

Естественные технологии биологических систем.

Глава 1

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ -ТЕХНОЛОГИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Общие и эволюционные аспекты физиологии в этой книге будут рассмотрены как своеобразные естественные технологии живых систем. Эта точка зрения многим покажется странной, так как технология — одна из прикладных, утилитарных и искусственных наук, а физиология — одна из древнейших естественных наук, касающихся глубочайших тайн жизни. Для того чтобы понять, как могли сформироваться такие непривычные представления, как представления о естественных технологиях, следует кратко напомнить некоторые этапы развития науки о жизни.

Еще Томмазо Кампанелла в книге “Город солнца” полагал, что совершенное правление требует участия ученых, в том числе физиологов. Недавно физиология была едва ли не самой престижной естественной наукой. Вот как писал об этом на исходе XIX в. Макс Ферворн: “Седая греческая древность соединяла со словом „фюзис” понятие о всей живой природе, и это значение в самой чистой своей форме находит выражение еще в песнях Гомера. Но с тех пор понятие, связанное с этим словом, подверглось разнообразным переменам. Уже весьма рано первоначальное значение было сделано более общим, и уже во время расцвета греческого образования ионические философы, древнейшие естествоиспытатели Греции, назывались „физиологи”, причем понятие „фюзис” было перенесено на всю природу. Позднее, с отделением физики в качестве особой науки в нынешнем смысле этого слова, понятие

5

было снова сужено, но в другом смысле, так как оно было ограничено специально безжизненной природой, и таким образом в настоящее время оно имеет значение как раз противоположное первоначальному.

Если понимать слово „фюзис” в его собственном, первоначальном значении, то слово „физиология” вполне верно выражает сущность той науки, которую оно обозначает, и нет необходимости заменять его более новым словом — „биология”, которое в том смысле, в каком оно теперь употребляется, соединено обыкновенно с более специальным представлением.

Таким образом, физиология есть учение о явлениях живой природы и ее задачей является исследование жизни” (с. 4—5).

Сегодня физиология представляет собой одну из многих биологических наук. Врачи и специалисты, занимающиеся различными областями прикладной биологии, предпочитают опираться на биоматематику, биофизику, молекулярную биологию и другие новые науки. Тем не менее они вынуждены постоянно обращаться и к важнейшим аспектам физиологии, которые звучат как физиологическое значение, физиологическая роль и физиологический смысл изучаемых явлений и свойств.

Во второй половине XIX в. И. М. Сеченов писал, что физиолог — это физико-химик живого организма. В настоящее время этот тезис вряд ли можно использовать корректно, так как физика и химия живого организма стали предметом биофизики, биохимии, биоорганической химии, бioneerганической химии, молекулярной биологии и многих других наук. Если к ним прибавить цитологию, биоэнергетику, мембранологию и целый комплекс так называемых органных и системных наук (кардиологию, пульмонологию, нефрологию, гастроэнтерологию и др.), то становится ясно, что физиология не может быть охарактеризована фундаментальными признаками и критериями конца XIX—начала XX в., отличающими великую самостоятельную науку. Сейчас физиология занимает весьма неопределенное и меняющееся положение между биофизикой, биохимией и другими молодыми науками. Однако биология, образно выражаясь, живет в многомерном пространстве, в котором физиологические подходы при обсуждении многих проблем, связанных с познанием жизни и ее проявлений, по-прежнему незаменимы.

6

1.2. О технологических подходах в современной физиологии

В 1967 г., анализируя особенности физиологических подходов к исследованиям закономерностей живых систем по сравнению, в частности, с биохимическими, биофизическими и другими специальными подходами, я пришел к заключению, что физиология занимается структурой биологических процессов независимо от природы их носителя — физического, химического или механического. Другими словами, предметом физиологии являются процессы жизни во всех их проявлениях. В этом смысле предмет и цель этой науки не совпадают с таковыми других биологических наук. Такие представления изложены мною в книге “Мембранное пищеварение. Полисубстратные процессы, организация и регуляция” (1972): “Одним из парадоксальных результатов бурного прогресса науки явилось разделение целостных физиологических процессов между разными науками — классическими и вновь возникающими. В результате такого разделения мы узнали многие фундаментальные закономерности протекания таких процессов, как пищеварение, кровообращение, дыхание, но в значительной степени потеряли возможность охарактеризовать процесс как систему хорошо скоординированных друг с другом последовательных и параллельных операций, отличающихся высокой степенью совершенства... С точки зрения технологической необходимо описать процесс, охарактеризовать отдельные его операции, оценить значение различных устройств, систем и блоков в осуществлении каждой из операций и процесса в целом... Я убедился, что технологический подход очень труден, так как он требует использования языка и метода различных наук... Однако не всегда трудный путь является неправильным. Кроме того, со временем он может стать легче и совершеннее...” (с. 302—303).

Существуют, однако, чисто научные причины, по которым технологический подход был чужд стилю и духу естественных наук. Это вызвано тем, что технология обычно занята созданием процессов ради получения искусственных продуктов, тогда как естественные процессы являются следствием эволюции и реализуют выработку натуральных продуктов. Кроме того,

7

технологический процесс целенаправлен, т. е. телеологичен, в то время как телеология не свойственна естественным наукам. Более того, естественные науки начинаются там, где кончается телеология. Однако человек — это творение природы; плоды его разума, которые часто кажутся фантастическими и искусственными, в действительности

представляют собой один из вариантов того, что существует в природе. Технологии относятся именно к этому ряду феноменов.

Что касается целенаправленности производственных технологий и запретное телеологических проблем для естественных наук, то произвольные запреты, даже общепринятые, рано или поздно отвергаются. О телеологии живого можно говорить лишь применительно к системам с линейной детерминацией, где причина и следствие четко дифференцированы. Между тем процессы жизни цикличны. Их телеологичность не столь очевидна, ибо любой конечный эффект — не только цель, но и многократно повторенная причина. Таким образом, проблема телеологии в отношении динамической биологии с ее циклами не всегда уместна. Еще более важно формирование в ходе эволюции целесообразности функций и структур.

Широко распространено мнение, что естествознание занималось и занимается познанием природы и ее законов, а технология — использованием этих законов для практических целей. Такое разделение сфер влияния, например между химией и химической технологией, недавно обсуждалось в капитальных сводках акад. Н. М. Жаворонкова, акад. Б. М. Кедрова, П. Г. Кузнецова и др. Для технологии конечной и высшей целью является полезность процесса, т. е. телеологичность, которая на протяжении последних столетий разделяла истинное естествознание и сходные с ним области знаний. Однако развитие производственных технологий и естествознания, в наше время объединенное современной научно-технической революцией, привело к еще одному поразительному результату — возможности объединения технологических и естественно-научных подходов на основе естественных технологий. Причин такой интеграции несколько.

1. В течение XX в. физиология — наука о функциях и процессах в живых системах — постепенно

8

трансформировалась из физико-химии живого организма в технологию биосистем.

2. Технология производственных процессов изменилась; сформировались новые общие науки, рассматривающие живые и искусственные системы, в связи с чем появилась возможность для выявления некоторых общих закономерностей.

3. Благодаря развитию эволюционной теории и пониманию функций живых систем критерий полезности утратил характер ненаучности и изменил даже терминологическую окраску.

4. Уровень активности человека достиг таких пределов, когда искусственные и естественные системы оказались тесно взаимодействующими. Возможность описания тех и других на общем языке технологий (индустриальных и естественных) позволяет лучше понять и полезные, и трагические последствия такого взаимодействия и, быть может, лучше управлять ими.

Если принять, что среди наук о жизни физиология занимает такое же положение, какое среди технических наук занимает технология, то такое сравнение может показаться не вполне правомерным, ибо технология является такой же утилитарной наукой, как физиология — естественной. Но прогресс знаний и их распространение из одной сферы в другую, казалось бы далекую, открывают новые возможности. Примером этому служит развитие бионики и кибернетики, которые, по выражению Л. Жерардена, стали

всеобщими науками, хотя первая родилась из анализа биологических систем, а вторая — из рассмотрения технических систем. Он писал: “В этой области, где естественные науки сходятся с инженерно-техническими науками, бионика не единственная наука — перекресток. Еще раньше появилась кибернетика... Происхождение кибернетики известно так же точно, как и происхождение бионики. В 1949 г. появилась книга, которая называлась „Кибернетика, или управление и связь в животном и в машине“.... Заслуга профессора Винера в том, что он уловил все неисчерпаемые возможности применения подобной аналогии, которая стала основой кибернетики. От формальной аналогии он пришел к уподоблению свойств: изучение функций машин объясняет функции живых существ. Таким образом, кибернетика и бионика предстают перед нами как две сто-

9

роны одного взгляда на вещи: бионика изучает и реализует механические системы, используя принцип действия живых организмов, а кибернетика изучает живые организмы по аналогии с машинами” (с. 24).

Напомним, что технология — это наука, изучающая способы и процессы переработки сырья в предметы потребления и средства производства. Под способом производства подразумевается совокупность и последовательность операций, которые проходит сырье в процессе переработки (производства). Описание технологического процесса как определенной цепи операций и обеспечивающих их машин (или устройств) называют схемой. Конструирование технологий идет по принципу оптимизации, т. е. получения наибольшего эффекта при наименьших затратах и на саму технологию, и на управление этими процессами.

