клеток.

Литература

I. Свенсон К., Уэбстер П. Клетка. М.: Мир, I980. 303 с.

2. Зингбуш П. Молекулярная и клеточная биология. М.: Мир, I982, т. 2. 438 с.

3. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск: Беларусь, I974. I44 с.

4. Мирошников А.И., Фомченков В.М., Габуев И.С., Чеканов В.А. Разделение клеточных суспензий. М.: Наука, I977. I68 с.

5. Methods of cell separation. Ed. Catsimpoolas N., Plenum Press, vol. 1, 1977, p. 376; vol. 2, 1979, p. 316; vol. 3, 1980, p. 203.
6. Мирошников А.И., Фомченков В.М., Иванов А.Ю. Метод и аппаратура электрофореза в свободном потоке. - В кн.: Методы фракционирования ядерных клеток крови и костного мозга. М.: Труды института гематологии и переливания крови, 1980, с. 34-63.
7. Uzgiris E.E. Laser Doppler methods in electrophoresis. - Progr. Surface Sci., 1981, v. 10, p. 52-164.
8. Иванов А.Ю., Габуев И.С., Мирошников А.И., Чеканов В.А. Уотановка для измерения электрофоретической подвижности клеток. - Проблемы гематологии и переливания крови, 1979, № 3, с. 52-55.
9. Shimizu M., Jwaguchi T., Kikutani N., Motomiya T., Yamazaki H. A new automatic methods for measuring cell electrophoretic mobility. - Proc. Japan Acad. 1979, v. 55B, p. 418-423.
10. Шеппе Г., Шютт В., Унгер Р. Результаты испытаний автоматизированного микроскопа для электрофореза частиц "Пармоквант". - Йенское обозрение, 1978, № 5/6, с. 232-235.
11. Темнов А.В., Мирошников А.И., Тищенко В.В. Влияние антикоагулянтов на электрокинетические характеристики клеток. - Проблемы гематологии и переливания крови, 1982, № 1, с. 29-34.
12. Streif F., Stoltz J.F., Vigneron C. Rev. Faraday Soc., 1971, v. 14, p. 335-339.
13. Larcan A., Stoltz J.F. Biorheology, 1973, v. 10, p. 189-205.
14. Valet G., Bamberger S., Hofman H. Flay cytometry as a new method for the measurement of electrophoretic mobility of erythrocytes using membrane charge staining by fluoresceinated polycation. - J.Histochem. and Cytochem., 1979, v. 27, p. 342-349.
15. Морозова Г.И., Добрецов Г.Е. Регистрация изменения поверхн стного заряда эритроцитов и модельных мембран с помощью флуоресцентного зонда. - Биофизика, 1982, т. 26, вып. 2, с. 329-330.
16. Clark L.J., Chen L.S., Poward D.R., Baker R.F. Negative charge distribution and density on the surface of oxygenated normal and sickle red cells. - Blood, 1981, v. 57, p. 675-678.
17. Rembaum A., Dreyer W.J. Immunomicrospheres: reagents for cell labeling and separation. - Soience, 1980, v. 208, p. 364-368.
18. Paul F., Roath S., Melvill D. Differential blood separation using a high gradient magnetic field. - Brit.J.Hematol., 1978, v. 38, p. 273-280.
19. Плявинь Ю.А., Блум Э.Я., Яворковский Л.И., Медина И.Ф., Озоль Р.Я. Магнитные свойства и магнитная седиментация лимфоцитов. - В кн.: Лейкозология. Рига: Зинатне, 1979, с. 50-54.
20. Чижевский А.Л. Электричеокие и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1975. 93 с.
21. Sherbet G.V. The biophysical characterization of the cell surface. Academic Press, 1978. 287 p.

22. Козинец Г.И., Шишков В.П., Борзова Л.В., Макаров А.А., Агранеико Л.В. Клеточный электрофорез - его теоретическое и практическое значение. - Проблемы гематологии и переливания крови, 1979, т. 24, № 2, с. 40-44.
23. Трешинский А.И., Мицук И.И. Электрические свойства крови. - Анестезиология и реаниматология, 1981, № 4, с. 17-21.
24. Левтов В.А., Регирер С.А., Шадрина Н.Х. Реология крови. М.: Медицина, 1982. 270 с.
25. Йенсен Г.Л. К вопрооу об ссновах и значении измерения ЭФП в диагностике злскачественных опухолей. - Йенское обозрение, 1978, № 5/6, с. 236-240.
26. Larcan A., Stoltz G.F., Voiry A.M. Problemes de Reanimation. - SPEJ, Paris, 1971, v. 1, p. 911-918.
27. Губанов Н.И., Утепбергенсв А.А. Медицинская биофизика. М.: Медицина, 1978. 335 с.
28. Крылов А.А. Клинико-экспериментальные материалы... -Патологичеокая физиология и экспериментальная терапия, 1962, № 2, с.46,- 50.
29. Nordth F.J., Knox R.J., Seamen G.V.F. Red cell aging. 2. Anomalous electrophoretic properties of neuraminidase treated human erythrocytes. - J.Cell.Physiol., 1978, v. 97, p. 209-220.
30. Козинец Г.И., Борзсва Л.В., Ковнер В.Я., Быкова И.А., Кульман Р.А., Михайлова Е.А., Трубина Н.С. Препаративное разделение эритроцитов крови больных пароксизмальной ночной гемоглобинурией и гипопластической анемией. - Лаб. дело, 1981, № 10, с. 595-598.
31. Шван Г. Электроскопия биологических веществ в поле переменного тока. - В кн.: Электроника и кибернетика в биологии и медицине. М.: Изд-во иностр. лит., 1963, с. 71- 108.
32. Carstensen E.L., Marquis R.E. Dielectric and electrochemical properties of bacterial cells. - Spores, 1975, v. 6, p. 563-571.
33. Эпштейн С.Л. Измерение характеристик конденсаторов. М.: Энергия, 1965. 236 о.
34. Гриневич Ф.Б., Грохольский А.А., Соболевский К.Н., Цаценко М.П. Трансформаторные измерительные мосты. М.: Энергия, 1970. 150 с.
35. Александров Ю.А., Барабансв Н.Н., Селиветстова В.М. Уотановка для измерения диалектрической проницаемости ореД с большой электропроводностью. - Заводская лаборатория, 1974, № 3, о. 279-280.
36. Михайленко А.А. Повышение точнооти измерений резонаноным методом диалектрической проницаемости веществ обладающих большой проводимоотью. - Измерительная техника, 1974, № 8, с. 50-53.
37. Полянский А.С., Машников Л.Б., Гальперин Л.Н. Автоматический диалектрический спектрометр. - Приборы и техника экоперимента, 1976, № 1, с. 130-135.
38. Бондаренко Н.П. Измерительные ячейки для исследования электрических свсйств жидких диалектриков. - Тр. Ленингр. политехн. ин-та им. М.И.Калинина, 1966, № 276, с. 70-77.

39. Челидзе Т.Л., Деревянко А.И., Куриленко О.Д. Электрическая спектроскопия гетерогенных систем. Киев: Наукова думка, 1977. 230 с.
40. Седунов Б.И., Фрак-Каменецкий Д.А. Диэлектрическая проницаемость биологических объектов. – Успехи физических наук, 1963, № 4, с. 617-639.
41. Андреев В.С. Кондуктометрические методы и приборы в биологии и медицине. М.: Медицина, 1973. 335 с.
42. Asami K., Hanai T., Koizumi N. Dielectric analysis of E.coli suspensions in the light of the theory of interfacial polarizability. – Biophys.J., 1980, v. 31, p. 215-228.
43. Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.Е., Чхаидзе В.Т. Диэлектрическая спектроскопия крови. I. Диэлектрические спектры нормальной крови человека. – Биофизика, 1973, т. 18, с. 932-935. 2. К расчету емкости мембран эритроцитов человека по диэлектрическим спектрам крови. Там же, с. 868-872.
44. Челидзе Т.Л. Диэлектрическая спектроскопия крови. 3. Диэлектрические спектры эритроцитов в интервале 15-75°С и замечания о температурном оптимуме гомеостаза. – Биофизика, 1974, т. 19, с. 96-99.
45. Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.Е. Диэлектрическая спектроскопия крови. 4. Диэлектрические спектры крови при физико-химических воздействиях. – Биофизика, 1974, т. 19, с. 479-483. 5. О механизме диэлектрической поляризуемости крови в области бета-дисперсии. Там же, с. 859-862.
46. Челидзе Т.Л. К механизму альфа-дисперсии диэлектрической проницаемости крови. – Биофизика, 1974, т. 19, с. 1100-1101.
47. Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.Е., Яковлев И.Л., Кикнадзе Т.А. Электропроводность цитоплазмы эритроцитов. – Биофизика, 1980, т. 25, с. 1023-1026.
48. Яковлев И.Л., Челидзе Т.Л., Кикнадзе В.Д., Кевлишвили Г.К., Макалатия Ц.С. Электрические свойства крови при пернициозной анемии и полицитемии. – В кн.: Материалы 27 научной сессии Грузинского НИИ гематологии и переливания крови. Тбилиси, 1975, с. 405-407.
49. Стоилов С., Шилов В.Н., Духин С.С., Сокеров С., Петканчин В. Электрооптика коллоидов. Киев: Наукова думка, 1977. 200 с.
50. Stoylov S.P. Colloid electrooptics: electrically induced optical phenomena in disperse systems. – Adv.Coll.Interf.Sci., 1971, v. 3, p. 45-110.
51. Jennings B.R., Morris V.J. Light soattering by bacteria. 2. Size and electrical properties of E.coli. – J.Coll.Int.Sci., 1974, v. 49, p. 89-97.
52. Yoshioka K., Watanabe H. Dielectric properties of proteins. 2. Electric birefringence and diohroism. – Physical Principles and Techniques of Protein Chemistry. New York: Acad. Press, 1969, 367 p.
53. Wippler C. Diffusion de la lumiere des solutions macromoleculaires. – J.Chim.Phys., 1956, v. 53, p. 328-345.

54. Овчаренко Ф.Д., Маляренко В.В., Шилов В.Н. Исследование электропроводности и электроориентации коллоидных частиц. – Коллоидн. ж., 1977, т. 39, с. 73–79.
55. Фомченков В.М., Денесик А.И. Теоретическая модель высокочастотной релаксации электроориентации бактериальных клеток. – Электронная обработка материалов, 1980, № 2, с. 65–70.
56. Фомченков В.М., Мазанов А.Л., Брезгунов В.Н. Влияние дисперсии электрических параметров клеток на их ориентацию в переменном электрическом поле. – Биофизика, 1982, № 4, с. 665–669.
57. Pohl H.A. Dielectrophoresis: The behavior of neutral matter in nonuniform electric fields. London: Cambr. Univers. Press, 1978. 579 p.
58. Фомченков В.М., Мирошников А.И., Иванов А.Ю., Кувшинникова В.В. Диалектрическое поведение клеточных суспензий. – Электронная обработка материалов, 1975, № 2, с. 60–65.
59. Фомченков В.М., Мирошников А.И. Ячейки для исследования электроориентации и диалектофореза клеток. – Электронная обработка материалов, 1979, № 4, с. 91–93.
60. Schmidt K.P., Glaser B., Pescheck C., Krause G. Die kettenbildung skinetik als messparameter fur die dielektrophorese von zellen. – Studia biophysica, 1979, v. 75, p. 81–91.
61. Friend A.W., Finck D., Schwan H.P. Low frequency electric field induced in the shape and motility of amoebas. – Science, 1975, v. 187, 357–9.
62. Zimmermann U., Schewrich P., Pilwat G., Banz R. Zellen mit manipulierten funktionen neuen perspektiven fur zellbiologie. – Angev. Chem., 1981, v. 93, p. 332–351.

5. Электрические свойства клетки как индикатор патологического состояния организма

Известно, что количественное и качественное изменения в системе белков, полисахаридов плазмы крови оказывают влияние на электрический заряд клеток при различных заболеваниях [1]. В частности, с использованием метода электрофореза [1] и метода выявления ореолообразующих клеток (ООК) [2] открываются новые широкие возможности для быстрого в течение нескольких секунд, обнаружения опухолевых клеток в кровеносном русле, а также для определения ранней иммунологической перестройки в организме [3] по числу ООК в периферической крови. Ореол – пространство, свободное от различных фоновых частиц, в центре которого находится ООК (рис. 52а), а на расстоянии до 100 мкм в радиусе располагаются фоновые частицы (эритроциты, дрожжевые клетки, частицы туши). Способ обнаружения ООК основан на изменении электрических свойств поверхности плазматической мембраны. Предполагается, что ореолы образуются следующим образом. Живая клетка имеет на своей поверхности электрический за-

ряд. При добавлении в среду инкубации (физиологический раствор или плазму крови) больших концентраций анионов и катионов, часть свободной воды выходит из клетки, а ионы входят в нее по законам диффузии. В результате создается градиент концентрации около клетки. Согласно теории диффузиофореза [4] заданный извне градиент концентрации электролита влечет за собой поляризацию двойного электрического слоя (ДС) на поверхности клетки. Возникает диффузиофорез, т.е. движение взвешенных частиц под влиянием заданного градиента концентрации раствора. Диффузиофорез - явление, симметричное электрофорезу, вызывается градиентом электрического потенциала на поверхности коллоидной частицы или клетки индуцированного градиентом его концентрации ионов во всем объеме раствора. Диффузиофорез клеток обусловливается поляризацией ДС на наружной стороне клеточной мембраны под влиянием градиента концентрации ионов. Задаваемый извне градиент концентрации обусловливает перепад концентрации ионов в объеме. А поскольку между ДС и объемом раствора, прилежащем к внешней границе ДС, сохраняется равновесие, ДС перестраивается соответственно заданному распределению концентрации ионов вдоль его внешней границы. В поляризованном подобным образом ДС возникает, во-первых, перепад давления вдоль поверхности частицы, вызванный воздействием ее радиально-симметричного поля на заряд диффузной части ДС, изменяющегося вдоль поверхности частицы, и, во-вторых, тангенциальная составляющая электрического поля. Оба этих фактора, действующие и при электрофорезе, вовлекают ДС, а следовательно, и частицу в движение. Таким образом происходит отталкивание эритроцитов от центральной ООК.

Поляризация ДС на поверхности клетки зависит от электрических свойств биомолекул мембраны. Система, в которой происходит формирование ореола, является электрически активной и состоящей из клеток, которые несут поверхностный отрицательный заряд. ООК, имея повышенный электрический заряд, остается в центре, а остальные фоновые клетки располагаются по эквипотенциальным линиям. В эксперименте вопрос о взаимодействии заряженных клеток (ООК и фоновых) сложнее, так как нужно учитывать и взаимодействие эритроцитов друг с другом, и взаимодействие ООК с остальными клетками и влияние плотности клеточной суспензии, электрическое состояние гликокаликса (внешнего примембранного слоя) и межклеточной среды, в которой находятся электролит и органические вещества. Фоновые клетки могут удаляться диффузиофоретической силой от центральной ООК на расстояния более 100 мкм и удерживаться там в течение 5-6 дней, пока процесс разрушения эритроцитов не уменьшит концентрацию клеток и не разрушит тем самым структуру ореола.