Сопоставление физиологии и технологии, по-видимому, демонстрирует еще одну возможность, которая заключается в сближении этих двух наук по мере их развития. Действительно, высокоэффективные процессы в природе (предмет физиологии) и высокоэффективные процессы в производстве (предмет технологии) строятся на общих принципах. Не случайно технологический подход к анализу процессов пищеварения и усвоения пищи существует столько же, сколько сама физиология. Еще в рамках старейшей научной теории питания, связанной с именами Аристотеля и Галена, переваривание пищи в желудочно-кишечном тракте рассматривалось как процесс, сходный с превращением винограда в вино, т. е. сопоставлялось с одной из наиболее древних производственных технологий. В дальнейшем пищеварение сравнивалось с химическим производством. Технологический подход к описанию пищеварительных процессов используется и в настоящее время, но, к сожалению, это делается эпизодически и непоследовательно. Важно, что не только формальное описание, но и некоторые общие закономерности равно справедливы для производственной и физиологической технологий. Действительно, заменим представления о сырье понятием исходного продукта, о предметах потребления — понятием конечного продукта, а еще лучше — понятием полезного эффекта. Последний можно рассматривать как некоторый продукт или изменение состояния системы. Тогда возникает значи-

10

тельное сходство во многих характеристиках технологических процессов в производственных и биологических системах. Эти процессы в обоих случаях состоят из операций, следующих одна за другой в определенном порядке, в определенных количественных соотношениях и контролируемых с помощью обратных связей, преимущественно за счет отрицательной связи между конечным продуктом и чувствительным к нему входным устройством. Схемы, которые выработаны или

вырабатываются в промышленных системах, могут быть продемонстрированы в различных живых системах.

Современному исследователю “пищеварительный завод” представляется неизмеримо более сложным и совершенным, чем любое химическое производство. Это же касается механизмов управления процессами, происходящими в нем. Технология, созданная эволюцией, по-прежнему не может не восхищать тех, кто создает искусственные технологии.

Технологичность многих других областей физиологии не кажется столь очевидной. Так, представления о технологии кровообращения звучат парадоксально. Однако если рассматривать кровообращение как процесс, обеспечивающий через легкие снабжение кислородом различных клеток и тканей, то его технологичность становится очевидной. Более того, особый интерес приобретает рассмотрение разных заболеваний как нарушение определенных элементов, сформированных в ходе эволюции технологических стандартов. Точно так же возможно обсуждение поведения хищника во время охоты как определенной технологии, т. е. строгой последовательности операций, приводящих к тому, что хищник побеждает жертву. При нарушении технологии охоты жертва могла бы ускользнуть от своего преследователя.

Таким образом, мы говорим о физиологии как науке, освещающей технологию процессов, совершающихся в биологических системах, сущность и взаимоотношение операций, составляющих эти процессы, механизмы управления операциями в пределах данного процесса, координацию различных процессов и всех процессов в целом.

Возникает вопрос, почему технологические подходы к физиологическим процессам до сих пор были

11

эпизодическими и случайными? Это объясняется, по-видимому, тем, что процесс формирования естественных технологий начался 1 миллиарды лет назад и продолжается до настоящего времени, в то время как век производственных технологий едва наступил. Поэтому многие аналогии между естественными и производственными технологиями были невозможны еще несколько десятилетий назад. Лишь отдельные аналогии становятся понятны сегодня, в то время как многое еще предстоит понять в будущем.

В полной мере значение естественных технологий будет оценено впоследствии благодаря созданию принципиально новых технологических процессов в промышленности. Мы имеем в виду сходство многих принципов функционирования живых систем и гибких автоматических линий с участием роботов и стандартных устройств для реализации многих типов технологических процессов. Именно на основе мультипотентных функциональных блоков (см. гл. 7 и 8) с несколькими вариантами программ управления строятся различные, подчас противоположные по своему физиологическому значению, естественные технологии, такие, как всасывание и экскреция, секреция и внутриклеточная рецепция и т. д.

1.3. Сопоставление естественных и производственных технологий

Сопоставление определений производственных технологий и естественных процессов позволяет заключить, что лишь первые имеют отношение к проблемам, рассматриваемым технологией. Действительно, в 1901 г. в статье “Технология”, опубликованной в

энциклопедическом словаре, Д. И. Менделеев характеризует технологию как науку о способах изготовления из природного сырья искусственных предметов, т. е. предметов, не существующих в природе. Д. И. Менделеев писал:

“...возникновение Т. (технологии.—А. У.) или учения о **выгодных** (т. е. поглощающих наименее труда людского и энергии природы) приемах переработки природных продуктов в продукты потребные (необходимые или полезные или удобные) для применения в жизни людей. Хотя Т. по своему предмету глубоко

12

отличается от социально-экономических учений, но в ней с ними много прямых и косвенных связей, так как экономия (сбережение) труда и материала (сырья), а чрез них времени и сил составляет первую задачу всякого производства и существо учения о фабрично-заводских производствах совершенно теряет почву, если утрачивается из виду выгодность (экономичность) производства. Дело, например, химии изучать получение железа из его руд или из иных веществ природы, где оно содержится, а дело Т. изучить выгоднейшие для того способы, выбрать из возможностей наиболее применимую по выгоды — к данным условиям времени и места, чтобы придать продукту наибольшую дешевизну при желаемых свойствах и формах. Такая задача Т. показывает, что в ней нет тех высших и абсолютных требований, какими отличаются абстрактные науки, касающиеся видимой или внутренней природы, что она содержит в себе приложение к жизни других более отвлеченных знаний и что ее содержание должно изменяться по обстоятельствам и условиям места и времени. Но эти, так сказать, отрицательные стороны Т. искупаются, во-первых, тем прямым и жизненным значением, какое имеют уже в наше время фабрики и заводы, и какое в будущем долженствует все более и более усиливаться, а, во-вторых, тем, что учение о способах, применяемых заводами и фабриками, освещает научными началами то, что вырабатывается практикою и чрез это не только усовершенствуется производство, но и расширяется область научного понимания вещей и явлений. В этом последнем отношении достаточно указать хотя бы на одно брожение, так как оно с незапамятных времен применяется при обработке сахаристых веществ и дало начало тому общему учению о микроорганизмах, которое составляет одну из блестящих и плодотворнейших частей современного естествознания, показывая вновь тесноту связи между абстрактною и прикладною частями знаний. И хотя многие приемы, применяемые на заводах и фабриках, ведут свое начало от опытов оправданных начал естествознания, тем не менее в практическом сочетании частности должны ждать своих обобщений, с которыми в будущем может выступить Т. как самостоятельная, прикладная наука. Но до сих пор Т. имеет предметом главным образом описание применяе-

13

мых при отдельных производствах способов, орудий и сырья и изложение исследований, произведенных в отношении как к веществам, так и к процессам, применяемым на заводах и фабриках. При этом не должно забывать, что Т. принадлежит к числу наук очень молодых, возникших всего лишь в XIX столетии” (с. 132).

Из этого описания очевидны существенные различия процессов, используемых в разных производственных технологиях, и процессов, наблюдаемых в живых системах. Однако по мере того как происходило совершенствование производственных технологий, сходство между эффективностью и управлением процессами на производстве и процессами, наблюдаемыми в живой природе, достигало подчас поражающих воображение масштабов. Так, работа тех и других систем контролируется обратными связями, обеспечивающими поддержание определенных скоростей процесса. Контролируется также ряд параметров

среды, где протекают промышленные процессы, и жизнедеятельность рассматриваемой группы клеток, обозначаемая как гомеостаз. При этом механизмы контроля и процессы поддержания постоянства среды реализуются на основе общих принципов. Можно полагать, что дальнейшее совершенствование производственных технологий приведет к тому, что сходство между естественными и производственными технологиями станет еще больше.

Взаимоотношения между естественными науками и технологией в традиционном понимании последней удобно проанализировать на примере химии и химической технологии. Такой анализ может быть основан на фундаментальных обзорах, появившихся в 80-х гг. и принадлежащих авторитетным специалистам в области химии и химической технологии (акад. Н. Н. Семенов, акад. Н. М. Жаворонков), а также в области истории науки и техники (акад. Б. М. Кедров, В. И. Кузнецов и З. А. Зайцева). Они обращают внимание на неосновательность распространенного до недавнего времени представления, что между химией и химической технологией существуют лишь различия. Действительно, сейчас уже нельзя считать, что лишь химия как теоретическая наука исследует закономерности химических взаимодействий и создает методы получения новых соединений, тогда как химическая технология в качестве

14

прикладной наука занимается их промышленным оформлением. Так, акад. Н. М. Жаворонков писал, что как химики, так и технологи исследуют новое и создают новое. Вместе с тем он отмечал, что химия познает главным образом новое, тогда как химическая технология создает новое.

Таким образом, объекты изучения химии и химической технологии различны и эти различия сохранятся в будущем. Различия, подчеркнутые рядом крупнейших химиков современности, подробно анализируются в капитальной монографии В. И. Кузнецова и З. А. Зайцевой (1984). Авторы пишут: "Переход химической технологии с эмпирического уровня на принципиально новый уровень развития характеризуется появлением фундаментальных исследований и теорий" высокой степени общности.

Но это, однако, не означает того, что химическая технология даже в тенденции может оказаться тем интегратором, который включает в себя все химические знания. Нет нужды доказывать, что собственно химические знания, хотя их развитие и стимулируется в основном требованиями производства, будут всегда богаче и фундаментальнее знаний, присущих химической технологии, ибо объектом химии является все неисчерпаемое богатство химизма природы, тогда как объект химической технологии представляет собой только искусственно создаваемые человеком материальные устройства, или, как говорят, вторую природу" (с. 256).

В этом описании особенно четко выявляются различия между традиционными взглядами и взглядами, развиваемыми в общей концепции естественных технологий. Понятно, что в рамках представлений о естественных технологиях меняется и понимание технологий. Действительно, технология — это в наиболее общем виде совокупность знаний об организованных процессах. Последние могут быть как естественными, так и искусственными. Ряд закономерностей тех и Других, как будет показано ниже, во многом сходны. вероятно, по мере углубления наших знаний о законах естественных технологий это сходство будет возрастать.

Интересно сопоставить поиски общности естественных и технологических наук на основе процессологи-

15

ческих подходов со стремлением ряда крупных ученых рассматривать процесс как главный объект исследований в других областях и с другими целями. Так, акад. Н. Н. Семенов пришел к заключению, что современная химия из науки о составе и химической структуре вещества все больше и больше становится наукой о химических процессах и это открывает перед ней новые горизонты в области теории и в сфере производства.

Долгое время мне казалось, что не стоит науку о сложноорганизованных процессах связывать с получившим слишком утилитарное истолкование термином “технология”. Представлялось, что более адекватными могут быть термины “процессология” или “эргология”. Однако постепенно информация о фундаментальной общности законов построения организованных процессов в искусственных и естественных системах заставила думать, что термин “технология” не только приемлем, но плодотворен.

Технологические подходы к изучению жизни связаны с влиянием технологий на естественные науки. Однако формирование естественных технологий в свою очередь не может не влиять на развитие производственных по крайней мере по двум причинам: 1) производственные технологии становятся частью более широкого комплекса, включающего как искусственные, так и естественные технологии и, следовательно, должны быть частью синтехнологий, т. е. синтетических технологий, сочетающих производственные и естественные технологии; 2) многие закономерности естественных технологий уже сейчас используются в производственных технологиях, и этот процесс будет усиливаться по мере нашего более глубокого понимания естественных технологий.

Итак, процессы в живых системах могут быть охарактеризованы как естественные технологии, т. е. как некоторая система операций, обеспечивающих определенный эффект. Выполнение операций в большинстве случаев реализуется на основе генетически заданного алгоритма, находящегося под контролем локальной управляющей системы или системы более высокого ранга, обеспеченной определенным источником энергии и характеризуемой дополнительными побочными эффектами.

16

В нашей стране Л. А. Орбели были сделаны попытки, развитые А. Г. Гинецинским, Е. М. Крепсом и другими учеными, на основе частных концепций эволюции функций (например, таких, как кровообращение, дыхание, пищеварение, выделение и др.) сформулировать общие закономерности, свойственные всем системам. Однако можно допустить, что возможен еще один путь, при котором предметом изучения становится физиологическая эволюция. На первый взгляд такое понятие кажется излишним. Тем не менее предшествующий опыт демонстрирует, что понятие физиологической эволюции или представления о биохимической эволюции плодотворны, так как позволяют указать на круг исследуемых закономерностей. Важно, что физиологическая эволюция включает в себя не только эволюцию функций, но и эволюцию тех механизмов, которые такие функции осуществляют. Физиологическая эволюция включает в себя также ряд закономерностей, относящихся исходно к сфере других наук — биохимии, математики, биофизики и т. д. в той мере, в какой они необходимы для описания физиологии. Именно в рамках физиологической эволюции могут быть доказаны или опровергнуты “функциональные” гипотезы, первоначально лишённые филогенетических корней. Следовательно, для эволюционной физиологии и физиологической эволюции необходимо

технологическое направление, которое в свою очередь нуждается в них. Если учесть исключительную важность эволюционной физиологии и физиологической эволюции, то тем более удивительным кажется то малозаметное положение, которое они занимают в общебиологических концепциях живого.

Следует отметить, что при характеристике эволюции отдельных функций чрезвычайно важно то содержание, которое вкладывается исследователем в понимание функций. Последние становятся предметом изучения и рассматриваются как объект эволюционных перестроек. Именно на подходах к основным теоретическим обоснованиям возникает потребность в надежных представлениях, которых особенно не хватает. Технологические подходы к физиологии, где функции понимаются как некоторые процессы, состоящие из

17

определенных операций и контролируемого алгоритма их выполнения, дают возможность внести наряду с уже известными некоторые новые и вместе с тем четкие элементы анализа. Анализируются определенные технологии и их эволюционные преобразования, операции и их составляющие, роль и характер операций, изменение этой роли в ходе эволюции, а не только изменения структур, реализующих каждую из операций. В связи с тем, что физиология рассматривается здесь как технологическая наука, физиологическая эволюция может быть охарактеризована как эволюция технологий. При этом рассматриваются как эволюция процессов, так и эволюция устройств, с помощью которых эти процессы реализуются.

Таким образом, физиология включает в себя изучение эволюции процессов, эволюции отдельных операций, эволюции устройств, выполняющих эти операции. Операции и устройства могут относиться как к процессам эффекторным, т. е. связанным с реализацией действия, так и к различным этапам управления. Развитие и понимание законов физиологической эволюции — проблема, ждущая своего решения.

1.5. Экзотрофия как модель для анализа естественных технологий

В биологии решение даже наиболее важных и общих проблем часто зависит от счастливого выбора подходящих экспериментальных моделей, т. е. объектов исследования. Примерами могут служить гигантский аксон кальмара при изучении свойств нервных проводников, слюнная железа при изучении условных рефлексов, дрозофила при формировании генетики, кишечная палочка при решении многих вопросов молекулярной биологии и т. д.

Для анализа технологических аспектов физиологии модельная система также должна обладать определенным сочетанием важных свойств. Алиментарная система является именно такой системой, а процессы, осуществляемые ею, удобны для того, чтобы совершить первые шаги на пути к созданию технологической физиологии и технологической концепции эволюции. Рассмотрим эту аргументацию более подробно.

18

1. Функция, или система, избираемая в качестве модели, должна обладать большим филогенетическим возрастом, так как суждения о природе и в особенности об эволюции процесса должны иметь возможно более общий характер. Ясно, что функция дыхания не подходит, так как она достаточно молода и ее формирование связано с образованием кислородсодержащей атмосферы, являющейся продуктом жизнедеятельности

фотосинтезирующих аутотрофов. Другие функции, например кровообращение, еще более молоды. Напротив, экзотрофия, т. е. усвоение пищевых веществ, поступающих из внешней среды, — это такой же древний процесс, как и сама жизнь.

2. Функция, служащая моделью, должна быть достаточно общей, т. е. присущей всем живым системам. С этой точки зрения экзотрофия также служит подходящим объектом, так как она характерна для всех бионтов.

3. Модельная функция должна наблюдаться на всех уровнях организации живых систем. В этом смысле процессы трофики особенно привлекательны. На всех уровнях организации — от клеточного до планетарного — они относятся к проблемам первостепенной важности и подчиняются общим законам, которые рассматриваются в быстро развивающейся науке трофологии, основные положения которой сформулированы мною в 1980 г. (см. гл. 3).

4. Система, используемая как модель, должна обладать ярко выраженными характеристиками. Процессы, протекающие в алиментарной системе, т. е. пищеварение и всасывание, имеют выраженную технологичность и сходство с производственными технологиями, что послужило причиной сопоставления пищеварения с работой химического завода.

5. Модель должна отражать некоторый круг явлений. Поскольку нас интересует применимость технологических подходов к различным высокоспециализированным функциям, возникает вопрос: подходит ли для этой цели пищеварительная система? Весь предшествующий опыт физиологии свидетельствует, что пищеварительная система как модель чрезвычайно удобна. Именно ее изучение стимулировало развитие общих концепций в области физиологии К. Людвигом и Р.-П.-Г. Гейденгайном в Германии и К. Бернаром во

Франции, которые оказали решающее влияние на физиологию и экспериментальную биологию XIX в. Работы в области пищеварения явились источником формирования идей И. П. Павлова относительно высшей нервной деятельности и У. Кеннона относительно физиологии эмоций. Работы в области физиологии пищеварительной системы сыграли большую роль в формировании многих важных представлений, касающихся активного транспорта и других вопросов мембранологии, в представлениях о системных эффектах желудочно-кишечных гормонов и т. д. Наконец, автор должен иметь в какой-то области свой собственный опыт. Этот опыт относится к пищеварительной системе и связан с работой по разным проблемам пищеварения.

Итак, на примере систем, обеспечивающих ассимиляцию пищевых веществ, постараемся проанализировать возможности и границы технологических подходов для понимания процессов жизнедеятельности и путей эволюции живых систем.

Процессы ассимиляции пищи сопоставлялись с технологическими процессами не только в античном естествознании, но и в развитом естествознании конца XIX в. И. П. Павловым.

В следующих главах будут рассмотрены некоторые наиболее характерные стороны ассимиляции пищевых веществ пищеварительной системой высших организмов и человека. Перед нами пройдет поражающая своей логичностью и эффективностью программа операций, в результате которых из пищевого продукта извлекаются всевозможные компоненты, необходимые организму-ассимилятору. Бесчисленные и лишь

отчасти успешные попытки искусственно воспроизвести естественную технологию этого процесса позволяют оценить достижения и масштабы эволюции.