Ореолы, образованные вокруг некоторых клеток, исследовались при помощи интерференционного микроскопа. В среде, состоящей из частиц туши и эритроцитов, ореол вокруг клетки представляет собой коллоидное образование, которое не пропускает к поверхности клетки частицы туши. При механической деформации (надавливание на стекло, под которым находятся

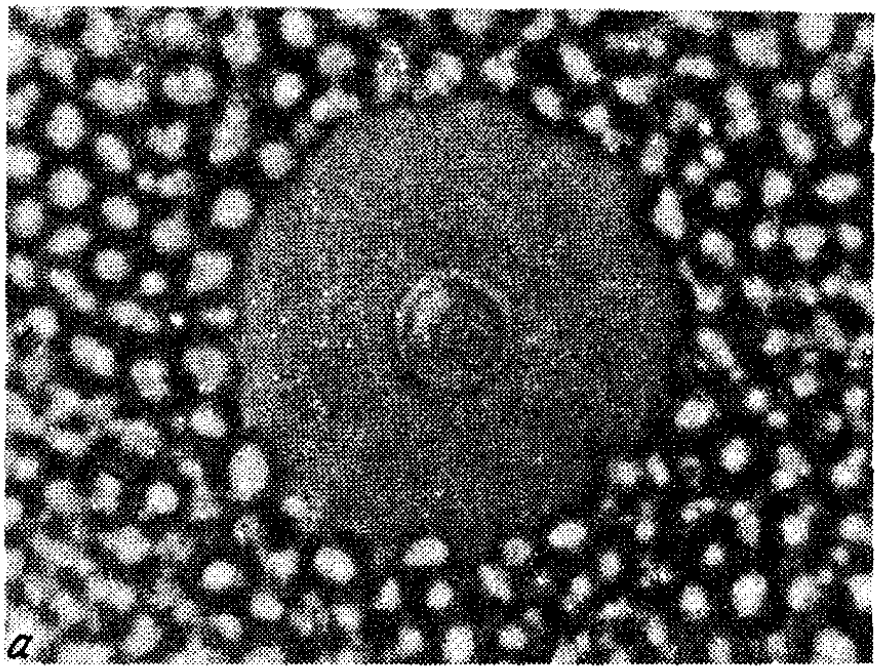


Рис. 52а. Ореол вокруг нормальной клетки крови

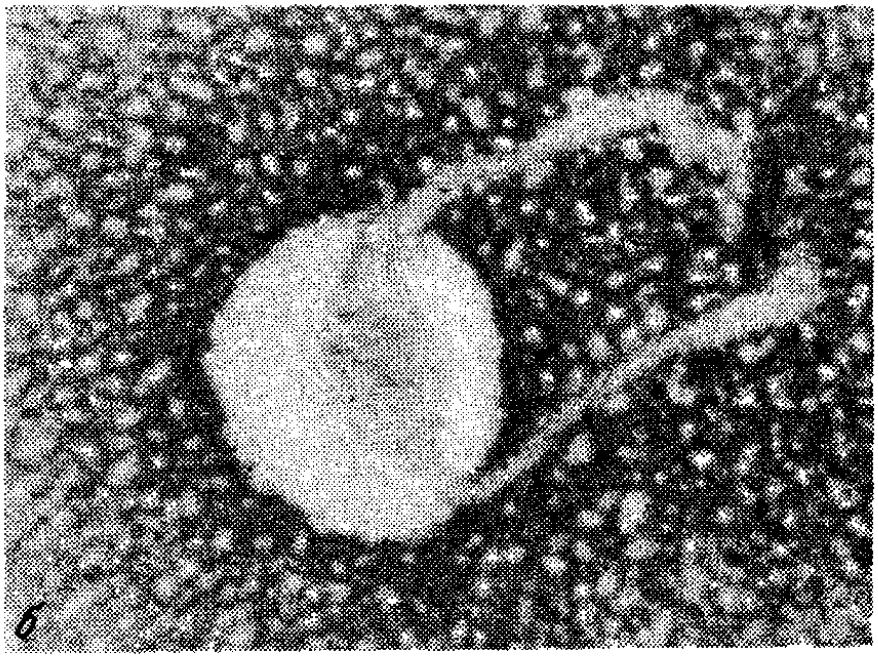


Рис. 52б. Ореол вокруг опухолевой клетки

ООК) в ореоле образуются складки, что видно по изменению коэффициента преломления. Частицы туши, находящиеся в броуновском движении, ударяются о границу ореола, не прилипая к нему. При механическом разрушении суспензии частицы туши, как и клетки, свободно огибают ореол, ограниченный частицами туши. Коллоидное состояние вещества может обратимо исчезать после устранения электролита. Во внешнем ЭП коллоид отстает от движущейся клетки, что подтверждает его электронейтральность. Наличие электрических сил при формировании ореолов вокруг некоторых клеток подтверждается тем, что в концентрированном растворе электролита клетки имеют на своей поверхности отрицательный электрический заряд, который у ООК в два раза выше, чем у клеток без ореола. Величина электрического заряда зависит от вида аниона, состояния клетки, от наличия набухшего гликокаликса (внешнего примембранного слоя клетки).

Для более тонкого понимания механизма образования ореолов необходи-

мо исследовать электрические свойства набухшего гликокаликса, поверхностей фонсвых клеток и ООК, а также электрические свойства той среды, в которой эта система находится.

Рассмотренный механизм образования ореолов определяется электрическими свойствами поверхности ООК. В свою очередь нахождение ореолосбразующих опухолевых клеток (рис. 52б) в крови свидетельствует о наличии опухолевого процесса в организме. Следует отметить, однако, что не все опухслевые клетки образуют ореолы. Число ореолосбразующих спухолевых клеток, например в летальной стадии у крыс может доходить до 90% по отношению к общему числу опухолевых клеток (исследовалась саркома, индуцированная канцерогенным веществом - диметилбензантраценом). Ореслы вокруг опухолевых клеток распределены неравномерно, что возможно связанс с процессом метастазирования.

Определение числа ООК в крови может характеризовать раннюю иммуно - логическую перестройку в больном организме /3/. Очевидно, в данном случае при контакте (механической или электрической природы) антигена с лейкоцитом электрические свойства молекул гликокаликса изменяются, в результате чего увеличивается электрический заряд и клетка обретает свойство формировать ореол. Это, в свою очередь, может свидетельство - вать о начале иммунологической перестройки в организме.

Таким образом, изменение электрических свойств клетки может быть использованс как индикатор патолсгического состояния организма в клинической практике.

Литература

I. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск; Беларусь, 1974. 144 с.
2. Голованов М.В., Дерягин Б.В. О силах отталкивания, исходящих от некоторых биологических клеток, помещенных в концентрированный раствор электролита. - Коллоид. журн., 1979, т. 41, № 4, с. 649-653.
3. Голованов М.В., Терещенко И.П. Динамика образования ореолобразующих клеток при некоторых патологических процессах. - Журн. микробиологии, эпидемиолсгии и иммунобиологии, 1981, № 2, с. 87-89.
4. Духин С.С., Дерягин Б.В. Электрофорез, М.; Наука, 1976, с. 328.

6. Скорость оседания эритроцитов в инфранизкочастотном магнитном после как тест для определения сосудистой патологии

Для решения задач профилактики и лечения сердечно-сосудистых заболеваний значительный интерес представляет изучение вопросов, связанных с реакцией системы крови на геомагнитное возмущение. Согласно данным медицинской статистики /I/, магнитные бури вызывают изменения показателей системы гемокоагуляции и создают предпосылки для тромботических и геморрагических осложнений при сердечно-сооудистых заболеваниях. Эти

выводы были подтверждены в опытах на животных, подвергавшихся воздействию искусственных МП малой напряженности в ИНЧ диапазоне /2/.

Метод моделирования геомагнитных возмущений является не только перспективным способом изучения физиологических механизмов действия этого фактора / 3/, но и позволяет использовать МП как тонкий инструмент исследования электромагнитных овойств крови, в частности при инфаркте миокарда. Последнее обстоятельство дало возможность получить принципиально новые факты о чувствительнооти крови этой категории больных к действию МП ИНЧ и приблизиться к пониманию природы воздейотвия.

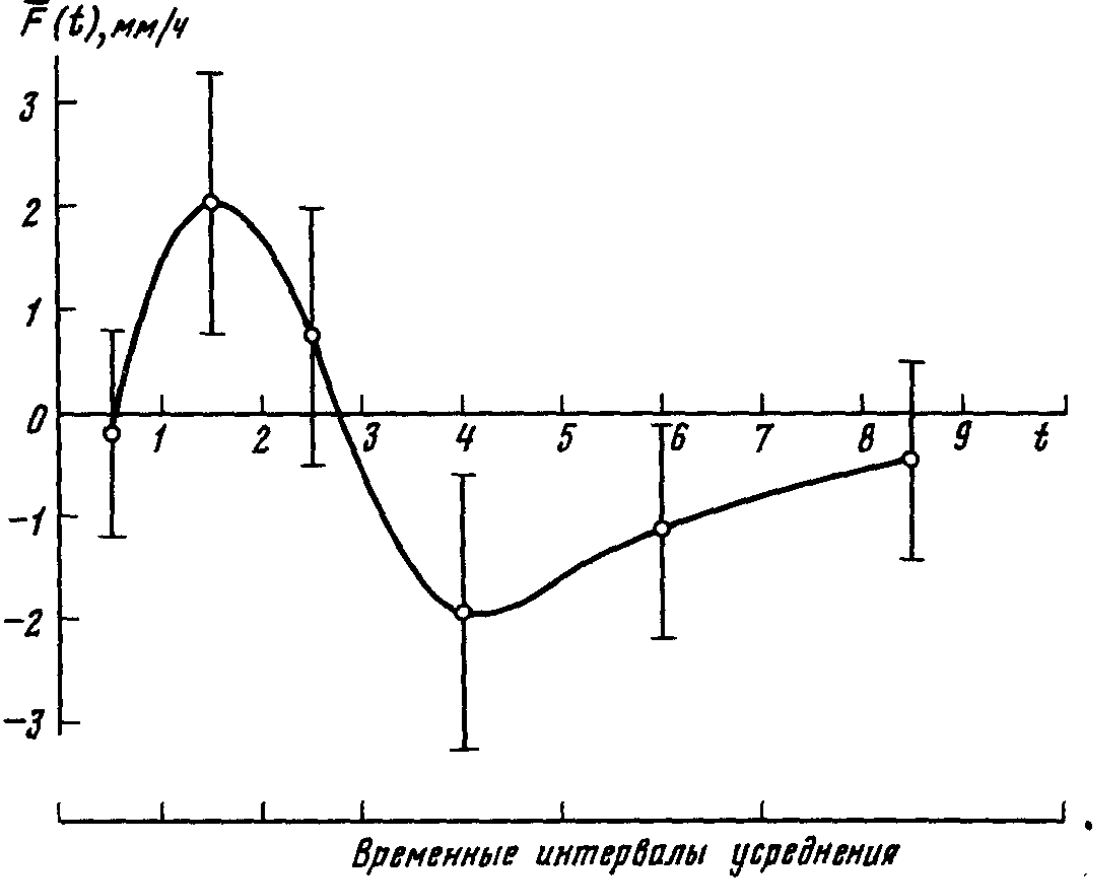
В качестве теста была использована широко применяемая в клинике характеристика состояния крови – скорость оседания зритроцитов (СОЭ), измеряемая общепринятым способом /4/. Исходная порция цитратной крови набиралась в два одинаковых капилляра, один из которых служил контролем и находился вне зоны действия МП, другой, при прочих равных условиях, – в однородном МП 30 мкТл, частотой 0,5 Гц, вектор которго был коллинеарен горизонтальной составляющей ГМП и перпендикулярен вектору силы тяжести. Различие в величинах СОЭ в опытном капилляре по сравнению с контрольным являлось мерой эффекта изменений крови под влиянием поля, т.е. служило простейшей индикацией реакции электромагнитных свойств крови на МП ИНЧ, поскольку при действии столь слабого по энергии МП роль механических сил можно исключить /5/.

Для повышения точности наблюдений капилляры тщательно идентифицировались, вводилиоь соответствующие поправки на начальный уровень крови в капилляре и на время установки капилляров в штативы, отрабатывались навыки перемешивания крови /6/. Эти меры обеспечивали снижение абсолютной погрешности наблюдений до величины менее 0,5 мм/ч.

В число обследованных лиц входило 253 больных с неосложненным течением мелкоочагового инфаркта миокарда в разных стадиях болезни и 27 доноров. Часть больных обследовалась неоднократно как в острой стадии болезни, так и по мере выздоровления, в стадии ремиссии.

Результаты опытов показали, что реакция СОЭ на действие поля не одинакова у здоровых и больных людей и существенно зависит от стадии болезни. СОЭ доноров в условиях опыта практически не изменялась: из 27 образцов крови только для 4 отмечалось незначительное, по сравнению с контролем, увеличение скорости. Изменение скорости седиментации крови у больных под влиянием МП ИНЧ было достоверно почти в 80% случаев, при этом знак и величина эффекта значительно варьировали – как у разных лиц, так и у одного лица по ходу течения болезни.

В одних опытных пробах наблюдалось достоверное ускорение процесса оседания, в других – замедление по сравнению с контрольным значением скорооти, причем абсолютная величина эффекта, независимо от знака изменения СОЭ в поле, для некоторых проб была значительной и достигала величины порядка 20 мм/ч /6/. Анализ полученных данных и сопоставление их со сроками от начала инфаркта миокарда для каждого конкретного боль-



Р и с. 53. Динамика изменения СОЭ при действии поля на кровь у больных с инфарктом миокарда на разных стадиях болезни в условиях in vitro

По оси абсцисс - недели ст начала заболевания и временные интервалы усреднения; по оси ординат - средние значения и доверительный интервал эффекта изменения СОЭ

ного показали, что в типичных случаях течения неосложненного мелкоочагового инфаркта миокарда характерно закономерное изменение знака и величины реакции СОЭ на МП на протяжении болезни.

В первые часы после поступления в клинику у большинотва больных отмечалось незначительное изменение СОЭ в МП при абсолютных значениях этого параметра порядка 10-20 мм/ч. По мере увеличения СОЭ до значения 30-40 мм/ч в течение первых 10 дней скорость оседания в МП достоверно увеличивалась. К концу третьей недели наблюдалось постепенное уменьшение этого эффекта, а к концу четвертой - знак изменения скорости СОЭ менялся на противоположный: седиментация крови в поле была достоверно замедлена по сравнению с контролем. Затем, по мере выздоровления, эффект уменьшался при сохранении знака. На седьмой-девятой неделе от начала заболевания СОЭ, как правило, не изменялось под дейотвием поля.

Статиотическая обработка данных для всего контингента больных с благоприятным исходом инфаркта миокарда подтвердила тенденцию изменения знака эффекта по стадиям болезни, описанную выше. Несмотря на большой разброс данных, который является закономерным следствием индивидуальных особенностей изменения свойств крови по ходу течения болезни у разных лиц, было показано (рис. 53), что эффект роста СОЭ в острой

стадии болезни достоверно отличается от эффекта замедления в стадии ремиссии. Подтвердился и тот факт, что СОЭ у выздоравливающих больных не чувствительна к МП ИНЧ, как и кровь доноров.

Показано, что корреляция наблюдаемого эффекта и значения СОЭ в контроле для всего цикла наблюдений отсутствуют. Это дает основание считать чувствительность СОЭ к действию МП ИНЧ относительно самостоятельной характеристикй состояния крови, что может иметь диагностическое значение. По нашим наблюдениям, фазный регуляторный характер изменения реакции СОЭ на МП – признак благоприятного течения и исхода болезни, что,по-видимому, может свидетельствовать об активном участии компенсаторных механизмов. При осложненных инфарктах миокарда, обследованных в специальной серии наблюдений (86 больных), динамика эффекта была иной и определялась либо устойчивостью первой фазы, т.е. ускорением у одних лиц, либо частой оменой фаз при малой амплитуде колебаний у других

Самостоятельный интерес представляет анализ самочувствия больных в моменты сильных геомагнитных возмущений, воздействовавших на организм в целом. Оказалось, что ухудшение состояния в эти периоды было наиболее четко выражено у больных в первую и третью недели от начала заболевания, т.е., по-видимому, в момент интенсивной перестройки работы регуляторных механизмов (см. рис. 53). Для больных, находившихся в других стадиях болезни, была характерна генерализация и усиление эффектов: градиенты изменения СОЭ, наблюдавшиеся в течение второй недели и в период ремиссии (4–8 недель), увеличивались, а разброс данных внутри групп существенно уменьшался.

Следует подчеркнуть, что чувствительноть крови к действию поля на целостный организм существенно выше, чем в условиях in vitro. Это доказывает сопоставление результатов статистических иоследований реакции СОЭ на геомагнитные возмущения у доноров и в опытах in vitro. Как отмечалось выше, СОЭ у доноров in vitro не изменяется под действием ИНЧ, тогда как воздействие на организм геомагнитной бури вызывает достоверные регуляторные изменения СОЭ на протяжении нескольких недель /7/. Эту закономерность подтвердили прямые опыты на здоровых животных, у которых наблюдалась аналогичная картина реакции СОЭ на МП in vitro и после экспозиции животных в МП ИНЧ /8/. Необходимо,однако, заметить, что СОЭ является относительно грубым тестом и поэтому отсутствие реакции СОЭ на слабые магнитные поля не может быть доотаточным для заключения о том, что кровь не реагирует на действие данного фактора. Оказалось, что при использовании более тонких биохимических методов исследования можно обнаружить достоверные изменения структуры сывороточных белков и мембраны эритроцитов крови здоровых животных в условиях in vitro /9/, хотя СОЭ при этом не претерпевала заметных изменений. Это обстоятельство свидетельствует также и о том, что механизм влияния МП ИНЧ на кровь очень сложен и связан с сдновременным воздействием поля как на беоклеточные структуры, так и на форменные элементы крови.

В целом полученные данные свидетельствуют о высокой биологической активности слабых МП ИНЧ диапазона и являются доказательством относительно более высокой чувствительности крови больных с инфарктом миокарда по сравнению со здоровыми людьми.

Результат исследования следует учитывать в профилактике и лечении инфаркта миокарда, используя их как вспомогательный диагностический тест и для изучения электромагнитных свойств крови и их физиологической роли, что, по-видимому, особенно важно в условиях патологических изменений в организме.

Литература

1. Рождественская Е.Д. Влияние гелиографических факторов на состояние гемокоагуляции и их значение в этиопатогенезе и прогнозировании тромботических и геморрагических осложнений при сердечно-сосудистых заболеваниях: Автореф. дис.... д-ра мед. наук. Свердловск: Мед. ин-т, 1973. 30 с.
2. Музалевская Н.И., Ларкина Т.А. Изменение состояния свертывающей и антисвертывающей систем крови у белых крыс при воздействии слабого переменного магнитного поля инфранизкого диапазона частот в опытах in vivo. - В кн.: Магнитное поле в медицине; Науч. тр. Киргиз. гос. мед. ин-та. Фрунзе, 1974, т. 100, с. 90.
3. Музалевская Н.И. Физиологические проявления действия магнитного поля малой напряженности в диапазоне сверхнизких частот: Автореф. дис.... канд. биологических наук. Л.: ЛГУ, 1978.
4. Бурчинский Г.И. Реакция оседания эритроцитов. Киев, 1962. 206 с.
5. Музалевская Н.И., Классен В.И. О характеристиках магнитного поля, определяющих изменение свойств некоторых водных систем. - Доклады АН СССР, 1976, т. 227, № 2, с. 391-393.
6. Музалевская Н.И., Шушков Г.Д. О влиянии слабого однородного магнитного поля инфранизкой частоты типа геомагнитного на реакцию оседания эритроцитов in vitro у больных с инфарктом миокарда. - В кн.: Реакция биологических систем на слабые магнитные поля. М.: Наука, 1971, с. 143-147.
7. Музалевская Н.И., Стражникова Н.П. Изменение реакции оседания эритроцитов у доноров при усилении солнечной активности в августе 1972 г. - Солнечные данные. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1973, № 8, с. 85-88.
8. Ахутин В.М., Музалевская Н.И. Влияние слабого ПеМП инфранизкого диапазона частот на РОЭ в опытах in vivo и in vitro. - В кн.: Влияние естественных и слабых искусственных магнитных полей на биологические объекты. Белгород, 1973, с. 57-58.
9. Павлова Р.Н., Музалевская Н.И., Соколовский В.В. Некоторые биохимические аспекты действия слабых низкочастотных магнитных полей. - В кн.: Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978, с. 47-58.

7. Влияние низкочастотного магнитного поля на репаративную регенерацию кости

Проблема восстановительных процессов кости при ее повреждении - одна из основных в современной травматологии и ортопедии. Изыскание средств регуляции репаративной регенерации кости с целью ее ускорения и сокращения сроков заживления является актуальной задачей теоретической и практической медицины.

В комплексном лечении переломов для ускорения их заживления используются различные физические факторы: ЭП УВЧ, электрофорез кальция и фосфора, индуктотермия и др. Но в ряде случаев их применение ограничивается различного рода противопоказаниями. Поэтому актуально исследование действия новых физичеоких факторов, способных влиять на процесс заживления поврежденной кости. В последнее время все большее распроотранение получает магнитотерапия. В литературе имеются сообщения о благоприятном действии постоянных МП различной напряженности на процесс заживления переломов /I-I2/. Влияние переменных МП на процессы репаративной регенерации изучено в меньшей степени. Имеются отдельные сообщения, касающиеся этого вопроса /I3-I8/.

Изучалось влияние низкочастотного магнитного поля с частотой 50 Гц и I0 мТл на процессы репаративной регенерации кости в эксперимснтальных и клиничеоких условиях. Эксперимент проведен на I60 кроликах породы Шиншила, из них 75 животных ссставили контрольную группу. Для оозданий сдинаковых условий на лучевой кости кролика наносилоя стандартный дефект путем выпиливания участка диафиза шириной 4 мм. Оценка эффективнооти процооа заживления осуществлялаоь клиническими тестами: наличие и выраженность отека, время его исчезновения, время заживления кожной раны; морфологическими методами: гистологическое исследсвание в сроки 5, 7, I4, 2I, 30 и 75 дней после операции, электронная микроскопия на 5-, 7- и I4-й день, телевизионная планиметрия (измерение суммарной площади фибро- и остеобластов в регенерате лучевой кости) через 5 и 7 дней после операции, которая позволила объективно определить степень пролиферативных процессов клеток; радиологичеокими методами: радиометрия и ауторадиография о остеотропным радионуклеотидом стронцием-85, которые дали возможность проследить динамику воостановления кровообращения и процессов минерализации регенерата, и рентгенологическим методом (рентгенография). Радиометрия проводилась на 7-й день после операции.

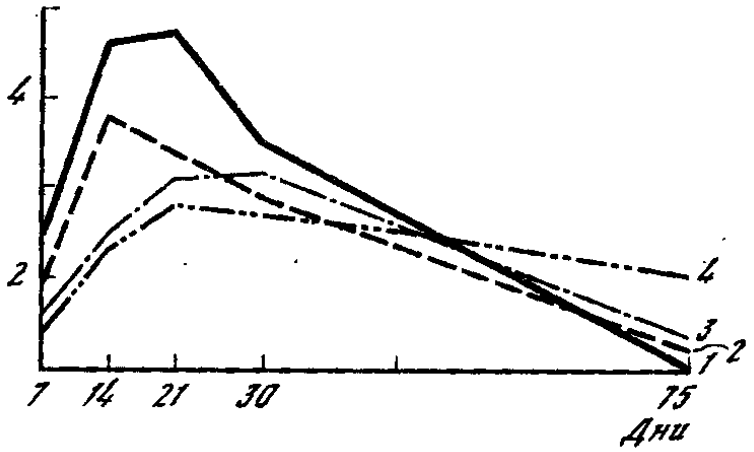
Отмечено, чтс под действием низкочастотного МП процесо заживления поврежденной кости протекал более благоприятно: отек на конечности отсутствовал или был выражен незначительно, быстрее заживала кожная рана, поэтому швы у животных опытной группы можно было снимать на 3 дня раньше, быстрее исчезала инфильтрация кожи. При гистологическом и электронно-микроокопическом исследовании уже через 5 дней после операции в регенерате лучевой кости обнаруживалиоь зрелые дифференцированные

фибробласты. В контрольной группе они отсутствовали. Через 7 дней число клеточных элементов в опытной группе нарастало, появлялись остеобласты и образовывался неоссифицированный остеоид, в то время как в контрольной группе в регенерате имелись лишь немногочисленные малодифференцированные фибробласты. Суммарная площадь фибро- и остеобластов через 5 дней после операции оставила в опытной группе 93,4±6,7 усл. ед. ($P < 0,001$), а в контрольной - всего 1,6±0,04 ($P < 0,001$). Через 7 дней суммарная площадь клеточных элементов у торцовых поверхностей опилов кости в опытной группе оставляла 121,4±8,9 усл. ед. ($P < 0,001$); в контрольной группе 8,7±0,37 ($P < 0,001$). Эти данные свидетельствуют о существенно измененных условиях регенерации под влиянием низкочастотного МП. Через 14 дней в опытной группе уже определяется новообразованная костная ткань в виде густой сети костных балок. При электронно-микроскопическом исследовании отмечены процессы оссификации коллагеновых фибрилл, появление остеоцитов и остеокластов, что означает начало процесса переотройки костной ткани. Указанные изменения обусловлены интенсивным нарастанием процесса остогенеза. В контрольной группе в этот срок определяется только клеточноволокнистая ткань.

Данные морфологического и радиологического исследований согласуются. Репаративные процессы у животных опытной группы протекают на более высоком энергетическом уровне, быстрее развиваются и завершаются. Процессы минерализации достигают максимального значения через 14 дней после операции (рис. 54), кровоток - через 21 день. После достижения максимальных значений метаболические процессы и процесс восстановления кровообращения переходят в завершающую фазу. В контрольной группе интенсивность притока крови в область регенерата меньше, метаболические процессы слабее и максимум наступает только через 30 дней после операции. По данным рентгенологического исследования процессы консолидации в опытной группе начинаются раньше, чем в контрольной: через 14 дней в опытной группе видны признаки консолидации; в контрольной группе они отсутствуют.

На 75-й день у животных опытной группы при морфологическом исследовании отмечается восстановление целостности кости с образованием костной ткани нормального строения. Радиологические данные также свидетельствуют о завершении процессов заживления: полностью нормализуется кровообращение и завершаются перестроечные процессы в фазе минерализации. Рентгенологически анатомическая форма кости полностью восстанавливается.

В контрольной группе в области перелома при морфологическом исследовании имеется не вполне зрелая костная ткань и еще сохраняется хрящевая ткань. Радиологическое исследование указывает на незавершенность процессов как в сосудистой фазе, так и в фазе минерализации. На рентгенограммах межотломковый дефект заполнен перемычкой неоднородной плотности. Костномозговой канал отсутствует. Процесс консолидации не закончен.



Р и с. 54. Заживление поврежденной лучевой кости кролика по данным радиометрии в динамике

I – сосудистая фаза, 2 – фаза минерализации у животных, получавших воздействие низкочастотного МП, 3 – сосудистая фаза, 4 – фаза минерализации у контрольной группы животных. Интенсивность процессов значительно ниже к 75-му дню после операции, нормализации еще нет

В клинике проведено наблюдение по применению низкочастотного МП в комплексном лечении 30 больных с переломами диотального эпиметафиза лучевой кости. Контрольная группа, не получившая лечение МП, составила 24 человека. После сопоставления отломков лучевой кости и наложения гипсовой лонгетной повязки больным через I-2 дня после перелома проводилась магнитотерапия по 20 мин 6 раз в неделю. Курс лечения составлял I5 процедур. Объективизация процесса заживления осуществлялась клиническими тестами: наличие и выраженность болей, отека, время их исчезновения, восстановление амплитуды активных движений в суставах пальцев и кистевом суставе; а также радиологическими методами и рентгенологически.

При клиническом течении заболевания было отмечено, что у больных, получавших воздействие низкочастотным МП, в 2 раза быстрее исчезали боли, отек, быстрее восстанавливалась амплитуда активных движений в суставах пальцев и кистевом суставе. При рентгенологическом исследовании отмечалась более совершенная консолидация перелома с восстановлением нормальной структуры кости в области перелома через 7 недель после травмы. В контрольной группе через 7 недель по линии перелома еще имелась зона уплотнения и структура кости не восстанавливалась. Радиологические исследования показали, что у больных, получавших воздействие низкочастотным МП, через 5 недель после перелома наблюдается более интенсивный кровоток в области перелома и более интенсивные процессы минерализации. К 7 неделям метаболические процессы и интенсивность притока крови в области травмы кости снижаются. Это свидетельствует о завершении процессов заживления, что подтверждают рентгенограммы. В контрольной группе активность метаболических процессов, интенсивность притока крови в области перелома через 5 недель после травмы была значи-

тельно ниже. К 7 неделям активность процессов минерализации увеличивалась, что свидетельствовало о незавершенности процеосов заживления. Средняя продолжительность случая временной нетрудоспособноти у больных, получавших в комплексе лечения воздействие низкочастотным МП, была на 8-9 дней меньше, чем у больных контрольной группы.

Таким образом, экспериментальнс-клинические исследсвания показали, что низкочастотное МП благоприятнс действует на различные стороны патологического процесса при повреждении кости. Меняя характер и скорость химических реакций, оно активирует процессы, направленные на построение белка коллагенового типа, увеличивает скорость клеточного деления, ускоряет процесс минерализации органичеокого матрикса кости. Под воздействием МП происходит более быстрое восстановление кровообращения отломков и регенерата, что в свою очередь ооздает более благоприятные уоловия для заживления кости. Данное исследование обооновывает целесообразность и перспективность применения низкочастотного ПМ как физического фактора в комплеконом лечении больных с переломами костей.

Литература

I. Артемов Г.С., Федосюткин Б.Ф., Голяховский В.Ю., Стош Н.В. Влияние локального и непрерывного воздейотвия ПМП на репаративный остеогенез. - В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, I976, с. I43-I45.
2. Голяховокий В.Ю., Артемов Г.С., Пирузян М.А., Хуторянский А.А. Стимуляция регенерации коотной ткани под влиянием постоянного магнитного поля (экспериментально-клиническое исследование). - В кн.: Тр. 3-го съезда травматологов-ортопедов. М., I975, ч. 2, о. I80-I82.
3. Голяховский В.Ю., Артемов Г.С., Левдикова С.С., Лукин В.П. Магнитотерапия в комплексе лечения диафизарных переломов трубчатых костей.- В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, I976, о. 29-3I.
4. Диген И.Л. Лечебное действие магнитных полей при некоторых заболеваниях опорно-двигательного аппарата (клинико-экспериментальное исследование): Дис. ... д-ра мед. наук. М.: I973.
5. Диген И.Л., Стецула В.И. Консолидация отломков костей в постоянном магнитном поле. - Ортопедия, травматология, протезирование, I97I, № 9, с. 45-48.
6. Кучеренко А.Е., Шевчук В.И. Применение магнитотерапии при некоторых заболеваниях и повреждениях опорно-двигательного аппарата. - В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, I976, с. 53-54.
7. Митбрейт И.М., Дормидонтов Г.В., Игнатов Н.Ф. и др. Низкочастотные переменные и постоянные магнитные поля при лечении больных с заболеваниями и повреждениями органов опоры и движения. - В кн.: Матер. 7 съезда физиотерапевтов и курортологов. М., I977, с. 249-250.
8. Савельев В.Н., Зворыгина Н.Г. Динамика некоторых биохимических показателей крови при лечении больных с несросшимися перелсмами костей

постоянным электромагнитным полем и оперативным путем. – В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, 1976, с. 77–79.
9. Савельев В.Н., Иванов В.Г. Постоянное магнитное поле в комплексном лечении осложненных диафизарных переломов костей конечностей. – В кн.: Клиничеокое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 49–51.
10. Стош Н.В., Харлампович С.И., Артемов Г.С., Левдикова С.С. Васкуляризация отломков и формирующегося регенерата при репаративном остеогенезе в условиях ПМП. – В кн.: Применение магнитных полей в клинике. Куйбышев: КГУ, 1976, с. 79–81.
11. Хабирова Г.Ф. Влияние постоянного магнитного поля на репаративный остеогенез при внутрисуставных переломах. – В кн.: Актуальные вопросы лечения переломов длинных трубчатых коотей. Л.: 1975, с. 19.
12. Хабирова Г.Ф. Магнитные поля в лечении внутрисуставных повреждений. – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 62–64.
13. Лаврищева Г.И., Митбрейт И.М., Маняхин В.Д. Морфологическая характеристика репаративной регенерации длинных трубчатых костей под влиянием переменного низкочастотного магнитного поля (экспериментальнсе исследование). – В кн.: Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. М.: 1976, вып. 14, с. 72–74.
14. Маняхин В.Д. Репаративная регенерация длинных трубчатых костей при воздействии переменным магнитным полем малой напряженности (экспериментальное исследование). – В кн.: Актуальные вопросы экспериментальной и клинической физиотерапии. М.: 1976, с. 58–59.
15. Маняхин В.Д. Влияние переменного низкочастотного магнитного поля малой напряженности на процесс репаративной регенерации при переломах (экспериментально-клиническое исследование). – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, с. 58–59.
16. Митбрейт И.М., Аджимолаев Т.А., Дормидонтов Г.В., Зимина Р.В., Игнатов Н.Ф. Низкочастотное магнитное поле в комплексе лечения некоторых повреждений органов опоры и движения. – В кн.: Клиническое применение магнитных полей. Ижевск: Удмуртия, 1977, о. 57–58.
17. Митбрейт И.М., Маняхин В.Д. Заживление переломов длинных трубчатых коотей пед влиянием низкочаототного магнитного поля (экспериментальное исследование). – В кн.: Методы физиобальнеореабилитации при патологии опорно-двигательного аппарата: Межобл. конф. ортопедов-травматологов. Одесса, 1977, с. 10–11.
18. Яновская Э.М., Маняхин В.Д., Митбрейт И.М. Радиоизотопное исследование процесса консолидации длинных трубчатых костей под действием переменного низкочастотного магнитного поля малой напряженности в экоперименте. – В кн.: Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. М., 1977, вып. 15, с. 106–110.