Вслед за этим в сжатой форме будет нарисована далеко не завершенная картина пищеварительного процесса, будут охарактеризованы некоторые отдельные операции, их взаимодействие и ряд общих принципов построения ассимиляторных процессов у организмов различных типов на разных уровнях организации (клетка, орган, организм, экосистема, биосфера).

20

Глава 8

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Признание естественных технологий влечет за собой многочисленные теоретические и практические следствия, касающиеся биологии, промышленности, сельского хозяйства, медицины и т. д. Наука становится технологичной, а технология — естественнонаучной. Взаимодействие естественных процессов и технологий неизбежно. В связи с этим биосфера превращается в технобиосферу, т. е. в сложную интегральную систему, представляющую собой продукт естественных и производственных технологий. Некоторые критические замечания, которым подверглись развиваемые мною представления о естественных технологиях, связаны с непониманием того, что смысл этого понятия в настоящее время изменился.

Технология в новом понимании — это наука об организованных процессах в живой и неживой природе. Организованный процесс характеризуется определенной программой, структурой, осуществляющей данный процесс, и управляющей системой, реализующей контроль и регулирование деятельности системы. Он идет с затратой энергии и в большинстве случаев обладает некоторым эффектом. Все эти признаки являются формально общими для всех типов организованных процессов, возникших как в результате разумной деятельности человека, так и в ходе биологической эволюции. Как в первом, так и во втором случае конечные эффекты служат полезными признаками. Современная организация живых систем — результат долгого и не до конца понятого эволюционного пути. Ясно, что наше объяснение живых систем как естественных технологий является результатом первых и весьма несовершенных шагов в новом направлении. Поэтому требуются серьезные усилия, чтобы понять естественны?

250

технологии и открывающиеся в свете этого возможности. Для этого прежде всего необходимо выяснить принципы организации биологических процессов, причем следует помнить, что любой процесс состоит из некоторых последовательных операций. Если полезный эффект возникает лишь в результате завершения процесса в целом, то в этом случае система эволюирует как комплекс, так как отбор идет по ценности общего конечного эффекта, а не по промежуточным эффектам каждого отдельного блока, реализующего промежуточную операцию. Из рассмотрения организации биологических систем и процессов вытекает ряд принципов. Их анализ представлен мною в монографии, опубликованной в 1985 г., и кратко изложен ниже.

Принцип универсальности. Принцип гласит, что основные закономерности строения биологических систем всеобщы. Это означает, что какой-либо механизм, свойственный организмам одного вида или даже открытый у клеток организмов одной группы, будет широко распространен или универсален. Иными словами, он может быть обнаружен у организмов других видов или оказаться всеобщим. Принцип универсальности отражает общность происхождения организмов и единство структурно-функциональной организации жизни как планетарного явления, где перенос массы и энергии возможен лишь при общности ряда его компонентов. Принцип имеет существенное гносеологическое значение, так как заставляет частную закономерность рассматривать как потенциально всеобщую и искать границы ее применения. Одним из доказательств справедливости принципа служат многочисленные универсальные машины, открытые в период новой биологической революции. Кроме того, лишь на основе принципа универсальности можно понять возможность создания межвидовых клеточных гибридов и химерных организмов, а также возможность переноса информации от вида к виду и, что еще более важно, ее экспрессию. Принцип универсальности базируется на принципе блочности.

Принцип блочности. Для структуры и функции на элементарном уровне характерна дискретность, которая выражается в блоковой организации структур, осуществляющих элементарные функции (принцип блочности), и в принципе функционирования (принцип “все или ничего”). Элементарные функции реализу-

251

ются с помощью определенного набора функциональных блоков. Все многообразие простых и сложных процессов может быть описано как упорядоченная работа соответствующих комбинации функциональных блоков. Для понимания деятельности организма это важно при интерпретации таких вопросов, как формирование высокоспециализированной системы из единственной оплодотворенной клетки, как единство организма при объяснении отсутствия специфических молекулярных машин в клетках различной специализации и т. д. Принцип блочности существен для понимания высоких темпов эволюции и стабильности признаков на уровне функциональных блоков. Наконец, этим механизмом устанавливается соответствие между генетической и функциональной интерпретацией эволюционного процесса.

Принцип блочности является основой общности биосферы в целом и, в частности, трофических и других взаимодействий между ее частями. Без общих функциональных и строительных блоков было бы невозможно существование круговорота веществ в природе. В практическом смысле этот принцип объясняет не ожидаемые и тяжелые последствия действия гербицидов, инсектицидов и других специализированных токсикантов. Принцип блочности справедлив не только для функциональных блоков, но также на более низких уровнях (строительные блоки — аминокислоты, моносахариды, нуклеиновые кислоты и т. д.) и на более высоких уровнях (органеллы, клетки, органы, организмы и т. д.).

Принцип “все или ничего”. Закон “все или ничего” установлен для возбудимых макросистем, где имеет место незатухающее возбуждение. В дальнейшем продемонстрировано, что по этому принципу работают многие информационные системы, что обеспечивает им ряд преимуществ. Распространение этого закона на деятельность функциональных блоков означает, что блок может находиться либо в состоянии покоя, либо осуществлять работу, которая является единственно возможной в данных условиях. Конкретное применение закона может быть весьма важным. Например, если активный

транспорт подчиняется этому закону, то энергия переноса одной молекулы (например, глюкозы) будет одинаковой как по градиенту концентраций, так

252

и против этого градиента. Различия, получаемые при решении термодинамических уравнений, отражают интенсивность и направление пассивной утечки. Ясно, что хотя отдельные функциональные блоки (например, насосы) полностью подчиняются закону “все или ничего”, большая популяция таких блоков создает возможность для плавного градуального регулирования процесса.

Принцип эффективности. Принцип является краеугольным для естественных технологий и рассмотрен в гл. 4. Он характеризует механизмы естественного отбора, отражает некоторые общие закономерности (эволюцию структур и функций) и определяет взаимоотношения между структурой, функцией и полезными (или вредными) эффектами в ходе эволюции. В нем утверждается, что при естественном отборе происходит накопление полезных и элиминирование вредных биологических эффектов. Следствие этого — изменение структурных и функциональных признаков, реализующих такие эффекты. Состояние системы приближается к равновесию между полезностью признака (его полезным эффектом) и его “стоимостью”, т. е. отрицательным по своему биологическому значению эффектом, а соотношение между ними может меняться под влиянием внешних и внутренних факторов. Принцип эффективности служит основой для анализа физиологического и биологического значений любых живых систем. Одновременно в нем утверждается наличие побочных признаков, которые являются обязательным компонентом полезного эффекта. На основе этого принципа разъясняется отсутствие идеальных биологических систем и невозможность достижения коэффициента полезного действия, равного 1. Противоречие, существующее между полезным (при определенной организации и в определенных условиях) эффектом и “отрицательным эффектом”, или биологической стоимостью функции как совокупности метаболических затрат, позволяет объяснить многие особенности эволюции.

Знакомство с популяционной генетикой и с понятием платы за отбор побудило меня ввести понятие платы за метаболизм. По всей вероятности, в биологии подобные явления со временем будут описаны законами, характеризующими важные негативные

253

эффекты и отражающими плату за еще более важные позитивные эффекты. В соответствии с принципом эффективности негативные эффекты будут стремиться к уравниванию с полезными. Принцип эффективности позволяет приблизиться к пониманию как специализации и дивергентной эволюции функций, так и к конвергенции в тех случаях, когда развитие идет по пути отбора сводных биологических эффектов.

Таким образом, эволюция происходит под контролем полезных биологических эффектов функции, а также метаболической “стоимости” этой функции, которую можно рассматривать как негативный биологический эффект и своеобразный селективный груз, определяющий тенденцию к уменьшению функции. Сохранение какой-либо функции и выполняющих ее структур на определенном уровне в течение длительного периода времени отражает равновесие этих двух тенденций.

Принцип сохранения. Законы сохранения вещества и энергии относятся к числу фундаментальных всеобщих законов. Их применение к объяснению основных процессов

жизни на всех уровнях организации И. М. Сеченов считал наиболее важным итогом естествознания XIX в. Для живой природы характерно формирование процессов и механизмов активного поддержания постоянства основных свойств данной системы. Эта способность развивается и возрастает в ходе филогенеза и объединяется термином “гомеостаза”, включающим в себя как состояние, так и процессы, обеспечивающие его.

Гомеостатирование в широком смысле представляет собой поддержание постоянства основных биологических и физико-химических констант. Это понятие является основным в современных интерпретациях таких различных явлений и состояний, как здоровье и болезнь, сохранение окружающей среды и биосферы. Это же понятие применяется к работе различных технических устройств и комплексов. Принцип гомеостаза — один из наиболее фундаментальных в жизнедеятельности систем и свойств этих систем. Он справедлив по отношению к любой конкретной живой системе (от клетки до биосферы), а также для эволюции в целом. За малыми исключениями филогенетический аспект принципа гомеостаза может быть

254

сформулирован как принцип возрастания гомеостаза в ходе эволюции. Однако уже сейчас ясно, что принцип гомеостаза состоит из семейства более частных принципов, например принципа гомеорезиса и гомеоморфоза. Действительно, гомеостатирование находит отражение в принципе гомеорезиса, т. е. в подержании постоянства скоростей реакций. Недавно показано существование структурного аспекта гомеостатирования — принципа гомеоморфоза, т. е. принципа поддержания структуры, характерной для данной системы независимо от уровня ее функционирования.