8.Магнитотерапия в офтальмологии.

За последнее время увеличился интерес к использованию МП для лечебных целей в офтальмологии [1-6], как путем воздействия магнитным полем непосредственно на глаз, так и путем введения в глаз омагниченных лекарственных препаратов (см.п.I.I наст. главы). Для создания МП применяются различные типы магнитов (постоянные, переменные и др). Постоянные магниты (самарий-кобальт) состояли из набора колец, с индукцией В от 30 до 100 мТл. Методика их применения заключалась в том, что постоянный магнит в виде кольца накладывался на закрытые веки так, чтобы оптическая ось глаза соответствовала центру кольца. Курс лечения состоял из 10 сеансов с длительностью процедуры от 15 до 30 мин.

Разработанная методика была испытана на 25 больных, у 15 пациентов из этого числа роговая оболочка была поражена герпетическим кератитом, у 5-кератоиритом и у 8- эпителиально-эндотелиальной дистрофией. При выраженных воспалительных процессах глазного яблока использовались постоянные магниты с В = 30 мТл, при начинающейся эпителизации процесса-магниты с В = 20 мТл. На пятый день после воздействия постоянным магнитом у группы больных о поверхностным герпетическим кератитом исчезали воспалительные явления и отек роговой оболочки, эпителизация ее заканчивалась на 8-10 сутки. При глубоких кератитах наряду с постоянным магнитом использовались и лекарственные вещества: ионизированный раствор серебра, глазные лекарственные пленки-канадекс [7]. Такое комплексное лечение ускоряло рассасывание инфильтратов и способствовало ускорению эпителизации роговой оболочки. Острота зрения у группы пациентов с поверхностным кератитом оставалась неизмененной и только у 2 больных она оказалась пониженной из-за наличия легкого поверхностного помутнения. Положительный эффект наблюдался также и у больных с кератоиритом и эпителиально-эндотелиальной дистрофией роговой оболочки; однако лечение этой группы больных было более длительным.

Наиболее широкое распространение для лечения глазных заболеваний нашли приборы, создающие переменное магнитное поле, которое применяется как независимо, так и в комбинации с лекарственными веществами (магнитофорез). Сконструированный для этой цели прибор представляет собой тубус с вмонтированной в него обмоткой с током частотой 50 Гц, индукция МП изменялась от 25 до 50 мТл, время экспозиции - от 10 до 30 мин, поверхность тубуса при работе прибора непосредственно соприкасалась с закрытыми веками.

Прибор применялся при заболевании век (остром мейбомите) для лечения глаз 12 пациентов с различным сроком возникновения воспалительного процесса века и ранее лечившихся лекарственными препаратами в сочетании с физиотерапевтическими процедурами. При лечении МП с индукцией в 10 мТл по 5 минут на процедуру уже после 3 сеансов у больных исчезали воспалительные явления, наметилась тенденция к рассасыванию инфильтратов. Через 2-3 сеанса инфильтраты полностью рассосались. Положительное

20. Зак. 1898

воздействие МП с теми же параметрами его применения было отмечено при заболевании слезной железы у 5 больных. На 4 день лечения воспалительные явления в области расположения слезной железы полностью исчезли.

Наиболее широкое применение МП нашло при заболеваниях роговой оболочки /8-9/. Переменное магнитное поле было использовано при поверхностных герпетических кератитах (I0 больных) в комплексе с 0,05% раствором димидрола и ионизированном раствором серебра, последние вводились путем магнитофореза. Ватный тампон, смоченный водным раствором препарата, закладывался в конъюнктивальную полость глаза, к которому подводился тубус прибора с магнитным полем. В первые дни лечения исчезали явления роговичного синдрома, инфильтраты роговицы становились более рыхлыми, что ускоряло рассасывание инфильтрата. Острота зрения у больных не нарушалась.

Несколько отличалась методика применения МП при рецидивирующем герпетическом кератите (I0 больных). В этих случаях прибор включался дважды по I0 минут с интервалом между применением в 6 - 8 часов с обязательным использованием противовирусных лекарственных средств, что ускоряло выздоровление пациента.После комплексного лечения больных рецидивов не наблюдалось, в то время как при лечении одними лекаротвенными препаратами отмечалось обострение процесса.

Другая группа больных с эпителиально-эндотелиальной дистрофией роговой оболочки (I2 пациентов) лечилась переменным магнитным полем, причины возникновения дистрофического процесса роговицы были самые разнообразные: у шести пациентов - после операции интракапсулярной экстракции катаракты, у других шести - после имплантации искусственного переднекамерного хрусталика. У всех групп больных зрение было понижено до 0,04-0,I. До назначения МП 50 Гц больным проводилась самое разнообразное лечение, включая и физиотерапевтические методы, но эффекта отмечено не было. В этих условиях и применялось МП по указанной выше методике. После 3 сеансов лечения у 5 больных отмечалось просветление роговой оболочки, а после I0 сеансов МП и у 4 пациентов она стала значительно прозрачней. Только у 3 больных эффекта отмечено не было ввиду диффузного помутнения роговой оболочки (наличие вторичной глаукомы). У 9 больных повысилась и острота зрения на 0,I-0,3. Интересно отметить достигнутый положительный эффект при использовании МП для лечения кольцевидной дегенерации роговой оболочки 20 летней давности заболевания с использованием мази коластрол.

Эффективным оказалось переменное МП и при различных непроникающих и проникающих ранениях роговой оболочки, в том числе и при инфицированных /I0-II/. В тех или иных случаях приостанавливалось развитие инфекционного процесса в тканях глаза и усиливалось действие лекарственных препаратов. Так, у группы больных (I5 человек) с травматической эрозией роговой оболочки переменное МП в первые два дня его использования полностью снимало явления роговичного синдрома с последующей

быстро наступавшей эпителизацией роговой оболочки. При лечении больных, перенесших проникающее ранение роговой оболочки (8 человек), индукцию МП постепенно увеличивали от 10 до 20 мТл с последующим ее снижением до начальной величины. Длительность воздействия МП 10-15 минут. МП назначалось в различные сроки после получения проникающего ранения. У всей группы больных был получен положительный результат - быстро исчезали боли и уменьшались воспалительные явления глазного яблока, рассасывалась гифема и экссудат передней камеры глаза, радужка приобретала нормальный оттенок, рубчик при этом становился более нежным.

Магнитотерапия (с индукцией 10 мТл) в комплексе с расоасывающей медикаментозной терапией была рекомендована больным, перенесшим тяжелый ожоговый процесс, на фоне которого развились дистрофические изменения роговой оболочки. После 10 дней лечения уменьшились шероховатость роговой оболочки и улучшилась ее трофика.

Для лечения больных (12 человек) с заболеванием радужной оболочки и цилиарного тела (ирит, циклит) переменное МП использовалось с индукцией 20 мТл. На второй день лечения у всех пациентов исчезли светобоязнь, блефароспазм, уменьшилась инъекция глазного яблока, после чего включалось комплексное лечение данной группы больных - оочетание переменного МП с кортикостероидом и мидриатиком. Лекарственные вещества вводились в ткани глаза с помощью магнитофореза, что способствовало быстрому рассасыванию преципитатов. При этом больные выписывались на работу гораздо раньше, чем при использовании тольке одного медикаментозного лечения. Нельзя не отметить эффективность МП в лечении увеитов,особенно рецидивирующих, требующих длительного лечения.

Представляет интерес эффективность воздействия переменного МП при различных кровоизлияниях в среды глаза и,особенно,в стекловидное тело, которое как правило при применении фармакологических препаратов рассасывается медленно и длительно. Преимущество МП при кровоизлияниях в стекловидное тело по сравнению с другими методами лечения очевидно. Группа больных (7 человек) с обширным кровоизлиянием в стекловидное тело,возникшим у трех больных после травмы, у других причину выяонить не удалось. Они длительное время лечились (гепарином, фибринолизином, лидазой и другими лекарственными препаратами), но безрезультатно. Эта группа больных облучалась переменным МП с индукцией 20 мТл, с продолжительностью процедуры в 15-20 мин. После 5 сеансов переменного МП у больных появился слабый рефлекс с глазного дна, повысилась ост рота зрения до 0,06 и продолжала сохраняться на протяжении всего курса лечения (15 сеансов МП). После однонедельного перерыва лечение было продолжено по той же методике, больные получали 15 сеансов МП. Острота зрения у них повысилась до 0,2-0,3, стали просматриваться и детали глазного дна. У трех пациентов после 3 курсов проведенного

лечения магнитным полем зрение восстановилось полностью, значительно Улучшилось оно и у остальных четырех больных.

Нельзя не отметить положительный результат воздействия переменного МП при различны кровоизлияниях глазного дна, возникших воледствие тромбоза центральной вены сетчатки. Такие больные лечатся длительное время и часто на фоне обширных кровоизлияний глазного дна возникает вторичная глаукома, приводящая к гибели глаз. Для рассасывания кровоизлияния глазного дна переменное МП (В = 20 мТл) необходимо назначать как можно раньше, начиная от 5 минут поотепенно увеличивая оеанс лечения до 20 минут с постоянным контролем за оостоянием глазного дна.

Переменное МП было применено и при дистрофических поражениях макулярной области оетчатки, возникших в результате различных этиологических причин (I5 больных).Как известно, при этих заболеваниях ни сосудорасширяющие средства, ни витаминотерапия и другие средства лечения не дают должного терапевтического эффекта. Методика применения переменного МП заключалась в оледующем: первый куро лечения состоял из I0 сеаноов (В = 20 мТл с последующим месячным перерывом, затем снова повторялся курс лечения МП (I0 сеансов, В = 20 мТл), в третьем курое лечения использовался магнитофорез с ношой. В течение года проводилось 3-5 курсов лечения. В результате уменьшилаоь абсолютная и относительная скотома, расширились границы поля зрения, уменьшилоось количество точек со ониженной светочувствительностью в макулярной облаоти. Эта группа больных находилась под наблюдением свыше трех лет,за указанный период времени процесс не прогрессировал, острота зрения сохранялаоь.

При пигментной дистрофии сетчатки МП было применено (6 больных) с введением в ткани глаза сосудорасширяющих средств (ношпа и др.),у всей группы больных отмечалось расширение границ периферического поля зрения, отабилизировалась и острота зрения. Положительные результаты лечения переменным МП были отмечены также у больных с атрофией зрительного нерва и неврите.

У больных с выоокой прогрессирующей близорукостью от I2 до 20 диоптрий (20 человек), у I0 из них отмечались обширные дистрофические изменения на глазном дне, было сужено периферическое поле зрение на I5 - 20 ^{o} - и изменено центральное зрение. МП применялось с индукцией в 20 мТл, продолжительностью процедуры I5 минут два раза в сутки. Курс лечения- I0 сеансов. В процессе лечения состояние всех больных улучшилось, напряжение в глазах исчезло. После I0 оеансов лечения у I5 пациентов острота зрения повысилась на 0,03-0,I; у остальных - на 0,I-0,2, в среднем острота зрения ооставляла 0,44 $\pm$ 0,I3, у всех пациентов был получен получен положительный эффект. Границы периферического зрения в среднем расширилоь на 8 - I5 ^{o} во всех меридианах, а у 3 больных на I5-20 ^{o}. У всех больных расширились границы центрального поля зрения.

Переменное МП оказалось эффективным и при лечении глаукомы с индук-

цией 20 мТл. У больных с открытоугольной глаукомой (20 человек) в различных стадиях и степенью компенсации внутриглазного давления под действием МП оно снизилось в среднем на 5-6 мм.рт.ст. После I0 сеансов магнитотерапии гидродинамические показатели нормализовались, что позволило уменьшить число инстилляций миотиков,а в некоторых случаях полностью их отменить. При закрытоугольной глаукоме компенсация внутриглазного давления отмечена только в период проведения магнитотерапии. Нормализация гидродинамических показателей в начальной стадии глаукомы наступила через 2-3 часа после проведения сеансов магнитотерапии в 82 %, при запущенной глаукоме - 40 %. У I8 из 33 больных получавших курс магнитотерапии относительная скотома I и II уровня уменьшилась, у 20 больных расширилось периферическое поле зрения по назальным меридианам на I0 - I5 ^{o}. При остром приступе глаукомы при одноразовом использовании МП (В = 20 мТл) в сочетании с постоянным магнитом (В = 0,2 мТл) исчезал отек роговой оболочки, понижалось внутриглазное давление, а после 5 сеансов МП наступала полная его компенсация, восстановилось и зрение. При вторичной глаукоме применение МП оказалось неэффективным. Лечение больных с периоститом орбиты (3 человека) магнитным полем (В = 20 мТл) показало эффективность этого метода - выздоровление наступило на I0 день при ежедневном использовании МП в течение I5 минут.

Нельзя не отметить значительный эффект в лечении глазных болезней омагниченными лекарственными растворами. Омагничивание раствора производилось путем помещения его на 6 часов в постоянное магнитное поле с индукцией 0,I Тл. Омагниченный раствор, например 0,3 % гентамицина, был использован для лечения группы больных (8 человек) с инфицированным поверхностным кератитом. На вторые сутки введения его в глаз инфильтрат становился бледней, а на 4 день наступила полная эпителизация, в то время как на контрольной группе больных, где раствор антибиотика не был подвергнут омагничиванию, процесс рассасывания инфильтрата был более длительным.

Итак, использование переменного МП 0,02 - 20 мТл при заболеваниях глазного яблока весьма эффективно, особенно в сочетании с лекарственными препаратами. Противопоказаний не наблюдалось.

Литература.

I. Скрипка В.К. Лечение некомпенсированной глаукомы электромагнитом-Офтальмол. журн., I978, с.337-339.
2. Верзин А.А., Усов М.М. Воздействие электромагнитных излучений на внутриглазное давление.- В кн.: Физиология и патология внутриглазного давления. М.:I980, с.I38-I39.
3. Верзин А.А., Колесникова Л.Н. Изменение гидродинамических показателей при воздействии постоянного магнитного поля.- Вестн.офтальмол., I98I. № I. с.I3-I5.