Возникает вопрос, в какой степени можно говорить о принципе поддержания постоянства молекулярного состава. В его пользу свидетельствует хорошее соответствие между потерей и потреблением веществ, обеспечивающих идентичность молекулярного состава системы и ее частей в течение длительного времени. Однако при коротких интервалах времени наблюдаются нарушения между притоком и оттоком веществ и, следовательно, значительные колебания их содержания в самой системе. По-видимому, в этом случае понятие постоянства следует относить к определенным масштабам времени, что тесно связано с принципом циклизации.

Принцип циклизации. На всех уровнях организации (от клеточного до планетарного) биологические системы (точнее, процессы) частично или полностью циклизированы. Так, очевидна циклизация окислительных процессов на уровне трикарбоновых кислот, а также на уровне эндо- и экзоцитозов, при которых фрагменты мембраны совершают циркуляцию, реализуя функции клеточной трофики, рецепции, экскреции и т. д. Примером циклизации функций на уровне органов и систем может быть энтерогематическая циркуляция натрия, глюкозы и других компонентов крови. Возможно, наиболее сложным и совершенным выражением циркуляции молекул, надмолекулярных комплексов и клеток в организме как системе служит кровообращение. Цикличность характеризует также взаимоотношения в пределах экосистем и биосферы, где происходит циркуляция массы и энергии. По всей вероятности, принцип циклизации входит в число важнейших принципов, обеспечивающих высокую эконо-

255

мичность и эффективность живых систем благодаря многократному использованию одних и тех же структур. Циклизация также обеспечивает согласование всех компонентов,

реализующих многоэтапный процесс. Наконец, в циклах возможно наиболее совершенное гомеостатирование процесса и управление им. Многие системы, рассматриваемые как линейные, по всей вероятности, со временем будут охарактеризованы как;

циклические с входами и выходами, а в некоторых случаях — с несколькими входами и выходами. Это имеет место в цикле Кребса и других биохимических циклах на субклеточном уровне или в системах энтерогепатической циркуляции и циркуляции крови в тканях и организме. Циклизация систем определяет многие эволюционные особенности функций, в том числе их устойчивость.

Принципы множественности. Выше подчеркивалось значение принципов мультифункциональности и мультипотентности. Они являются общими не только для эволюции функций, но и для их организации. Принцип мультифункциональности гласит, что каждая сложная структура имеет более чем одну функцию. Для эволюции это служит исходным условием последующих разнонаправленных специализаций. В пределах одного организма большинство органов мультифункционально, что создает широкие возможности для значительных структурных и функциональных перестроек. В основе последних лежит изменение соотношения соответствующих функциональных блоков, результатом которого может быть уменьшение одних и увеличение других биологических эффектов.

Мультифункциональность системы не следует смешивать с мультипотентностью, которая отражает не менее важное свойство — участие системы в качестве функционального блока в выполнении различных функций. Для самих блоков мультифункциональность не характерна. Напротив, их отличает приспособленность к реализации одной операции без постепенного перехода к другой. В то же время, соединяясь с рядом других функциональных блоков, данный блок приобретает способность участвовать в разнообразных процессах, т. е. он мультипотентен, или полипотентен. Эволюционно мультипотентность служила основой для конструирования самых сложных структур, включая

256

структуры, ответственные за интеллект. Принцип мультипотентности, вероятно, преобладает на молекулярном уровне организации, а принцип мультифункциональности — на органном. (Речь идет о доминировании, а не об исключительности).

Принципы множественности имеют значение для понимания не только общих, но и частных закономерностей функционирования любой конкретной системы. Они образуют семью принципов, которые включают в себя, возможно, наиболее общий гипотетический принцип — принцип мультиэссенциальности.

Принцип мультиэссенциальности. Этот принцип служит более глубоким выражением явления, которые открываются в таких свойствах живой природы, как мультифункциональность и мультипотентность. Для описания характеристик элементарных частиц этот принцип был сформулирован как принцип дополнительности, отражающий двойную (корпускулярную и волновую) природу электрона, фотона и др. Принцип мультиэссенциальности развит в связи с необходимостью подчеркнуть, что отдельные системы (молекулы, клетки, органы, организмы и т. д.) ведут, если так можно сказать, двойную, тройную или даже более сложную жизнь. Например, ранее подробно разбирались функции кишечного эпителия, который является барьерной системой, отделяющей внутреннюю среду организма от внешних агрессий. Это привело к

появлению ряда защитных реакций, особых свойств кишечных клеток и межклеточных соединений и т. д. Селективно ценными признаками в этом случае являются те, которые повышают барьерные функции кишечного эпителия. В то же время этот эпителий служит пищеварительно-транспортной системой, обеспечивающей максимальный поток нутриентов во внутреннюю среду организма. Для реализации этих двух функций кишечный эпителий должен обладать диаметрально противоположными свойствами. Если бы мы имели возможность разделить эти свойства кишечных клеток в пространстве, то видели бы совершенно различные структуры — защитную и поглощающую. В некоторых случаях это можно наблюдать у насекомых. Важно, что представление о функциональной роли кишечного эпителия можно получить лишь после описания всех сторон его жизнедеятельности, казалось бы, противореча-

257

щих друг другу. К этому следует отнести, кроме того, участие кишечного эпителия в энтерогематической циркуляции (например, натрия, глюкозы и воды), необходимой для удержания жидкостей внутренней среды и постоянства последней. Следовательно, кишечный эпителий мультифункционален, мультипотентен и мультиэффективен.

Итак, деятельность кишечного эпителия имеет много “смыслов”, что требует многостороннего описания. Принцип мультиэссенциальности позволяет понять особенности адаптации и эволюции, которые зависят от того, что каждая “специализация” кишечной клетки находится под контролем различных факторов эволюции, включая естественный отбор. Изменение одной из функциональных характеристик кишечной клетки может быть позитивным селективным признаком, но может оказаться негативным по отношению к другим характеристикам. Из принципа мультиэссенциальности вытекают важные следствия. В частности, для полной характеристики биологической системы необходимо несколько независимых и дополняющих друг друга описаний.

Описание организма еще сложнее, чем клетки, так как свойства организма определяются свойствами его элементов и их взаимоотношениями, а также тем, что организм является не только высшей структурой, но и как элемент входит в состав популяции, биогеоценоза и биосферы. Принцип мультиэссенциальности охватывает многие стороны биологических процессов, систем и даже жизни в целом во всем ее многообразии и подчеркивает важность этого многообразия.

Принципы управления. Многообразие и пластичность функций служат отражением различных сочетаний ограниченного, хотя и большого числа функциональных блоков и прямо указывают на первостепенную роль систем управления в организации естественных технологий. В основе принципов управления лежат законы управления, основные законы кибернетики. Управление достигается с помощью программ (прежде всего генетических), определяющих алгоритм процесса, т. е. последовательность операций в пространстве и времени. Другим существенным свойством управления являются процессы регуляции и саморегуляции, обеспечивающие инициацию, завершение или

258

поддержание определенной скорости биологического процесса.

Общность функциональных блоков в регуляторных и исполнительных системах различных структур одного и того же организма создает потенциальную возможность

образования различных регуляторных путей и перестройку уже существующих в более или менее широких пределах. Это обстоятельство важно для понимания приспособительных и компенсаторных механизмов. Общность между организмами обеспечивает возможность регуляции на уровне популяции, экосистемы и биосферы.

Принцип сигнальности, возрастание сигнальности в ходе эволюции, принцип обратной связи и другие принципы управления имеют большое значение для технологических подходов к функционированию биологических систем.

Принцип компромисса. Адаптивность является важнейшим свойством биологических систем, но возможность адаптации ограничена многими факторами. Один из наиболее существенных — необходимость сочетания множества свойств, или мультиэссенциальность. С ограничением адаптивных процессов тесно связан и принцип компромисса, необходимость которого для мультиэссенциальных систем была показана выше. Принцип компромисса, заключающийся в невозможности одновременного поддержания всех функций и подсистем целостного организма на оптимальном уровне, позволяет лучше понять регуляцию отдельных органов и систем этого организма. Принцип оптимального компромисса чрезвычайно широк и дает возможность интерпретировать многие особенности деятельности живых систем. Он полезен также для понимания свойств популяции и экосистем, где каждый член осуществляет меньший объем работы и имеет меньшее значение, чем это могло бы иметь место при увеличении биологического пространства. Принцип компромисса объясняет неустойчивость, неспособность к длительному существованию искусственных систем, где он не соблюдается.

Рассмотрим принцип компромисса более подробно. Так, увеличение поверхности тонкой кишки, полезное как нутритивная адаптация, снижает надежность или во всяком случае повышает риск нарушения барьера

259

кишечного эпителия. Поэтому реальная поверхность кишки отражает компромисс, обеспечивающий выполнение нутритивных функций, что достигается тенденцией к увеличению ее поверхности, и барьерной функции, что достигается уменьшением поверхности тонкой кишки. Интересно, что у холоднокровных животных, энергетические потребности которых примерно на порядок ниже, чем у теплокровных, кишечная поверхность примерно во столько же раз меньше. Следует подчеркнуть, что компромиссная реакция не является очень хорошим приспособлением к строго определенному фактору. Однако в условиях неопределенности внешних воздействий такая реакция означает некоторую приспособляемость к различным факторам, с которыми может встретиться данная система.