4. Верзин А.А. Стабилизация зрительных функций глаза после антиглаукоматозных операций с помощью переменного магнитного поля. - В кн.: Физиология и патология внутриглазного давления. Москва, 1982, с.119-120.
5. Верзин А.А., Колесникова Л.Н. Гидродинамические показатели глаз и переменное магнитное поле. Там же, с.116-118.
6. Вайнштейн Е.К., Луцкер Л.С.,Миткох Д.И., Полякова Л.Я. Влияние переменного магнитного поля на внутриглазное давление, сооуды сетчатки и сосудистой оболочки при местном воздействии на глаз кролика. - В кн.: Нейрососудистая матология органа зрения.Тбилиси, 1976, с. 134-137.
7. Орловская Л.Е., Верзин А.А., Канакова Т.Ф. Применение нового комплексного препарата - канадекс в офтальмологии. В кн.: IУ Всерос. съезд офтальмологов. М.,1982, с.410-411.
8. Верзин А.А., Орловская Л.Е. Применение переменного магнитного поля при некоторых заболеваниях роговой оболочки. - В кн.: Актуальные вопросы рентгенодиагностики, лучевой и физиотерапии в офтальмологии. М., 1981, с.110-111.
9. Вайнштейн Е.К., Робина Л.В. Новый способ введения лекарственных веществ в ткани под воздействием магнитного поля - магнитофорез. Там же, с. 95-97.
10. Верзин А.А. Воздействие гентамицина на фоне омагничивания переднего отрезка глаза при травматической эрозии роговой оболочки. Антибиотики, 1982, № 10, с.53-54.
11. Ларина Л.А. Влияние переменного магнитного поля на клиничеокое течение проникающих ран роговицы.- В кн.: Актуальные вопросы рентгенодиагностики, физиотерапии и офтальмологии. М., 1981, с. 100-101.

ПРИЛОЖЕНИЕ

I. Глобальный эксперимент по проблеме "Солнце-климат-человек"

В период научно-технического прогресса, характеризующегося освоением экстремальных географических регионов Земли, выходом человечества в космос, среди экологических проблем возрастает научно-практическое значение исследований солнечно-биосферных связей. Пионерские концепции В.И.Вернадского /I/ о биосфере и ноосфере, А.Л.Чижевского /2/ по гелиобиологии заложили методологическую основу указанных научных направлений и явились мощным стимулом для их дальнейшего развития /3,4/.

Установлено важное экологическое значение для различных биосистем естественных электромагнитных полей, являющихся наиболее универсальной формой проявления солнечно-земных связей /5-8/. Расширяются исследования новых проявлений солнечной активности, способных вызвать гелиометеотропные реакции человека и животных /9-I2/.

Исходя из учения В.И.Вернадского /I/ о планетарно-космической сущности биосферы феномен магнито- и метеочувствительности организмов различной степени сложности требует углубления методологических аспектов солнечно-биосферных связей. С позиций гелиобиологии следует признать плодотворными современные представления об адаптации и экологии человека /I3-I5/. В.П.Казначеев /I4/ выдвинул гипотезу, согласно которой электромагнитная среда не только жизненно необходима, но и является одним из первостепенных "уровней" всех сред жизни, где управление биосистемами в норме и патологии наиболее перспективно. Известно, что естественный электромагнитный фон атмосферы Земли в процессе эволюции ее не был однородным и неизменным. Отсюда правомерно предположение о существовании "электромагнитного гомеостатирования" человека и животных, то есть поддержания жизненно необходимой электромагнитной внутренней и в определенной степени внешней среды (их единого компонента). Эти идеи заложены были в трудах В.И.Вернадского и А.Л.Чижевского. В настоящее время, на основании научных фактов, свидетельствующих о высокой чувствительности клеточных культур к изменениям естественного ЭМП Земли /I6/, можно утверждать, что в организмах животных и человека функционирует управляющее устройство, воспринимающее воздействия колебаний внешних ЭМП и затем изменения элементов погоды. Разработана класоификация индивидуальных типов реагирования человека на ЭМП /I4,I7/. Плодотворной является гипотеза "запечатлевания" живыми организмами, включая человека, электромагнитных воздействий в различные периоды II-летнего и других циклов солнечной активности, что способствует, вероятно, формированию разных типов магнито- и метеочувствительности /I2,I4,I7/.

Популяционные закономерности солнечно-биосферных связей в общих чертах известны, хотя нуждаются в дальнейшем углубленном исследовании/2,5, 18/. Остаются спорными и недостаточно изученными механизмы гелиометеотропных реакций - важнейший аспект гелиобиологии. На организменном уровне последние представлены в настоящее время изменениями управляющих и гомеостатических систем /8,19,20/. Широко используются биоритмологические подходы /21/.

Некоторые особенности гелиометеотропных реакций здорового человека изучены в экологических условиях Дальнего Востока /22/, Европейского Севера СССР /12,23/, Антарктиды /24/. Вопросы климатофизиологии человека обобщены в ряде зарубежных работ /25,26/. Указанные исследования свидетельствуют о биотропном эффекте климато-погодных факторов, прежде всего геомагнитного поля, что наиболее отчетливо проявляется в полярных районах.

Особый интерес предотавляют вопроси климатопатологии человека. На популяционном уровне выделяются классические работы А.Л.Чижевского /2/, обосновавшего существенную роль одиннадцатилетних циклов солнечной активности в развитии эпидемий, что послужило мощным стимулом для многочисленных исследований в области биоклиматологии. Основные факты получены на организменном уровне.

В многолетних исследованиях Г.М.Данишевского /27,28/, проведенных преимущественно в условиях Севера, представлены особенности гелиометеотропных реакций людей с различной патологией, разработаны принципиальные положения о фазах и некоторых механизмах акклиматизационного процесса человека (концепция адаптационных метеоневрозов).

Используя достижения медицинской климатологии, отечественные авторы накопили интересные материалы по гелиометеотропным реакциям больных с разнообразными заболеваниями. В качестве примера укажем на исследования, проводившиеся в Европейской части СССР /29,30/, Киргизии /31/, Западной Сибири /12/, Антарктиде /24/. В этих и многих аналогичных работах принципиально подтверждается концепция и магнито- метеолабильности больного человека и возможность обострения патологического процесса под влиянием природных физических факторов, отличающихся малыми энергетическими характеристиками. В СССР развивается новое направление - медицинское метеопрогнозирование /30/. Существенный вклад в климатопатологию внесли зарубежные исследователи /26,33-35/.

Ценная информация получена на клеточно-молекулярном уровне о механизмах гелиометеотропных реакций. Класоическими исследованиями Дж.Пиккарди /36/ доказана, в частности, важная роль коллоидных структур в формировании указанных реакций (в опытах in vitro). Молекулярно-биофизическое направление является весьма перспективным /37/. Высказана интересная гипотеза резонансного эффекта ЭМП при взаимодействии с живыми организмами /5/. Обширная информация о механизмах взаимодействия биосистем и физических факторов среды представлена в ряде обобщающих работ /6,7,11,38/.

Все же приходится констатировать неполноту современных представлений о механизмах гелиометеотропных реакций, что обусловлено прежде всего сложностью этого явления. Поэтому потребуются новые концепции и методические подходы. В Сибироком отделении АМН СССР выдвинута гипотеза о "синдроме полярного напряжения", основанная на фактах существенных нарушений окислительных процессов в биомембранах клеток человека на Крайнем Севере под влиянием геомагнитных флуктуаций /I3/. Получила дальнейшее развитие теория о важной информационной роли ЭМП в биосистемах /I6/. Показана высокая чувствительность клеточной культуры теплокровных к изменениям ЭМП Земли /I6/.

Таким образом, несмотря на достигнутые успехи в изучении фундаментальных и прикладных аспектов проблемы "Солнце-климат-человек", остается много спорного и неясного. Не случайно имеетоя немало скептиков относительно значимости солнечно-биосферных связей в биологии и медицине. При этом они ссылаются на недоказуемость или невозможность гелиометеотроп - ных реакций ввиду малых энергий естественных ЭМП. Это неверно. Мы являемся сторонниками концепции об информационной роли ЭМП для биосистем, что объясняет их биотропный эффект /6,7,39/.

Дальнейший существенный прогресс, а точнее ломка традиционного скептицизма в области солнечно-биосферных связей, могут быть основаны на реализации целевых комплексных междисциплинарных программ по проблеме "Солнце-климат-человек" на стыке астрофизики, климатологии, биологии и медицины. Сибирским отделением АМН СССР разработана научная программа - "Медицинская климатология" или "Солнце-климат-человек" /40/.

Цель программы - разработка научных основ профилактики и коррекции нарушений здоровья и гелиометеочувствительности лиц. Ее задачами являются: выявление новых биотропных факторов космогелиогеофизического и климатометеорологичеокого происхождения, изучение механизмов гелиотропных реакций здорового и больного человека, исследование лечебных свойств климато-географических районов Сибири и Дальнего Востока, разработка научных основ Государотвенной службы медицинского гелиометео - прогнозирования.

В программе участвуют I6 научных учреждений Сибири, в том числе 5 институтов Сибирского отделения АМН СССР. Особенностью программы является комплексная междисциплинарная разработка фундаментальных и прик - ладных проблем солнечно-биосферных связей, организация синхронных медико-биологических, гелиогеофизических и метеорологических наблюдений по унифицированным методам сбора, обработки и анализа информации на протяжении нынешнего II-летнего солнечного цикла (I980-I990 г.г.) с раошрением сети пунктов наблюдений в периоды активного (I980 г.) и спокойного (I985 г.) Солнца, когда биотропный эффект природных физи - ческих факторов проявляется в соответствии о гелиоактивностью.

В реализации программы глобальных исследований медико-биологичес - ких аспектов солнечно-биосферных связей периода активного Солнца -

Глобэко-80 /41/, разработанной учеными Сибирского отделения АМН СССР, участвовали 30 учреждений различных министерств и ведомств. Исследования проведены во многих географичеоких пунктах СССР - от Вильнюса до Владивостока по долготе, Норильска - Еревана по широте, а также в Арктике, Антарктиде, различных акваториях Мирового океана. Синхронно ио - следовались здоровые люди. Наблюдались больные гипертонической болезнью, ишемической болезнью сердца, бронхиальной астмой и хронической пневмонией, язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки. Иопольэовались унифицированные методы исследований. Последние осуществлялись ежемесячно (третья декада) и дополнительно - при геомагнитных возмущениях. Астрогелиогеофизичеокая и метеорологическая информация обеспечивалась службой Солнца и региональными учреждениями Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Какие же предварительные итоги выполнения программы Глобэкс-80? Полученная информация еще неполноотью обработана. Ограничимся отдельными примерами, взятыми иэ обобщающих публикаций /42-44/.

Популяционный уровень. При изучении временной нетрудоспособности населения Норильска выявлена корреляция с К-индексом числа больничных лиотов при острой пневмонии ($r = 0{,}5$), активном ревматизме ($r = 0{,}79$), ишемической болезни оердца ($r = 0{,}79$), туберкулезе легких ($r = 0{,}90$), болезнях нервной системы ($r = 0{,}80$). Можно предположить, что в условиях Норильска метеолабильность отражает снижение адаптивных возможностей организма. Показатель смертности (число смертельных исходов на I0000 человек населения) в год активного Солнца (I980) возрос и коррелировал с К-индексом ($r = 0{,}60$). Важная информация получена при анализе материалов службы сокорой помощи. Например, в условиях Норильска в дни с максимальными геофизическими возмущениями отмечалоь наибольшее число приступов стенокардии и инфарктов миокардоа. Все больные - жители Зполярья - оказались метеолабильными, что связывается с ослаблением адаптивных механизмов. Особое значение придается истощению эндогенных антиоксидантов, регулирующих овободнорадикальное окисление липидов в биомембранах /45/.

В условиях Свердловска прослежены некоторые закономерности влияния гелиогеофизических факторов на больных ишемической болезнью оердца. Дополнительная запись электрокардиограмм при использовании прогноза гелиогеомагнитной обстановки привела к увеличению вдвое числа случаев раннего выявления инфаркта миокарда. Профилактическая направленность кардиологической службы города (скорая помощь, поликлиники) привела к некоторому снижению и стабилизации обращаемости к врачам в связи с внезапными заболеваниями со I6I в I977-I978 г.г. до I59 на I000 человек наоеления в I979-I980 г.г. Это дало, кроме социального, определенный экономический эффект в работе службы окорой медицинской помощи /47/.

Организменный уровень. Этот раздел программы Глобэко-80 - самый обширный, но мы ограничимся лишь некоторыми ссылками.

Исследования на здоровых членах экипажей судов Госкомгидромета СССР в условиях различных акваторий Тихого океана подтвердили наличие корреляций с К-индексом многих гематологичеоких, биохимических, иммунологических показателей организма, свидетельствующих о напряжении адаптационных механизмов. Показатели артериального давления, клино- и ортостатической пробы отражали не столько влияние гелиогеофизичеоких факторов, сколько гигиенических условий плавания /48/.

Среди практически здоровых жителей Норильска выявлена метеолабильность по субъективным ощущениям у 34% обследованных, что на 8–10% больше, чем у аналогичного контингента в умеренных широтах. Это связывается с возникновением на Крайнем Севере адаптивного напряжения организма при развитии предпатологических функциональных изменений /45/.

Наблюдения за 15 практически здоровыми студентами, проведенные в 1980 году на кафедре физиологии Симферопольского университета, показали /46/, что в период геомагнитных возмущений возрастает в $1,65 \pm 0,15$ раз число лейкоцитов, уменьшаются цитохимические показатели содержания неферментных катионных белков и пероксидазы в нейтрофилах периферической крови на 45 и 38% соответственно ($p < 0,05$). У части обследованных частота сердечных сокращений уменьшалась на 15,1% ($p < 0,05$). Наблюдалась тенденция к увеличению минутного поглощения кислорода, максимальной вентиляции легких и основного обмена, а также некоторое снижение коэффициента использования кислорода и резерва дыхания ($p < 0,05$).

У жителей Еревана с цереброваскулярной патологией выявлено влияние геомагнитных флюктуаций на систему микроциркуляции. Обнаруженное при этом резкое падение дзета-потенциала эритроцитов в магнитноактивные дни, вероятно, является пусковым механизмом в последующем развитии различных гемореологических сдвигов /49/.

При лечении больных нейроциркуляторной дистонией и ишемической болезнью сердца в условиях Кисловодского курорта выявлена отчетливая зависимость их физической работоспособности от конкретных погодных и геомагнитных факторов. После проведенного курса лечения действие метеофакторов на организм ослабевает, тогда как влияние геомагнитных возмущений сохраняется и лишь в некоторых случаях уменьшается /50/.

Клеточный уровень. Представляет существенный интерес новые данные о реакциях клеток культуры ткани фибробластов эмбриона человека и фибробластов куриного эмбриона, выращенных из трипсинизированной кожно-мышечной ткани /16/.

Таблица 10 дистантных межклеточных взаимодействий (ДМВ) выражается в повторении морфологических признаков цитопатологического процесса (вызванного в одной из культур с помощью экстремального агента) в другой, интактной культуре ткани, имеющей оптический контакт через тонкие слюдяные или кварцевые пластины.

Как видно из таблицы 10, в период полярного дня (май–июль) проявление ДМВ одинаковы в Норильске и Новосибирске. Во время же полярной ночи (де-

Таблица 10

Проявление дистантных межклеточных взаимодействий в синхронных экспериментах Новосибирск-Норильск 1976-1980 г.г. /14/

Время проведения эксперимента	Новосибирск в %	Норильск в %
Май-июль 1977 г. (полярный день)	40-50	40-60
Ноябрь-декабрь 1976 г.	0	-
Конец декабря - февраль (полярная ночь)	60-80	0
Февраль - март 1980 г. (начало полярного дня)	28	37
	25	0
	57	57
	57	57
	87	87
	0	0

кабрь-февраль) эффект в Новосибирске наблюдался в 60-80% опытов, в Норильске проявления ДМВ отсутствовали до конца февраля. С появлением Солнца над горизонтом, то есть с началом полярного дня, эффект ДМВ в Норильске становился таким же, как в Новосибирске.

Следовательно, существует определенная корреляция биологических эффектов на клеточном уровне с параметрами ГМП, временем и местом проведения эксперимента.

Итак, приведенные выше предварительные результаты работы по программе Глобэко-80 свидетельствуют о наличии гелиобиологических связей на различных уровнях организации биологических систем. Развитие гелиометеотропных реакций у человека, особенно при заболеваниях, снижающих резервные адаптивные возможности организма, можно в принципе считать доказанным. Хотя имеющиеся научные факты подтверждают, в основном, существующие гипотезы, механизмы магнито- и метеотропности биосистем ими не исчерпываются, необходимы новые методологические и методические подходы. Одним из перспективных мы считаем разработанную в Сибирском отделении АМН СССР гипотезу о "синдроме полярного напряжения" /13,51/.

Реализация программы Глобэкс-80 убеждает в необходимости, кроме фундаментальных аспектов исследования гелиобиологических связей, разработки прикладных вопросов: медицинское гелиометеопрогнозирование, профилактика гелиометеотропных реакций и т.п. Первый опыт по внедрению в практику результатов исследований по медицинокой климатологии имеется в институте клинической и экспериментальной медицины СО АМН СССР (Новосибирск), лаборатории полярной медицины СО АМН СССР (Норильск).

Программа Глобэкс-80 позволила объединить всех специалистов, занимающихся проблемами солнечно-биосферных связей (астрономов, геофизиков, ме-

теорологов, медиков, биологов и других). Однако сделанное – лишь начало. Предстоит завершить обработку материалов и их анализ. Необходимо на более высоком методическом и организационном уровне осуществить программу Глобэкс-85.

Литература

I. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, I965, 374 с.
2. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, I976, I76 с.
3. Голованов Л.В. Созвучье полное в природе. М.: Мысль, I976, I76 с.
4. Газенко О.Г. Предисловие к книге А.Л.Чижевского "Земное эхо солнечных бурь". М.: Мысль, I976, с.5-20.
5. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеоиздат, I974, I75с.
6. Сердюк А.М. Взаимодействие организма с электромагнитными полями, как о факторами окружающей среды. Киев: Наукова думка, I977, 228 с.
7. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, I968, 288 с.
8. Холодов Ю.А. Влияние электромагнитных полей на центральную нервную оистему. М.: Наука, I966, 2I4 с.
9. Владимирский Б.М. Биологические ритмы и солнечная активность. В кн.: Проблемы космической биологии. Биологические ритмы. М.: Наука, I980, т.4I, с.289-3I5.
I0. Маноуров С.М. Новые доказательства связи между магнитными полями космического пространства и Земли. – Геомагнетизм и аэрономия, I969, т.9, №4, с.768-770.
II. Физико-математические и биологические проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. – Материалы Всесоюз. научно-технич. симпоз. М.: Наука, I975, т.I, 339 с.; т.2, 207 с.
I2. Андронова Т.И., Деряпа Н.Р., Соломатин А.П. Гелиометеотропные реакции здорового и больного человека. Л.: Медицина, I982, 248 с.
I3. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука, I980, I9I с.
I4. Казначеев В.П. Коомогонические аспекты в биологии: живое вещество, внешняя ореда и внутренняя среда. – Бюлл. СО АМН СССР, I983, №2, с.62-7
I5. Казначеев В.П. Очерки теории и практики экологии человека. М.: Наука, I983, 260 с.
I6. Казначеев В.П., Михайлова Л.П. Сверхслабые измерения в межклеточных взаимодейотвиях. Новосибирск: Наука, I98I, I44 с.
I7. Казначеев В.П. Оонавные методологические аспекты солнечно-биосферных связей. – В кн.: Проблемы оолнечно-биосферных связей. Новосбирск, I982, с.5-I0.
I8. Дружинин И.П., Сазонов Б.И., Ягодинский В.Н. Коомос-Земля. Прогнозы. М.: Мысль, I974, 288 с.

19. Сперанский А.П., Полторанов В.В. Роль адаптационно-трофичеоких процессов в механизмах дейотвия магнитных полей. – В кн.: Физико-математич. и биологич. проблемы действия электромагнитных полей и ионизации воздуха. М.: Наука, 1975, т.2, с.8–16.
20. Деряпа Н.Р., Неверова Н.П., Соломатин А.А. и др. Влияние геомагнитного поля на состояние функции коры надпочечников. – Там же, с.77–78.
21. Ковальчук А.В., Чернышев М.К. К вопросу о роли многодневных биоритмов в обеспечении связи живых организмов с внешней средой. – Там же, с.47–50.
22. Матюхин В.А. Биоклиматология человека в условиях муссонов. Л.: Наука, 1971, 138 с.
23. Неверова Н.П. Состояние вегетативных функций у здоровых людей в условиях Крайнего Севера. Дис.... д-ра мед. наук. Новосибирск, 1972, 371с.
24. Деряпа Н.Р., Рябинин И.Ф. Адаптация человека в полярных районах Земли. Л.: Медицина, 1977, 293 с.
25. Wilson O. Human adaptation to life in Antarctica. In: Biogeography and Ecology in Antarctioa. Ed. by Voon Mieghem and Van Oye. Hauge, 1965, p.670–752.
26. Faust V. Biometeorplogie. Der Einfluss von Wetter und Klima auf Gesunde und Kranke. Stuttgart, 1978, 359 s.
27. Данишевокий Г.М. Патология человека и профилактика заболеваний на Севере. М.: Медицина, 1968, 412 о.
28. Данишевский Г.М. (ред.) Климат и сердечно-сосудиотая патология. Л.: Медицина, 1965, 326 с.
29. Юраж В.Я. Метеотропные реакции при гипертонической болезни и коронарном атеросклерозе. Автореф. дис.... канд. мед. наук. М.: 1963, 23 с.
30. Чекин В.Я. Особенности акклиматизации человека на Кольском полуострове. – В кн.: Здоровье человека на Крайнем Севере. М.: Медицина, 1963, с.28–37.
31. Миррахимов М.М., Гольдберг П.М. Горная медицина. Фрунзе: Изд-во Кыргызстан, 1978, 182 с.
32. Овчарова В.Ф. Медицинская интерпретация синоптичеоких и метеорологических прогнозов. – В кн.: Влияние геофизических и метеорологических факторов на жизнедеятельность организма. Новосибирск, 1978, с.33–44.
33. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. Л.: Гидрометеоиздат, 1966, 247 с.
34. De Rudder B. Grudriss einer Meteorobiologie des Menschen. Berlin, Göttingen. Heidelbergs Springer, 1952, 303 s.
35. Berg H. Solar-terristische Beziehungen in Meteorologie und Biologie. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1957, 172 e.
36. Пиккарди Дж. Химические основы медицинской климатологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1967, 96 с.

37. Кисловский Л.Д. Реакции биологической системы на адекватные ей слабые низкочастотные электромагнитные поля. – В кн.: Влияние солнечной активности на биосферу. М.: Наука, 1982, т.43, с.148–166.
38. Проблемы космической биологии. Т.43. Влияние солнечной активности на биосферу. Под ред. Гневышева М.Н., Оля А.П. М.: Наука, 1982, 233 с.
39. Плеханов Г.Ф. Экологическая роль внешних электромагнитных полей. В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.10–16.
40. Казначеев В.П., Деряпа Н.Р., Неверова Н.П. и другие. Программа исследований по проблеме "Солнце-климат-человек". – В кн.: Адаптация человека к различным географическим, климатическим и производственным условиям. Новосибирск, 1977, т.1, с.62–68.
41. Деряпа Н.Р., Матюхин В.А., Солематин А.П. Программа глобального синхронного эксперимента для изучения медикобиологического действия естественных гелиокосмофизических, геофизических и метеорологических факторов на жизнедеятельность организма. Новосибирск, 1978, с.6–15.
42. Адаптация человека в различных климато-географических и производственных условиях./Под ред. Казначеева В.П. Новосибирск, 1981.
43. Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, 124 с.
44. Деряпа Н.Р., Хаснулин В.И., Николаев В.Н. Итоги исследований гелиоклиматопатологии человека по программе Глобэко-80. – В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.40–49.
45. Хаснулин В.И. Влияние геофизических факторов Крайнего Севера на здоровье населения Норильского ТПК. – В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.70–76.
46. Темурьянц Н.А., Макеев В.Б. Изменение некоторых показателей системы крови во время геомагнитных возмущений. – В кн.: Вопросы климатофизиологии, климатопатологии и климатотерапии. Ялта, 1982, с.99–100.
47. Рождественская Е.Д., Бикмухаметова Р.Г., Фиалко В.А. и др. Некоторые итоги изучения материалов службы скорой помощи г.Свердловска по программе Глобэко-80. – В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.64–70.
48. Стенько Ю.М., Двоскин Я.Г. Изучение биотропного действия гелиогеофизических факторов по программе Глобэко-80 в условиях плавания на морских судах. – В кн.: Проблемы солнечно-биосферных связей. Новосибирск, 1982, с.35–40.
49. Бакунц Г.О., Тунян Ю.С., Акопов С.Э., Меликян Е.Л. Влияние геомагнитной активности на физико-химические свойства крови у больных с нарушением гемодинамики. – Там же, с.82–86.
50. Гарабажиу С.П., Новикова К.Ф. Сравнительная оценка влияния метеорологических факторов и геомагнитных возмущений на показатели физической работоспособности больных нейроциркуляторной дистонией и ишемической болезнью сердца в условиях низкогорья. – Там же, с.76–82.
51. Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. /Под ред. Казначеева В.П. Л.: Медицина, 1980, 199 с.

2.Методология информационно-поисковой системы по электромагнитобиологии и медицине

Многоаспектность проблемы электромагнитобиологии и медицины (ЭМБМ) приводит к публикации в разных типах изданий и рассеиванию в библиотечных фондах и каталогах информации по ЭМБМ, где ее количество составляет ничтожные доли процента. Поэтому отыскать сведения по ЭМБМ, как и по другим направлениям, трудно; положение усугубляется несовершенством каталожных систем поиска /1/.

Проблему поиска необходимой литературы по ЭМБМ пытаются решить путем выпуска библиографических указателей, снабжения изданий предметными рубрикаторами, разработки каталогов, создания информационно-поисковых систем (ИПС) и т.д. Однако эффективность этих разработок оказалась недостаточной из-за отсутствия до последнего времени в определенной мере законченной теории кодирования и поиска документальной информации.

Краткому изложению дополненной методологии кодирования и поиска сведений /1/, содержащихся в документах, и описанию ИПС по ЭМБМ, созданной на ее основе, посвящен этот раздел. Целесообразность разработки ИПС обусловлены актуальностью и практическим значением проблем ЭМБМ.

Самым совершенным"механизмом" переработки информации, по-видимому, является головной мозг человека. Его информационно-поисковый язык (ИПЯ), каковым является письменно-речевой язык, выработан в процессе развития человеческого общества на основе возможностей ЦНС и анатомического аппарата общения. Основой нервнофизиологического алгоритма переработки информации, по всей вероятности, является заучивание отдельных букв, из которых отроятся слова, запоминание терминов и составление из них фраз. Название однотипных объектов, явлений и т.п. обобщаются более широкими понятиями. Следующим уровнем нервнофизиологического алгоритма является овладение правилами построения фраз, а затем - текстов. Одним из направлений создания эффективных ИПЯ и ИПС является биокибернетичеокое (нервнобионическое) направление в информатике, в рамках которого пытаются воплотить алгоритмы естественных языков в ИПЯ. Трудности реализации фразового уровня нервнофизиологического алгоритма, как показал анализ ряда ИПЯ, вероятно, связаны прежде всего с тем, что не реализуется в достаточно строгой форме основа этого алгоритма.

Новая методология кодирования и поиска документальной и другой информации /1/, которая фактически учитывает основу нервнофизиологичеокого алгоритма, включает совокупность известных теоретических и практических подходов и некоторых элементов новых идей. Основополагающей частью этой методологии является теория информационных образов /ИО/. ИО возникают в высших отделах ЦНС при поотуплении зрительных, слуховых и других сигналов и являются информационными эквивалентами объектов, явлений и т.п. ИО бывают первичные (буквы, цифры и т.п.), однотипные и

разнотипные вторичные (названия конкретных объектов и явлений: соответственно "мозг, печень, почка" и "мозг, клетка, воспаление"), третичные (обобщающие термины: органы, организмы, патология), четвертичные (тексты; сочетания разнотипных вторичных, наборы третичных, комбинации вторичных с третичными словами – фразы: воспаление легких человека и т.п.; сложные слова: пневмония – воспаление легких, конъюнктивит – воспаление слизистой оболочки глаза и др.). Пятый уровень составляют названия наук (информатика, гистология, анатомия). Соответственно различают первичные, вторичные и т.д. информацию, дескрипторы, поисковые признаки документов (ПШД), предикаты, сообщения, поисковые предписания, сигналы и т.п.

Информационные запросы и поисковые предписания представляют, как правило, четвертичные сообщения. Поскольку фразы естественных языков составляются из отдельных слов, то логично основу нервнофизиологического алгоритма применить для формирования поисковых предписаний. Отсюда вытекает первый принцип кодирования ПШД: на отдельном носителе ПШД (перфокарты, магнитные ленты и др.) необходимо кодировать по отдельности вторичные, третичные и пятеричные ПШД. Это позволит отыскать носители по любому отдельному из ПШД названных уровней или разным их сочетаниям (четвертичным ПШД). Если шифровать только вторичные ПШД, то отбор носителей по третичному ПШД потребует такое число поисков, сколько названий объектов составляют данный тип. Например, если необходимо отобрать носители по ПШД "Позвоночные", то придется осуществить отдельные поиски по ПШД "Человек", "Крыса" и мн. др. Шифрование только третичных ПШД приводит к возникновению шума; поиск по ПШД "Позвоночные" даст в подборке документы о человеке, крысе и т.п. Кодирование только пятеричных ПШД приводит к еще большему шуму.

Второй принцип кодирования ПШД заключается в выделении на кодирующе-поисковой матрице (КПМ; /1/) отдельного информационного поля дескрипторам одного типа /2/.

Исследование ИПЯ, тезаурусов, кодификаторов и т.п. ряда ИПС привело к выводу, что четвертичные предикаты, названия явлений, наук, знаки и т.п. объединяют дескрипторы разных типов. Так четвертичный предикат "Личное потребление" /3/ группирует следующее: питание (явление), жилье (третичный объектный ИО), книги, журналы (вторичные объектные ИО) и др. Если в документе будет содержаться, например, информация о питании и книгах, то на перфокарте в информационном поле "Личное потребление" можно зашифровать только один из указанных признаков. Чтобы не происходило взаимоисключения, необходимо выделить поля для каждого типа признаков, в которых можно кодировать отдельно слова "Питание" и "Публикации". Таким образом было сделано заключение, что для определения ИО одного типа можно использовать только третичные объектные и другие предикаты. Третичный предикат "Органы" четко выделяет все слова, которые обладают этим признаком: мозг, печень, почка и другие, и

формирует соответствующую ступень иерархии (схема I). Использование лишь третичных предикатов для формирования класса (типа) является существенным дополнением теории исчисления классов математической логики [4].

Число типов объектов, как известно, велико, емкость носителей ШД ограничена, частота употребления слов разная. Поэтому для максимального использования комбинаторной емкости носителей ШД необходимо определить, каким типам дескрипторов нужно отводить самостоятельные информационные поля на КПМ, а какие можно кодировать в полях редко встречающихся ШД [5,6]. Иными словами, требуется определить информационное старшинство типов, построить их иерархию и кодировать прежде всего старшие - третий принцип шифрования ШД. Старшинство типов объектов можно определить по следующим найденным или известным критериям.

Структурный критерий (первый) старшинства гласит, что старше тот тип, объекты которого образуют объекты другого типа: органоиды старше клеток, так как клетки построены из органоидов (схема) .

Классификационный критерий (второй): старше тот тип объектов, при помощи названий объектов которого можно осуществить классификацию объектов другого типа. Органоиды (ядро, митохондрия и т.п.) старше клеток, так как клетки могут быть подразделены на типы по наборам их органоидов. Например, имеются ядерные (нейроны) и безъядерные (эритроциты) клетки. Органоиды невозможно классифицировать по названиям клеток. Из второго критерия старшинства вытекает, что вторичные названия объектов старших ступеней выступают в качестве третичных предикатов в отношении объектов младших ступеней.