Принцип компромисса отчетливо проявляется при взаимодействии нескольких систем. В большинстве случаев между ними возникает компромиссное взаимодействие, ограничивающее чрезмерное развитие каждой из них и создающее гомеостатированный механизм. К сожалению, механизмы биологических компромиссов не изучены. В некоторых случаях показано, что взаимодействие частей одной системы или компромиссное взаимодействие различных систем происходит с помощью химических мессенжеров.

В этой главе кратко охарактеризованы основные принципы, характеризующие жизнь с позиций естественных технологий. Одни из этих принципов хорошо известны, другие

сформулированы впервые. Когда основные принципы естественных технологий были представлены мною в детальной сводке в 1985 г., некоторые коллеги справедливо обратили внимание на неполноту их списка. Другие замечания сводились к тому, что жизнь основывается на слишком большом числе принципов. Это обстоятельство позволяет предполагать существование некоторых других, еще более глубоких принципов. Замечание, что принципов слишком много, также справедливо. Однако следует отметить, что большое количество принципов отражает не столько недостаточность наших знаний, сколько сущность жизни. Вероятно, уникальность жизни как наи-

260

более сложно организованного процесса зависит от того, что жизнь есть область, где взаимодействуют (как бы пересекаются в сверхпространстве) упомянутые и многие другие принципы.

Все попытки охарактеризовать жизнь на основе какого-либо одного принципа до сих пор оставались лишь попытками, не более. По-видимому, они сводились лишь к образному и яркому парадоксу. Именно в этом смысле следует рассматривать определение жизни как процесса гомеостатирования (устойчивого неравновесия).

Жизнь, как гласит один из принципов множественности, — “многосущностный” процесс. Из этого, возможно, наиболее глубокого принципа вытекают многие фундаментальные закономерности, из которых каждая — необходимый атрибут живого.

261

Глава 9

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Мы завершили краткий и далеко не полный очерк естественных технологий, в котором сделана попытка охарактеризовать новые подходы к живым системам, их фактическую обоснованность, теоретическую плодотворность и практическую значимость.

Любая развивающаяся наука рассчитана на прогнозирование, которое тем больше, чем перспективнее область знаний. В этом отношении моделирование естественных технологий в условиях производства имеет захватывающие перспективы и будущность, базирующиеся на прочном научном фундаменте. Сам автор особенно остро ощущает такие возможности в области проблем, касающихся ассимиляторных процессов на всех уровнях организации жизни, а также в области связанных с этим глобальных практических проблем: экологии и управления экосистемами, пищевых ресурсов и оптимизации питания, охране окружающей среды в целом и организмов различных видов и т. д.

Вероятно, наибольшие достижения вытекают из объединения технологии и естествознания, что важно для научного прогресса. Более того, развитие представлений о естественных технологиях и применение технологических подходов к естествознанию имеют ряд других важных, часто неожиданных аспектов. Прежде всего речь идет о влиянии естественных технологий на многие науки. Из этих наук лишь некоторые, относящиеся главным образом к биологии, медицине, биосфере, были затронуты автором. Но, конечно, читатель не мог не почувствовать связь естественных технологий с

различными областями многих других наук, в том числе физики, химии, математики и ряда аспектов философии. Речь идет также о формировании новых элементов в общей системе этических, эстетиче-

262

ских и других взглядов. Я далек от мысли упрощать эти и другие фундаментальные категории и влияющие на них процессы. Однако нельзя не видеть существенных различий в этических и эстетических оценках явлений и закономерностей, наблюдаемых в мире, со стороны естествоиспытателей и тех, кто олицетворяет дух производственных технологий.

Несколько слов о классификации технологий и практической деятельности человека. В 1985 г. мною предложена следующая классификация взаимодействующих технологий: 1) производственные технологии, связанные с закономерностью процессов производства; 2) биотехнологии, в которых живые системы используются в качестве звеньев, реализующих производственные процессы; 3) естественные технологии, возникшие в ходе эволюции, которые являются характеристикой живых систем и отражают наиболее важные особенности их существования и эволюции; 4) синтетические технологии, или синтехнологии, в которых сочетаются производственные и естественные технологии. Следует подчеркнуть важность таких сочетаний, которые применяются, например, для получения продуктов питания человека и сельскохозяйственных животных. Синтетические технологии часто используются и в случаях взаимодействия человека с окружающей средой (например, применение инсектицидов, пестицидов, гербицидов и т. д.). Комплекс этих четырех типов технологий может быть объединен под названием “всеобщая технология”.

Примером взаимодействия технологий может служить одна из наиболее острых проблем, стоящих перед человечеством конца XX в., — проблема пищи и питания. Действительно, питание при приготовлении, получении и консервации пищевых продуктов относится к категории производственных технологий. На одном из этапов эта проблема решается с помощью биотехнологий, а завершающий этап, т. е. ассимиляция пищевых продуктов, благодаря естественным технологиям. Оптимальное согласование элементов всего комплекса — одна из самых важных задач на трудном пути решения проблемы адекватного питания.

Выше приведены факты, позволяющие понять влияние законов естественных технологий на различные проявления практической деятельности человека. Почти

263

не существует областей, где бы производственная активность человека в больших или меньших масштабах, прямо или косвенно не влияла бы на естественные технологии. В качестве примера можно привести загрязнение и отравление водных и наземных экосистем отходами производства. Следует учитывать также действие ряда антропогенных факторов, которые подчас проявляются через многие годы (например, отдаленные эффекты строительства гидроэлектростанций).

Вернемся вновь к близкому автору примеру — проблеме питания, имеющей жизненно важное значение для судеб всего человечества. Этот пример позволяет проиллюстрировать некоторые взаимоотношения производственных и естественных технологий. Питание в современном обществе определяется сложной синтетической технологией, в которой естественные и производственные технологии чередуются и

комбинируются. В конечном итоге производство пищевых ресурсов направлено на обеспечение потребностей организма в пище. Эта пища должна наилучшим образом соответствовать естественным технологиям усвоения пищевых веществ человеком, выработавшимся в ходе эволюции. Следовательно, при всех обстоятельствах человек должен приводить производственные технологии в соответствие с естественными, меняя последние с крайней осторожностью, ибо последствия таких изменений часто невозможно предвидеть. Между тем они могут быть не только неблагоприятными, но и необратимыми.

Трудность совершенного приспособления производства к естественным технологиям в большинстве случаев связана с тем, что мы недостаточно их знаем. Это справедливо также в отношении процессов ассимиляции пищи. Существенный прогресс знаний о механизмах питания человека и других организмов в последние десятилетия позволяет перейти от теории сбалансированного питания к теории адекватного питания, которая в сущности опирается на идеи естественных технологий и их эволюции. Принципиально новым является оптимизация стыка двух технологий. Это относится к составу пищи, режиму и другим условиям питания. Например, даже оценка роли аминокислот в жизнедеятельности организма в последнее время резко изменилась, так как одни из аминокислот оказа

264

лись предшественниками нейротрансмиттеров, а другие — самими нейротрансмиттерами. Таким образом, увеличение или уменьшение количества аминокислот в пище оказалось фактором, влияющим не только на синтез белковых структур нашего организма, но и на его информационную и эмоциональную деятельность.

В настоящее время ясно, что наше питание (т. е. состав пищевых, регуляторных и токсических веществ) в значительной степени зависит от бактериальной флоры. Трофические характеристики у одного и того же человека на протяжении жизни могут резко меняться, так как состав микрофлоры подвержен существенным изменениям под влиянием композиции пищи и лекарственных препаратов. Иногда бактериальная флора претерпевает значительные изменения, особенно после необдуманного применения антибиотиков. Различия в бактериальной флоре служат одной из важных причин изменений технологии ассимиляции пищи у одного человека и резкой индивидуальной вариативности. Поэтому синтехнология питания должна быть адекватной как индивидуальным особенностям естественных технологий, так и их изменениям на протяжении жизни данного человека. Разумеется, при конструировании адекватной пищи необходима большая осторожность.

Представление о естественных технологиях, как неоднократно упоминалось выше, тесно связано с проблемами медицины и экологии. Мы воспринимаем медицину как науку, ремесло и искусство, направленные на сохранение и восстановление здоровья. Для медицины все, относящееся к понятию здоровья и к развитию новых подходов в управлении жизненными процессами организма, является крайне интересным. В этом смысле естественные технологии имеют первостепенное значение. Так, элементарные функции, или операции, осуществляемые функциональными блоками, служат элементами технологий. Их универсальность создает основу для особой группы патологических процессов, названных синдромом общих блоков. Последние в отличие от органных синдромов могут затрагивать различные физиологические функции разных органов, обусловлены нарушениями одних и тех же функциональных блоков. Примером таких заболеваний служит неспособность к всасыванию определенных аминокис-

лот, что внешне проявляется в поражениях кожи, умственной отсталости и т. д. (см. гл. 7) Повреждающие агенты могут вызывать разнообразные заболевания, связанные главным образом или частично с нарушениями на уровне элементарных функций и функциональных блоков. Появляется и новая область диагностики, которая важна для разработки лечения и понимания некоторых сторон заболевания как нарушения определенной технологии

Особенно много нового концепции функциональных блоков и естественных технологий вносят в представления о специфичности и направленности химиотерапевтических воздействий и, в частности, в терапевтическую возможность построения “волшебной пули”. Мечта о чистой химической терапии без побочных эффектов в концепции естественных технологий не находит строгой научной базы. Существование универсальных функциональных блоков делает идею “волшебной пули” весьма трудной для исполнения. Действительно, лекарственные вещества, хотя и с разной вероятностью, поражают все свои мишени, как желательные, так и нежелательные. В связи с тем, что одни и те же функциональные блоки распределены в различных клетках и органах неравномерно, в большинстве случаев желательные эффекты выражены во много раз сильнее, чем нежелательные.

Было бы, однако, неправильно сводить взаимоотношения медицины и естественных технологий лишь к концепции функциональных блоков. В той мере, в какой здоровье определяется как нормальное протекание естественных технологий, а болезнь — как их нарушение, врач должен быть технологом в широком смысле этого слова, т. е. специалистом, способным понять как сущность происходящих изменений, так и последствия лечебного воздействия.

Мы неоднократно отмечали, что сам человек является частью той чрезвычайно сложной естественной технологии, которая может быть обозначена как жизнь на планетарном уровне. Технологические подходы к этой проблеме кажутся особенно важными, так как затрагивают все виды взаимоотношений человека и биосферы. В настоящее время все громче звучат голоса, предостерегающие, что мы приближаемся или уже вплотную подошли к серьезному экологическому

кризису. Возникла ситуация, при которой окружающая нас природа может претерпеть нежелательные и даже необратимые изменения в результате неразумных, чаще всего стихийных повреждающих воздействий со стороны человека. Более того, термин “кризис” в меньшей мере отражает характер тех изменений, которые могут нас ждать. В этом случае более уместно понятие экологической катастрофы, так как мы вмешиваемся в великую планетарную технологию без достаточных знаний и без отчетливого понимания ее особенностей

Существуют многочисленные примеры неблагоприятных последствий, являющихся результатом экологических взаимодействий. Например, американскими экологами (Силбриг О., Силбриг Д. Популяционная биология и эволюция М.: Мир, 1982) отмечено, что при широком использовании в США пестицидов одним из неожиданных и тяжелых последствий явилось образование устойчивости к ним более чем 200 видов насекомых, наносящих вред здоровью и хозяйственной деятельности человека. Точно так же при использовании гербицидов и дефолиантов возникает высокая устойчивость к ним у

сорняков. Можно привести и другие примеры, однако и этих достаточно для заключения, что в век бурного прогресса деятельности человека понимание естественных технологий и поиски компромиссов при создании различных технологий чрезвычайно важны. Непонимание технологичности природы и логики эволюции может быть основой для локальных и парциальных катастроф, которые усугубляют существующую серьезную экологическую ситуацию и таят опасность большой экологической катастрофы. Такая опасность будет сохраняться и прогрессировать до тех пор, пока будет сохраняться и прогрессировать антропоцентрический утилитаризм. Иногда он кажется привлекательным, например в прекрасном определении одного из наиболее глубоких мыслителей нашего века Ч. П. Сноу. Он подчеркивает, что гуманизм — это концепция, возникшая в эпоху зрелого Возрождения и ставящая человека в центр мироздания (Сноу Ч. П. Заметки о гуманизме // Портреты и размышления: Художественная публицистика. М: Прогресс, 1985 С 290—244). Сегодня понятно не только сколь прекрасен, но и сколь опасен такой подход.

267

Заканчивая эти размышления, следует подчеркнуть, что антропоцентризм не способствует превращению биосферы в ноосферу, а напротив, затрудняет такую возможность. Для формирования ноосферы (помимо многих других условий) требуется: 1) совершенное знание естественных технологий на всех уровнях их организации; 2) сохранение и совершенствование этих технологий. Биосфера в нынешнем виде, нарушенная техникой, скорее может быть названа технобиосферой или больной биосферой — патобиосферой. Другими словами, сегодня задача формирования ноосферы в некоторых отношениях является проблемой не менее трудной, чем во времена В. И. Вернадского.

Следует иметь в виду, что глубокий анализ фундаментальных проблем биосферы на пути ее превращения в ноосферу — дело будущего. Эти проблемы сложны и противоречивы, о чем свидетельствуют современные попытки представить структуру ноосферы Земли в виде очень упрощенных схем.

К сожалению, в данной книге нет возможности сколько-нибудь подробно рассмотреть эволюцию живых организмов от их возникновения до современных форм, так же как структуру и эволюцию биосферы в целом. Общая схема развития органического мира представлена на рис. 46.

При характеристике эволюции подчеркивалось, что функция, структура и эффект взаимодействуют и всегда существуют как триада. Ее понимание на разных уровнях организации жизненных процессов особенно существенно для рассмотрения жизни и естественных процессов вообще и в эволюционном аспекте особенно. Следует отметить, что взаимоотношения членов триады относятся к проблемам современного функционализма.

В науке часто применяются вспомогательные (часто временные) понятия и термины. К их числу относится термин “современный функционализм”. Под функционализмом подразумевается вся совокупность сведений о функциональных свойствах живых систем, функциональных подходах к этим системам и, наконец, взаимоотношения различных фундаментальных характеристик. Функционализм является одной из наиболее важных проблем не только физиологии, но и всех обла-

268

стей биологии, начиная с таких традиционных, как зоология и ботаника, и кончая такими, как молекулярная биология, биоорганическая химия, биофизика и медицина. Современный функционализм не является только частью классического функционализма, связанного с расцветом физиологии. Следует надеяться, что подобно тому как в свое время функционализм XVII—XIX вв. внес неоценимый вклад в развитие науки о живом, так и современный функционализм станет одним из краеугольных камней всего комплекса биологических наук сегодняшнего и завтрашнего дней. Это существенно для наук, в которых рассматривается происхождение и развитие жизни, а также жизнь в ее различных проявлениях. С этой точки зрения понятны обоснованность, а также плодотворность современного функционализма, возрожденного в результате новой революции в биологии.

Особенность современного функционализма заключается в более глубоком понимании жизни как системы, где организация структур и функций взаимообусловлены. Вместе с тем жизнь — понятие динамическое, в связи с чем функциональные подходы к пониманию ее сущности особенно важны. Я хотел бы подчеркнуть, что современный функционализм технологичен в том смысле, что он рассматривает жизнь на всех уровнях как сложно организованный процесс, имеющий ряд особенностей. К числу таковых относятся полезные эффекты, сформировавшиеся в ходе эволюции, побочные эффекты, служащие материалом дальнейших эволюционных трансформаций, и т. д.

Начиная с Фрэнсиса Бэкона, сравнение отдельных органов с машинами получило широкое распространение. Различные типы машин, в особенности механических, стали привычными моделями для анализа структуры и функции различных органов живых существ. По мере развития химии для этой цели стали привлекаться химические устройства и процессы. Во многих случаях это было грубым упрощением биологического процесса, иногда облегчавшим, а иногда и затруднявшим его понимание. Однако анализ даже простых механических моделей позволял нарисовать картину, близкую к истинной. В качестве примера можно привести представление о движении крови в той форме, в какой оно было представлено В. Гарвеем.



270-271

Эра экспериментальной биологии и медицины была одновременно и эрой естествознания, где естественные объекты интерпретировались в виде сложноустроенных машин. Нельзя исключить, что на смену таким представлениям сейчас приходит более глубокое понимание биологических процессов, где на первое место выйдут технологические идеи.

Следует еще раз сказать несколько слов о физиологической эволюции. По-видимому, в эволюционной физиологии существуют тесно связанные и не противоречащие друг другу направления, которые могут быть обозначены так функциональная эволюция и физиологическая эволюция. Функциональная эволюция связана с исследованием законов эволюции функций, Физиологическая эволюция изучает общие закономерности эволюционного процесса. Понятие физиологической эволюции включает в себя следующие положения.

1. Однотипность процессов — отражение одного из фундаментальных принципов жизни как планетарного явления. Такой подход соответствует взглядам В. И. Вернадского о

биосфере. Единство жизни на уровне биосферы обусловлено биотическими круговоротами, основанными на трофических связях, т. е. на функциональных взаимодействиях определенного типа. Такое единство возможно лишь при универсальности по крайней мере на двух уровнях: на уровне строительных блоков — мономеров (биохимический уровень) и на уровне функциональных блоков (физиологический уровень). Таким образом, первая и важнейшая закономерность, которую постулирует физиология, вступая в противоречие с другими науками, — это представление о жизни как планетарном процессе. Такой подход объясняет также и асимметрию жизни. Это не отрицает идеи, получившей широкое признание в нашей стране и за рубежом и заключающейся в том, что асимметрия жизни могла возникнуть в добиологический период в результате вероятностной флуктуации. Однако физиологическая эволюция свидетельствует, что такая асимметрия поддерживается вследствие гомеостатирования биотического круговорота.

2. Стабилизация касается функционально значимых элементов, участвующих в выполнении элементарных

272

функций, и не затрагивает Другие структуры, где проявляются закономерности, чаще всего фигурирующие под названием нейтральной эволюции.