Критерий широты, универсальности (третий): старше тот тип объектов, название которого является признаком большего числа типов. Так "Объективный мир" является признаком любых типов явлений и объектов, поэтому этот признак самый старший и с него начинается схема. При недостаточной емкости носителей ШД должны шифроваться более универсальные ШД. Например, документы, содержащие сведения о клетках и органах могут быть представлены в поисковом звене ИПС названиями клеток (I-й вариант) или органов (2-й вариант). В I-м варианте поиск сведений о клетках головного мозга можно вести по названиям нервных клеток (нейрон, глия) и будут получены источники, 100% которых будут содержать искомые сведения. По этому же запросу во 2-м варианте ИПС подборка будет включать только часть документов с необходимыми сведениями.

Числовой критерий (четвертый) - старше тот тип объектов, который многочисленней; названия клеток старше наименований органов, так как абсолютное число клеток значительно больше числа органов.

Временной критерий (пятый) - старше тот тип объектов, который по времени предшествует другому. Клетки старше органов, поскольку в процессе эмбриогенеза размножение клеток предшествует формированию органов.

Критерии старшинства подчинены друг другу и используются последовательно: сначала первый, потом второй и т.д. Старшинство типов на основе этих критериев устанавливается в информативном аспекте.

Иерархия типов объектов (схема I), построенная на базе рассмотренных критериев старшинства, помогает реализовать третий принцип кодирования. При ограниченной емкости ШД носителей шифруют прежде всего самые старшие ШД, затем следующие; исключают из кодирования самые младшие, затем - следующие и т.д. Это оправдано и потому, что, как правило, подбор массивов документов производится по самому младшему ШД (например, собирают литературу о человеке; в этом случае ШД "Человек" встречается в 100% источников сведений и шифровать его нет смысла), который обычно не кодируют. 3-й принцип реализует вероятностный подход при поиске: в подборке, полученной по старшему ШД обязательно будут содержаться документы со сведениями более младших ступеней иерархии.

Критерии старшинства оказались неприменимыми для построения самостоятельной иерархии явлений. Поэтому явления стало возможным помесить на схеме только после построения иерархии типов объектов. И лишь только после этого стало возможным приблизительно указать локализацию на схеме и старшинство наук, дисциплин и т.п. Объективность и всеобщность описанной в данном разделе и проверенной в процессе практическй работы методологии классификации подтверждается тем, что некоторые известные структурные классификации (периодическая система химических элементов, классификация организмов) составили готовые ветви иерархии.

Иерархия (схема I), являющаяся развитием первых вариантов иерархии [1,7], позволила увидеть закон однонаправленной (от старших к младшим) универсальности объектов. Он гласит, что объекты старших ступеней являются обязательными структурными компонентами всех младших типов объектов одной линии иерархии. Все явления объектов старших ступеней встречаются в объектах младших ступеней одной линии. В то же время каждый тип объектов обладает специфичными только относительно старших типов объектов явлениями; например, электризация (явление ступени "Тела" и объектов вышестоящих ступеней) не свойственна атомам - отнятие или добавление электрона в атом приводит к ионизации, лежащей в основе и электризации. Перечисление явлений старших ступеней объектов в младших на схеме заменено тремя точками; под двумя точками подразумеваются неуказанные объекты и явления данных ступеней иерархии. Законы универсальности объектов и явлений могут быть объединены в один закон однонаправленной (от старших к младшим) универсальности объектов, явлений (и наук). Из него следует, что объекты и явления младших ступеней не могут быть в объектах старших ступеней; знания наук младших ступеней не обязательны для развития старших, фундаментальных дисциплин.

Термины, являющиеся информационными эквивалентами объектов и явлений, также обладают универсальностью относительно младших типов ИПЯ.

Так термин "ионизация" встречается в качестве ПШД, начиная с источников сведений об атомах и кончая организмами, машинами и т.п. Необходимость включать слова старших областей знаний является одной из причин "размытости" словарного состава любого "узкоспециального" ИПЯ. Из универсальности терминов следует практический вывод: можно разрабатывать ИПЯ только на основе словарного состава данного массива документов, сведения которого охватывают соответствующий участок иерархии. Таким образом, иерархия является готовой КПМ для разных документальных фондов и при создании ИПЯ следует определить участок иерархии, охватываемый данным массивом документов, и использовать терминологический состав этого участка для наполнения ИПЯ терминами-дескрипторами.

Закон однонаправленной универсальности объектов, явлений и наук позволяет решать, в частности, задачи наукометрии: предвидеть и планировать научные открытия, определять круг объектов и явлений, изучаемых той или иной научной дисциплиной, и др. Например, явление электризации, как уже упоминалось, появляется со ступени "Тела" (схема I).Следовательно, электризация должна наблюдаться, и это подтверждено экспериментами и практикой, во всех объектах младших ступеней (организмы, машины и т.п.); если в каких-то телах электризацию еще не наблюдали, то при соответствующих обстоятельствах она может быть открыта. Достоверность и реальность научных фактов можно проверять следующим образом. Например, информация появляется со ступени "Человек"; это явление присуще только высокоорганизованным формам материи /8/; поэтому информация не может иметь место в объектах старших ступеней (молекулы, вещества, клетки и т.п.). Использование терминов, обозначающих объекты и явления младших ступеней, при описании старших представляет одну из причин синонимии и других лингвистических трудностей естественных языков и ИПЯ. Возникшая необходимость применить названия объектов и явлений младших ступеней при описании старших, по-видимому, является показателем целесообразности формирования нового слова или новых терминов.

Объекты могут не включать все старшие объекты. Например, молекула воды состоит только из кислорода и водорода. Поэтому закон универсальности справедлив лишь для объектов одной линии. Линией

Эффективность ИПС зависит также от количественной характеристики информационной емкости носителей ПИД, количества кодируемых ПИД, отношения количеств поисковой (зашифрованные ПИД) и документальной информации и т.д. Поэтому необходимо остановиться на математическом аппарате нового подхода. Общее число ПИД рассчитывается по формуле [1]:

$$2^X - 1 ,$$

где X - сумма ПИД соответствующего уровня, информативных терминов источников и т.п. Согласно приведенной формуле источник с 10 вторичными и третичными информативными терминами обладает свыше 10^3 четвертичных поисковых признаков, документ с 20 словами - 10^6, с 30 - 10^9 и т.д.Из формулы следует, что если не закодировать один термин, то потеряется 50% ПИД; кодирование 5 из 20 слов дает возможность зашифровать лишь 0,003% документальной информации в форме ПИД. Каждый ПИД, названный тематическим или объектным признаком [1], можно считать единицей информации. Тематический или объектный признак или единица информации отличается от других единиц измерения количества информации (биты, байты и т.п.) тем, что число собственных признаков в разных единицах бывает разным. Например, единицами информации сообщения "Митохондрия мозга крысы" будут "Митохондрия", "Мозг", "Крыса", "Митохондрия мозга", "Митохондрия крысы", "Мозг крысы" (неполные признаки) и "Митохондрия мозга крысы" (полный признак). В однословных признаках содержится по одной единице собственных признаков, в двухсловных - по три, в полном - семь.

Приведенная формула пригодна для определения числа слов, которое можно образовать, если учитывать артикуляционные трудности и другие обстоятельства не строго, на базе русского ($2^{33} - 1$) или латинского ($2^{26} - 1$) алфавитов. Она применима для количественной характеристики ИПЯ: так разность чисел слов в 10 терминов оборачивается тем, что на основе ИПЯ с большим числом слов можно закодировать в тысячу раз больше ПИД, чем при помощи ИПЯ с меньшим числом терминов, при разности в 100 слов - в 2^{100} раз. Эта формула может быть использована при определении полноты научных статей, количественной информалогической характеристики интеллекта и т.д.

Из количественного анализа следует важный вывод: при создании ИПС необходимо кодировать все информативные слова документа - принцип тотального кодирования [1]. Вероятно, только при тотальном шифровании можно обеспечить документальнсй информацией исследователей такой многоаспектной проблемы, какой является ЭМБМ, использовать максимально возможности документального фонда ИПС, ясно представить характер сведений, которые может выдать система, и т.п. Мерой истинности знаний является близкая к 100% точность предсказуемости изменений, свойств и возможность математически описать явления и объекты изучаемой области знаний. Созданная ИПС по ЭМБМ характеризуется предсказуемостью резуль-

татов поисков, описывается математически. Изложенная методология кодирования и поиска документальной информации применима в ручных, автоматизированных и других ИПС. Она делает понятными некоторые причины недостаточной эффективности ряда ИПС. Каталоги непригодны для осуществления многоаспектных поисков, так как при помощи одной каталожной карточки документ может быть представлен в нем одним из многих ПШД. Иными словами, в каталогах и других поисковых механизмах (ЭВМ и т.п.) низка репрезентативность документальной информации – нарушение принципа тотальности кодирования. Другим недостатком, как уже упоминалось, является применение в роли предикатов названий явлений, четвертичных и пятеричных терминов. В ряде случаев это не позволяет даже образовать поисковое предписание.

Разработанный с учетом изложенной методологии ИПЯ "Биомед" был применен в ИПС по ЭМБМ[I] для 4 тыс литературных и других источников сведений (научные статьи, патенты, монографии, отчеты, обзоры и пр.) на перфокартах с краевой перфорацией К2 (К5); рефераты документов брались готовыми из реферативной литературы, переводились на основании резюме первоисточника с иностранного языка на русский или составлялись сотрудниками после прочтения документа. На каждой карте, кроме реферата, записаны шифр хранения библиотек, библиографические данные, закодировано до I8 первичных (первая буква первого автора документа), вторичных и третичных ПШД. I8 зашифрованных ПШД обеспечивают при поиске получение карты по любому из 262 тыс. четвертичных ПШД (поисковых предписаний). ИПЯ включает свыше 3 тыс. современных научных терминов, использованных в процессе кодирования I0 тыс. современной медико-биологической литературы. ИПС может выдать подборки рефератов по $I0^{I2}$ запросным тематикам (поисковым предписаниям), начиная от квантового и атомарного и кончая организменным и популяционным уровнями биообъектов и их моделей. Сведения перфокартотеки относятся к влиянию ЭМП на человека (приблизительно II00 карт), животных различных видов (I500), их органы и ткани (нервная система – I250, кровь – I000, сердце – 800 и другое), растения (800), субклеточные структуры (500), микроорганизмы – 300, на действие лекарственных и других веществ в норме и при различных патологических, экспериментальных и модельных состояниях и многое другое. Сведения, выданные ИПС "Биомед", которая также включает 6

---

[1] Непосредственно созданием ИПС занимались сотрудники лаборатории информационного обеспечения и экспертизы "Биомед" Московского НИИ психиатрии МЗ РСФСР В.В.Кржечковская, канд. биол. наук Р.А.Копаладзе, Е.В. Астапенко, О.Г.Борисоглебская. Группа источников по ЭМБМ была отобрана из перфокартотеки доктора биол. наук Г.Ф.Плеханова. Инициатором создания системы является С.А.Мезенцев, организаторами – профессор А.А. Портнов и член-корреспондент АМН СССР Б.Т.Величковский.

тыс. источников по биохимии и другим медико-биологическим дисциплинам, использовались при написании научных статей, обзоров, диссертаций, монографий, проведении патентной проработки результатов исследований, оформлении рационализаторских предложений, планировании экспериментов и в других случаях. Информация может быть выдана в виде аналитических обзоров, методических материалов, узкотематических перфокартотек с соответствующими ИПЯ, списков литературы по теме запроса и в других формах. Поиск по одному коду занимает 15–20 мин в массиве по ЭМБМ, во всем фонде – 25–30 мин. Проведено более 300 поисков, в том числе на общественных началах, для сотрудников НИИ по биологическим испытаниям химических соединений и других учреждений АМН и АН СССР, Минздрава СССР и РСФСР, для работников практической медицины. В среднем один поиск давал свыше 100 карт, количество шумящих носителей ПНД составляло 50%, в 4–5% случаев поиск не давал карт совсем.

ИПС пополняется документами при просмотре первоисточников, реферативных изданий ВИНИТИ и ВНИИМИ, по ссылкам, указанным в литературных источниках, и т.п. ИПЯ системы относится к числу реальных языков, т.е. включает только те слова, которые встречались и использовались в роли ПНД проанализированных источников сведений. Это принципиально отличает данный ИПЯ от тезаурусов. При помощи ИПЯ "Биомед" можно закодировать приблизительно 10^{30} ПНД, он относится к языкам дескрипторно-иерархического типа. Если определить место ИПС "Биомед" в ряду существующих, то ее можно отнести к числу локальных из-за характера документального фонда, вида носителей ПНД, развитого языкового обеспечения, которое придало системе характер отраслевой (медико-биологической) универсальности, существенно новой методологии разработки.

ИПС "Биомед" была экспонатом межотраслевой выставки "Научно-техническая информация в СССР – НТИ-80" на ВДНХ СССР.

Таким образом, ИПС по ЭМБМ обеспечивает оперативный поиск реферативно-библиографической информации, позволяет осуществить за год несколько тысяч поисков по соответствующему числу запросных тематик; помогает установить число документов по тому или иному направлению и составить определенное мнение о состоянии той или иной проблемы ЭМБМ. Предполагаемое число источников сведений по ЭМБМ превышает 30 тыс., так как неполная картотека на каталожных карточках, при помощи которой ведется учет вводимых в систему документов и в которой карточки расположены в алфавитном порядке по авторам или заглавию, уже составила свыше 15 тыс. карточек и анализ ссылок источников по ЭМБМ показал, что лишь 20–30% цитируемой литературы по ЭМБМ содержится в алфавитной авторско-заглавной картотеке ИПС "Биомед". При дальнейшем пополнении перфокартотеки по ЭМБМ можно улучшить информационное обеспечение и полноту ответов на запросы. ИПС "Биомед" по ЭМБМ может служить также базой для проведения экспертизы на новизну планируемых и завершенных разработок по электромагнитной медицине и биологии.

Литература

1. Шпаков А.А. Информационно-поисковая система "Биомед" на перфокартах: Теория и метод разработки. М.: Минздрав РСФСР, 1980, 52 с.
2. Гусельников И.И., Турпитько А.Ф. Перфокарты с краевой перфорацией. М.: Высш. школа, 1967, 276 с.
3. Казачков Л.С. Основные принципы языка логических категорий.-Сб.ВИНИТИ, сер. 2, 1977, № 9, с.13-28.
4. Глушков В.М. Основы математической логики. Т. 4. Киев, 1961, 63 с.
5. Шпаков А.А. Личная картотека ученого на картах с краевой перфорацией (на примере картотеки по некоторым вопросам биологии).-Сб. ВИНИТИ, сер. I, 1977, № 8, с.10-12.
6. Шпаков А.А. Об одном способе кодирования информации.-Сб. ВИНИТИ, сер. I, 1978, № 5, с.14-15,28.
7. Шпаков А.А. Информационно-поисковая система "Биомед". М.,1980, 4 с.
8. Сифоров В.И. Информация, связь, человек. М.: Знание, 1977, 60 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монография "Электромагнитные поля в биосфере" охватывает широкий круг вопросов, связанных с генерацией электромагнитных излучений различными источниками как естеотвенной, так и антропогенной природы, с одной стороны, и с реакциями биологических систем на электромагнитные воздействия - с другой. Читатель введен в противоречивую, на первый взгляд, обстановку научного поиска, получил представление о сложном комплекое проблем со всей их гипотетичностью, дискуссионностью и даже противоположностью отдельных подходов. Именно эта ситуация, отражающая истинное состояние проблемы, и должна служить стимулом к поиску новых, более эффективных путей решения отдельных задач, ибо с каждым открытием, с каждым новым достижением науки все очевиднее становится факт нашего вступления в эпоху новых взаимоотношений человека с окружающей средой. Любое продвижение, даже небольшой успех в научном поиске в большинстве случаев порождает проблемы экологического характера. Чем дальше, тем очевиднее становится необходимость рассматривать, вслед за нашим великим соотечественником Владимиром Ивановичем Вернадским, последействия каждого шага практической деятельности человечества на всех уровнях сложного, но единого механизма биосферы.

Значительную роль в работе этого механизма играют электромагнитные поля и излучения, которые являются одной из форм информационно-энергетического взаимодействия биосистем и, вероятно, обеспечивают согласование биоритмов с изменениями гелиогеофизических факторов.