3. Все разнообразие функций и структур базируется на некотором количестве универсальных функциональных блоков, т. е. структур, реализующих элементарные функции. Эти структуры образуют специализированные системы, отличающиеся разнообразием за счет их сложного комбинирования. Следовательно, эволюция идет преимущественно по пути комбинирования универсальных функциональных блоков. При этом мутирующие гены относятся преимущественно не к структурным, а к регуляторным генам. Таким образом, в ходе эволюции увеличивается роль мутаций в регуляторных генах, причем у эукариотов этот тип мутаций является основным. Такая мысль одновременно и независимо была высказана и другими исследователями.

Стабильность некоторых свойств определенных систем в течение длительных интервалов эволюции я вместе с тем использование одних и тех же функциональных блоков можно проиллюстрировать двумя примерами. Первый пример был приведен мною выше и касается стабильности амилаз животных различных видов, а также амилаз, выделенных из различных органов одного и того же организма. Я не смог обнаружить признаков эволюции и совершенствования этих молекулярных машин в ходе эволюции. В последние годы такое заключение получило подтверждение. При изучении первичной структуры генов амилазы и самой амилазы бактерий, дрожжей, а также амилазы слюнных и поджелудочной желез млекопитающих оказалось, что принципиальных изменений в первичной структуре фермента не произошло. Более того, все те части, которые связаны с ферментативным катализом, остались неизменными. Замещение аминокислот происходило в так называемых индифферентных частях молекулы.

Второй пример относится к собственно кишечным мембранным ферментам. В нашей лаборатории было показано, что во многих случаях меняется не каталитический домен, а регуляторная субъединица фермента. Иными словами, каталитическая субъединица отличается большой стабильностью.

Таким образом, физиология и физиологическая эволюция способны объяснить ряд общих закономерностей эволюции, которые до сих пор не были ясны и не могли получить интерпретации.

Технологические подходы к происхождению и эволюции жизни не ограничиваются познавательной стороной. Если жизнь — это особая естественная технология, то при ее конструировании и воспроизведении следует учитывать основные законы естественных технологий и их эволюцию. Изготовление отдельных молекул (машин, строительных и функциональных блоков) не является созданием живого, хотя и может быть шагом вперед на пути к достижению этой цели. Создание новых форм жизни, по-видимому, будет осуществляться ради следующих главных целей: 1) для решения производственных задач (реализация различных биотехнологических и биотехнических процессов);

273

2) для познания законов жизни; 3) для усовершенствования жизни и ее распространения. Первые задачи вполне понятны и вытекают из практики и традиций современной науки и морали. Что касается последней задачи, т. е. создания новых, более совершенных форм жизни, то, по-видимому, эта потребность сформируется в полной мере в будущем. Речь идет о высших духовных побуждениях в распространении достижений человечества во Вселенной. Можно надеяться, что прогресс, открывший фантастические возможности для разрушения, в конце концов сделает реальностью современные созидательные потребности человечества.

Искусство реконструирует жизнь и воздействует на нее, используя естественнонаучные и технологические подходы и соответственно получаемую информацию. Достаточно сослаться на многочисленные указания крупнейших художников, представлявших различные школы, виды и направления искусств, на то, что их интересует анатомия, физиология или сущность живого. С другой стороны, весьма многочисленна группа людей искусства, которая (по их выражению) “конструирует” новые, ранее не существовавшие способы выражения самого себя и своих представлений или же ищет новые приемы воздействия на чувства и мысли слушателя, зрителя и читателя. Возможно, проблема естественных технологий в искусстве найдет прямой

274

или косвенный резонанс. Во всяком случае это поможет лучше понять, что нередко новое — это новый набор уже известных блоков. В то же время принципиально новое, сконструированное из чуждых блоков, может не взаимодействовать с данной системой, так как гармония возможна лишь на основе единства и универсальности, поражающих своей всеохватывающей простотой.

Эти суждения, конечно, весьма односторонни. Тем не менее я все же позволю себе остановиться на них прежде всего потому, что этика и эстетика, формирующиеся по очень сложным законам, существенно зависят от характера деятельности, профессиональной направленности и особенностей личности. Известно, что этические оценки естествоиспытателей и технологов всегда существенно различались. Можно было бы подробно мотивировать эти высказывания и даже документировать их соответствующими примерами. Но на меня наибольшее впечатление в оценках техников и технологов всегда производила убежденность, что сделанное человеческим разумом в этическом отношении оправдано, если получило положительную оценку нескольких человек, а тем более сообществ или учреждений. В действительности, как показывает опыт, это не так.

Овладение естественными технологиями и их использование в создании производственных, или искусственных, технологий может быть направлено и на благо, и во зло человечеству. Такими примерами могут служить генная инженерия, создание бактериологических препаратов и т. д. Отсюда крайне существенна изначальная этическая позиция человека (ученого или технолога) и его четкое понимание возможностей различного по своей социально-этической направленности использования достижений биологических наук в целом.

Для того чтобы в обществе сформировалось ясное понимание этической и эстетической необоснованности вмешательства человека в природу, не требуется исчерпывающего представления о естественных технологиях. Концепция естественных технологий прежде всего важна для понимания причин, механизмов и масштабов такой опасности. Она помогает в полной мере осознать, насколько трудно принимать действительно оптимальное технологическое решение или находить

275

производственную технологию, не влияющую негативно на окружающую нас жизнь; последняя является еще более сложно организованной системой и поэтому еще более цепной технологией, чем создаваемая человеком. Человек должен осознавать себя как часть иерархии технологий в биосфере, где взаимодействуют естественные и искусственные технологии и где перед ним стоит задача — регуляция всей совокупности технологий в биосфере. Понимание этого не может не отразиться на самых глубоких этических и эстетических критериях, которыми руководствуется современный человек.

Итак, охарактеризованы многие фундаментальные закономерности биологических систем и соображения, позволяющие рассматривать их как своеобразные естественные технологии, возникшие и сформировавшиеся в ходе длительной эволюции. Возможность описать сложно организованные процессы в пределах одной науки на основе некоторых общих законов открывает для нас новые перспективы.

Попытаемся подвести некоторые итоги краткому очерку естественных технологий живого. Как наука естественная технология имеет свой предмет: закономерности организации и деятельности, эволюции и преобразований живых систем. Будучи наукой функциональной, естественная технология изучает процессы, способы, средства и результаты. Под способами подразумеваются программа и управление процессами; под средствами — структура и энергия, необходимые для их реализации; под результатами — некоторые эффекты, возникающие в ходе процесса.

Самое важное следствие, вытекающее из представлений о естественных технологиях, заключается в сближении и объединении полярных областей науки — естествознания и технологии. Такая интеграция стала возможной лишь тогда, когда была выявлена общность закономерностей в живых системах и в системах, созданных человеческим разумом. По всей вероятности, еще в первой половине XX в., а тем более в XIX в. технологический подход в естествознании был невозможен, вернее, не мог выйти за пределы иллюстраций. Для естествоиспытателей того времени искать сходство

276

в организации примитивных технологических процессов с совершенными, но непонятными естественными процессами было необоснованно и бесплодно. Сверх

того, старое естествознание отвергало идею целесообразности строения в деятельности живых систем как чуждую науке, изучающей законы природы.

Следует иметь в виду, что технология, еще будучи зачаточной наукой, видела в целесообразности тот ориентир, который превращал набор технических приемов в технологический процесс. Потребовалось много революционных событий в естествознании и технологии, чтобы сблизить эти науки. Наконец, естествознание включило целесообразность как результат эволюции и свойств живых систем на всех уровнях их организации. С другой стороны, производственные технологии в своем моделировании конкретных объектов и явлений живой природы или общих ее закономерностей стали обретать элементы науки о предмете, а не только о способах приложения достижений других наук ради выгоды, как писал на рубеже XIX и XX вв. Д. И. Менделеев.

Следует подчеркнуть, что представление о естественных технологиях — это не рассмотрение жизни как сложного производства необходимых для нее деталей. Это представление заключается в попытке обратить внимание на плодотворность изучения общих законов сложно организованных процессов в естественных и искусственных системах, а также в использовании этих законов для управления такими процессами, что имеет огромное теоретическое и прикладное значение.

Проблема естественных технологий кажется захватывающе интересной. По всей вероятности, теперь в области науки возможен тот подход к явлениям природы и системам, созданным руками человека, который до сих пор был доступен лишь концепциям, основанным на вере. Действительно, мир в глазах креациониста — результат технологии, созданной творцом. Производственные же технологии в рамках такой логики относятся к технологиям второго, менее совершенного уровня.

Идея естественных технологий заключается в том, что закономерности и процессы функционирования, а также эволюции живого являются технологиями, со-

277

зданными природой. Конечно, сегодня многое остается непонятным, так как здание концепции естественных технологий далеко до завершения. Однако следует иметь в виду, что понимание сущности явлений — это “многоярусная структура”. Необходимо учитывать, что в такой многоярусной башне, окутанной туманом незнания, видны лишь самые первые этажи. В этой связи крайне важной кажется мысль, объединяющая величайших физиков нашего времени, что современная наука базируется на двух идеалах — внутреннем совершенстве и внешней обоснованности. Идея всеобщей технологии тесно связана с этими идеалами. В самом деле, в таком подходе есть уникальность, последовательность и стройность, он объединяет живое и неживое, он эволюционен и активен, т. е., основываясь на прошлом, он устремлен в будущее. Кроме того, в рамках всеобщей технологии представляется возможным найти новые аргументы для объединения ряда проблем науки и этики.

Уголев А. М. Естественные технологии биологических систем. - Л., 1987. - С. 5-20, 250-278.