Уровень напряженности естественных электромагнитных полей определяется, в основном, солнечной активностью через вариации солнечного ветра, межпланетного магнитного поля и изменения потока мощности жесткого электромагнитного излучения, возмущающего ионосферные токовые системы, магнитные поля которых могут регистрироваться на поверхности Земли. На изменения естественных электромагнитных полей накладываются поля антропогенного происхождения, создающие фон "электромагнитных загрязнений" биосферы.

Таким образом, любой биологический объект, в том числе человек, испытывают непрерывное действие суммарного электромагнитного фона, создаваемого различными источниками и изменяющегося по своим параметрам в широких пределах. В связи с этим необходимо всесторонне и комплексно исследовать биологически активные гелиогеофизические факторы и антропогенные излучения внешней среды наряду с изучением экранирующей роли атмосферы Земли и влияния на нее антропогенных воздействий.

Для здорового организма действие природных электромагнитных полей находится в пределах его адаптационных возможностей. Однако, если эти возможности еще не оформились (ранний возраст), или ослаблены (пожилой воз-

раст),или нарушены (патология),то резкие изменения естественных электромагнитных вариаций могут приводить к расстройству физиологических функций. Это положение - одно из возможных путей к объяснению того факта, что для весьма широкого круга явлений биологического мира наблюдается статистическая связь физиологических функций с электромагнитной обстановкой, контролируемой факторами как космического, метеорологического, так и антропогенного происхождения.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований демонстрируют весьма интересные явления, связанные со спецификой действия электромагнитных полей на биологические системы. Показана возможность регулирования при помощи электромагнитных воздействий физиологических функций организма и повышение его резистентности, что дает основание к разработке качественно новых мер радиационной защиты; экспериментально показано наличие информационных связей между клетками в ультрафиолетовом диапазоне электромагнитных излучений; обнаружена избирательная способность живых систем к определенным частотным диапазонам электромагнитных полей.

Однако, как следует из приведенного в монографии материала, воздействия особенно слабых полей и низких частот изучены пока еще недостаточно. К началу 80-х годов это было осознано, как отставание науки в разработке одной из проблем экслогии, в частности, экологии человека. Создавшееся положение обусловлено тем, что сложившийся опыт, устоявшиеся представления, привычки и навыки часто становятся трудно преодолимой преградой для нетривиальных подходов к интерпретации новых результатов исследований. Не всегда удается специалистам преодолеть инерцию при переходе от работы со сравнительно простыми, во всех деталях моделируемыми системами, к изучению более сложных процессов, характерных для природных явлений. В таких условиях особенно ценны попытки объективно, без навязывания общепринятой точки зрения изложить факты такими, какие они есть, во всей их сложности и противоречивости.

В монографию введен большой эмпирический материал, который призван дать читателю возможность принять участие в творческом процессе, ибо данная авторами интерпретация некоторых результатов наблюдений не всегда является единственно возможной и не всегда однозначно определена истинная роль электромагнитных полей в исследуемых явлениях. Постановка нерешенных вопросов и изложение недоказанных полностью гипотез и предположений, мы надеемся, стимулируют проведение новых экспериментов и выдвижение новых теоретических представлений. Чрезвычайно актуальна, в частности, разработка теоретических основ информационных взаимодействий биологических объектов и роли электромагнитных полей в этих процессах. Последовательно проведенное в монографии представление о существенной роли неравновесных процессов в биологических системах должно в дальнейшем завершиться разработкой общей теории биологического неравновесия. Важным шагом на этом пути, по нашему мнению, может стать теория биологического усиления слабых сигналов, в том числе сигналов электромагнитной природы.

Следует уделить большее внимание экспериментальным исследованиям полей, генерируемых субклеточными элементами, клетками, тканями, организмами и изучению их роли в клеточных взаимодействиях в норме и патологии. Особенно интересны проблемы, связанные с морфогенезом, клеточной дифференцировкой, канцерогенезом.

Решение проблемы взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами может дать интересные результаты в прикладных областях. В настоящее время существуют предпосылки использования постоянных и низкочастотных магнитных полей в медицине (в частности, в онкологии), в управлении поведением биообъектов, в ряде технологий производственных процессов, в технике обнаружения ядерных взрывов и др. С другой стороны, известно большое число медицинских данных, свидетельствующих об отрицательном влиянии на организм человека электромагнитных полей определенных частот и напряженностей (профессиональные заболевания работников электротранспорта, радио- и телестанций, радарных установок). В связи с изложенным возникает необходимость разработки методов использования эффектов взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами в области сельского, лесного и рыбного хозяйств, защиты растений и животных, в борьбе с биологическими вредителями, а также методов использования механизмов воздействия электромагнитных сигналов на организм человека в области медицины, гигиены физкультуры и спорта.

Необходимо наладить повсеместный контроль за электромагнитной обстановкой, на основе которой медицинские учереждения могут разработать и внедрить систему профилактических и лечебных мероприятий.. Развитие и усовершенствование методов электромагнитных воздейсвий для функциональной диагностики и терапии даст практической медицине важные, качественно отличные от медикаментозных средства воздействия на организм больного, а также использование методов бесконтактного съема информации о состоянии организма. и коррекции его функций.

Разработка проблемы взаимодействия электромагнитных полей с биологическими системами в настоящее время нуждается в специальной аппаратурном и метрологическом обеспечении. В первую очередь необходимо разработать новые и усовершенствовать существующие устройства для измерения параметров слабых электромагнитных полей в широком диапазоне частот. Недостаточно разработанными в настоящее время являются методы измерения дозы поглощаемой объектом энергии электромагнитного поля.

Не менее важно для успеха дела оперативное решение организационных вопросов, в частности, очевидна необходимость создания научного центра, основной задачей которого было бы комплексное изучение биосферы. Таким образом, предстоит провести большую работу научно-исследовательского и научно-организационного характера для того, чтобы одна из важнейших экологических проблем биосферы- проблема взаимодействия внешней среды с биологическими системами - получила должное развитие и соответствующее решение.

В.П.Казначеев, Л.Д.Кисловский, Н.В.Красногорская

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

ГЛАВА I. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ 5

I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ 5

I.I. Устойчивое неравновесие - основа избирательной чувствительности организма. Б.Г.Ржабек 5

I.2. Реакции живых систем на слабые адекватные им воздействия. Л.Д.Кисловский I6

I.3. Кожный анализатор как возможный канал связи. А.А.Ярошенко, Л.М.Коновалова 26

I.4. Об электромагниторецепции. Г.С.Мансуров 35

2. РЕАКЦИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ 46

2.I.Изменение адаптационных реакций организма и его резистентности под влиянием электромагнитных полей. Л.Х.Гаркави, Е.Б.Квакина, Е.П.Коробейникова, М.А.Уколова, А.И. Шихлярова, Е.Г.Григорьева, Е.С.Котляревская, Н.П.Захарова, И.В.Коленкина, Л.П.Барсукова, Р.Н.Салатов 46

2.2. Влияние электромагнитного фона на кинетику нормального и злокачественного роста. В.Н.Юрьев, Н.В.Красногорская 56

2.3. Физиологически активные инфранизкочастотные магнитные поля. В.Б.Макеев, Н.А.Темурьянц, Б.М.Владимирский, О.Г.Тишкина 62

2.4. Избирательная чувствительность бактерий к инфранизкочастотным магнитным полям. Ю.Н.Ачкасова 72

2.5. Реакции человека при воздействии на кожу светом различного спектрального состава. Н.Н.Лысенко 73

2.6. Реакции центральной нервной системы на электромагнитные поля низкой частоты. А.М.Волынский 77

2.7. Сенсорные реакции человека при воздействии магнитным полем. Ю.А.Холодов, Ю.В.Берлин 83

3. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА КРОВЬ 89

3.I. Некоторые электрические свойства крови и ее изменение под действием электромагнитных полей. Н.В.Красногорская, А.И.Мирошников, А.А.Шпаков 89

3.2. Действие электромагнитных полей на систему свертывания крови. В.Ф.Русяев 97

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МЕТАБОЛИЗМ И АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ I08
4.I. Особенности обмена веществ и его регуляции при воздействии электромагнитных полей. Н.А.Удинцев I08
4.2. Действие электромагнитных полей различных частотных диапазонов на метаболизм и ферментные системы организма. Ф.А.Колодуб II5
4.3. Изменение ферментативной активности лейкоцитов при действии электромагнитных полей на организм. С.Б.Петричук, З.Н.Духова, Р.П.Нарциссов I24
4.4. Действие магнитного поля на ферментные системы организмов. С.А.Павлович I28
4.5. Электрохимическая модель метаболизма.А.И.Ошв, К.Х.Урусов133
5. ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ БИОРИТМОВ..... I45
5.I. Влияние электромагнитных полей на биологические ритмы. В.Б.Чернышев, В.М.Афонина, Н.В.Виноградова I45
5.2. Околонедельные ритмы сердечно-сосудистых осложнений и их корреляция с вариациями геомагнитного поля. Р.М.Арсланова, В.И.Почтарев, Н.Г.Птицина I50
5.3. Предсмертные изменения ритмов двигательной активности выюна в летальном периоде. Ю.В.Марцуков I56
5.4. Влияние Луны на биоритмы. М.М.Горшков, Н.А.Агаджанян ..I65

ГЛАВА 2I. МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОДЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ I7I
I. ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ СИСТЕМЫ I7I
I.I. Общие аспекты исследования механизмов биологического действия электромагнитных полей. Л.А.Шелепин, Н.В.Красногорская, Б.Г.Режабек, В.К.Быховский I7I
I.2. О возможной природе электродинамических явлений в живых системах. Е.З.Гак, Н.В.Красногорская I79
I.3. О возможной роли асимметрии биологических структур в реализации эффектов регуляторного характера. В.Е.Жвирблис I85
I.4. О механизмах биологического действия электромагнитных полей низкой частоты. В.М.Абашин, Г.И.Евтушенко I93
I.5. Физико-химические механизмы биологического действия микроволн. Э.Ш.Исмаилов 20I
2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА МОДЕЛЯХ ЖИВЫХ СИСТЕМ 207
2.I. Принцип действия магнитных полей на скорость неравновесных процессов. Е.Л.Франкевич 207

2.2. Молекулярные механизмы влияния магнитного поля на радикальные реакции в растворах. Т.В.Лешина, Р.З.Сагдеев ..216
2.3. Возможная роль электрически неравновесных состояний в механизме биоусиления. Н.В.Красногорская, В.Н.Юрьев ..223
2.4. Действие неоднородного электрического поля на клеточные суспензии. В.М.Фомченков, Б.К.Гаврилик, А.И.Мирошников, А.К.Ажермачев 232
2.5. О возможных механизмах изменения функционального состояния изолированного сердца при действии магнитного поля. А.Н.Кудрин, Н.Ф.Жданова 242
2.6. Роль ионов кальция и фосфора в реализации магнитобиологических эффектов. В.Б.Макеев, Н.А.Темурьянц, А.М. Ефименко, А.А.Зальцфас 247

ГЛАВА III. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ 249

I. Влияние внешних факторов на организм и их роль в медикаментозном лечении. Н.В.Красногорская, А.П.Сперанский, М.М.Десницкая 249
2. Некоторые биохимические проблемы магнитобиологии и магнитотерапии. В.М.Аристархов 256
3. Применение электромагнитных полей в диагностике и терапии. В.П.Малов, М.Н.Захарова 261
4. Методы измерения электрических параметров клеток и их использование в биологии и медицине. Н.В.Красногорская, А.И.Мирошников, В.М.Фомченков, А.Ю.Иванов 271
5. Электрические свойства клетки как индикатор патологического состояния организма. М.В. Голованов 284
6. Скорость оседания эритроцитов в инфранизкочастотном магнитном поле как тест для определения сосудистой патологии. Н.И.Музалевская..... 287
7. Влияние низкочастотного магнитного поля на репаративную регенерацию кости. И.М.Митбрейт, В.Д.Маняхин ....
8. Магнитотерапия в офтальмологии. А.А.Верзин, А.Е.Селимонов, В.И.Сафонов 297

ПРИЛОЖЕНИЯ

I. Глобальный эксперимент по проблеме "Солнце-климат-человек". В.П.Казначеев, Н.Р.Деряпа 303
2. Методология информационно-поисковой системы по электромагнитобиологии и медицине. А.А.Шпаков 312

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 321

Издание осуществлено с оригинала,
подготовленного к печати
Научным советом по проблемам биосферы
АН СССР

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В БИОСФЕРЕ

Том II

Биологическое действие электромагнитных полей

Утверждено к печати
Научным советом по проблемам биосферы
АН СССР

Редактор издательства *Г.П.Панова*

Н/К

Подписано к печати 10.10.84. Т – 05260
Формат 60 × 90 1/16. Бумага офсетная № 2
Печать офсетная. Усл.печ.л. 20,5 + 0,2 вкл.
Усл.кр.-отт. 20,7 Уч.-изд.л. 21,3
Тираж 2200 экз. Тип. зак. 1898
Цена 1р. 80к. Заказное

Издательство "Наука", 117864 ГСП–7
Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ !

Мировой центр данных (МЦД) по солнечно-земной физике собирает, хранит и распространяет согласно запросам данные по следующим разделам:

Солнечные явления – сведения о количестве пятен, их площади, класоификации; индексы солнечной активности; результаты оптических наблюдений – общие и в отдельных спектральных линиях; данные с магнитных полях Солнца, радиоизлучении, рентгеновском и ультрафиолетовом излучении, об энергичных протонах и электронах, а также описание явлений, связанных с прстонными вспышками.

Геомагнитное поле – результаты измерений полей в магнитосфере, записи вариаций магнитного поля Земли по мировой сети обсерваторий, таблицы среднечасовых значений, различные индексы геомагнитной активности.

Ионосфера Земли – результаты радиозондирования ионосферы с поверхности Земли и со спутников; данные о поглощении радиоволн ионосферой, о ее структурных характеристиках; результаты измерений радиошумов.

Космические лучи – данные о солнечных и галактических нейтронах, мезонах; данные мезонных телескопов и ионизационных камер.

Система МЦД состоит из двух универсальных центров: МЦД А (США), МЦД Б (СССР) и ряда специализированных МЦД С, находящихся в различных странах. МЦД Б состоит из двух подцентров: МЦД Б1 (океанография, метеорология, ядерная радиация, ракеты и спутники, гляциология) и МЦД Б2 (планетарная геофизика, солнечно-земная физика, внутреннее строение Земли). Обеспечение функции этих центров возложено на Госкомгидромет СССР (МЦД Б1) и на Академию Наук СССР (МЦД Б2). Деятельность МЦД Б координируется Междуведомственным геофизическим комитетом при Президиуме АН СССР.

В МЦД Б2 в настоящее время имеются на магнитных лентах: геомагнитные индексы, данные ряда геомагнитных обсерваторий, среднечасовые значения межпланетного магнитного поля, данные о числах Вольфа с 1700 г., данные об активных областях Солнца с 1969 по 1980 г.г., результаты измерений потоков и всплесков радиоизлучений Солнца как на фиксированных частотах, так и спектральные, данные о вспышках на Солнце. Имеются два каталога протонных событий, полученные из НИИЯФ ЛГУ, каталоги измерений общего магнитного поля Солнца как звезды (данные Крымской астрофизической обсерватории АН СССР), данные о распределении фоновых магнитных полей на поверхности Солнца.

Материалы МЦД предоставляются посетителям в читальном зале или высылаются почтой по запросам. Данные могут быть представлены в виде фотокопий, публикаций МЦД или в машиночитаемой форме (на магнитной ленте в форме ЕС ЭВМ).

Запросы следует присылать по адресу: 117296, Москва, ГСП-1, ул.Молодежная, 3, МЦД Б.

Опечатки

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
8	I8 св.	неравновесных	равнсвесных
23	I5 св.	на	в
I93	I0 св.	статистического	статического
2I4	подпись к рис. 33.	возбужденным светом в поликристаллическом	в возбужденном светом поликристаллическом
253	7 св.	индикации	индукции
266	20 св.	юковыми	белковыми
270	23 св.	каротидной	коронарнсй
275	I3 св.	пароксимальной	пароксизмальнсй