

Александр Малиновский



Становление системного подхода в биологии

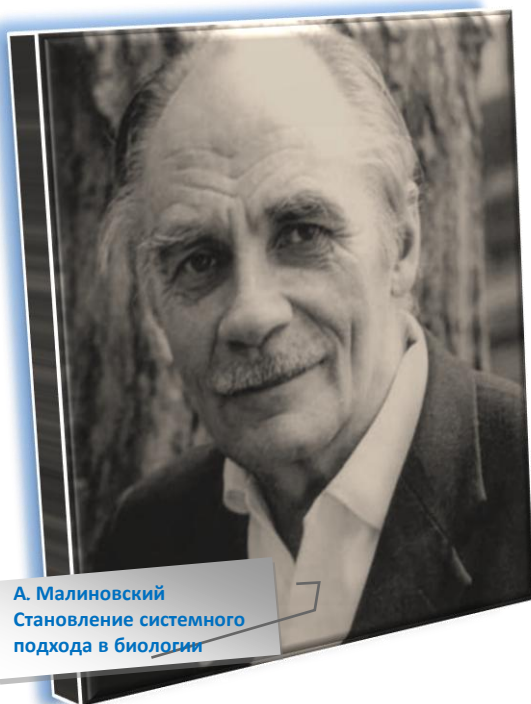
Александр Малиновский
На правах рукописи

Становление системного подхода в биологии

Оглавление	стр.
Предисловие	3
Введение	5
Гл. I. Основные направления системных исследований в биологии	9
§ 1. Структурно-системное направление как основное в теории биологических систем	12
§ 2. Некоторые проблемы и закономерности общей теории систем в биологии	14
Гл. II. Оформленные теории систем	30
§ 1. М. Петрович	33
§ 2. А. Богданов	41
§ 3. Л. фон Берталанфи	57
§ 4. Кибернетика и общая теория систем	60
Гл. III. Системные закономерности в исследованиях биологов, не обобщавших их специально в теории систем	62
§ 1. Дарвинизм и принцип отбора	64
§ 2. Принцип слабого звена Ю. Либиха	75
§ 3. Обратные связи в работах отечественных биологов	79
Гл. IV. Некоторые практические применения теории систем биологических наук	89
Гл. V. Проблемы теории систем и биология будущего	117
Гл. VI. Проблема систематизации терминов и понятий в теории биологических систем	124
Краткое заключение	141

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии



А. Малиновский
Становление системного
подхода в биологии

*Александр Малиновский,
русский ученый и философ,
специалист в области биологии и генетики,
теории и практики применения системного
подхода и кибернетики*

Предисловие

Вторжение в биологию точных методов идет по двум линиям, лишь отчасти соприкасающимся друг с другом. С одной стороны, это недавно развившиеся биофизические, биохимические, молекулярные направления, в первую очередь в генетике, далее распространившиеся и на другие области биологии. Здесь точные методы развиваются за счет внесения данных и закономерностей из физики и химии и, прежде всего, касаются низшего уровня биологических систем – тех уровней, где в организации живого уже отчетливо сказываются законы физики и химии.

Другой путь связан с теоретическими методами математики, логики и с недавнего времени системного подхода. Математические методы до возникновения генетики, в основном, были в биологии лишь подсобными методами. С возникновением генетики они приобрели решающее значение в значительной части этой области биологии, а затем и в генетической теории эволюции.

Математические закономерности также стали играть существенную роль в изучении процессов морфогенеза, взаимоотношений, возникших между видами в природе и в некоторых отделах физиологии. Логические подходы имеют особое значение со времени Ч. Дарвина, и можно сказать, что сама теория Дарвина в своей основной части является чисто логической теорией.

Обычно Дарвину ставят в заслугу едва ли не на первом месте огромный материал, собранный им для доказательства эволюции, и это действительно большая его заслуга. Но сердцем его теории, бесспорно, является именно логический анализ давно известных фактов: изменчивости, наследственности, геометрической прогрессии, размножения и вытекающего из последнего естественного отбора, обуславливающего эволюцию. Об этом он пишет в последних строках своей книги «Происхождение видов», и одного этого было бы достаточно для точно мыслящих ученых, чтобы признать его теорию бесспорной. Интересно, что в своей анкете, в которой он очень скромно отзывался о своих способностях, лишь в одном месте он оценивает их более справедливо. На вопрос

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

об оригинальности своего мышления он пишет, что считает его оригинальным, так как ему удалось увидеть новое в давно известных фактах. Это вполне согласуется с тем, что сказано выше о логической сути его теории.

Логические построения в дальнейшем были присущи многим биологам и математикам, сделавшим в науке о жизни новые принципиальные шаги. Из советских ученых это, в первую очередь, А. Н. Северцов, А. Н. Колмогоров, И. П. Павлов, И. И. Шмальгаузен и многие другие. Логика, естественно, является основой всякой теории. За нею следуют математические методы, играющие огромную роль в точных науках, а теперь занимающие все большее место и в биологии. Но наиболее перспективной в настоящее время в биологии является новая наука – общая теория систем, быстро развивающаяся и дающая все большие результаты именно в биологии и смежных науках и сама получающая стимулы в значительной степени именно из этих дисциплин. Краткому изложению основных этапов во взаимоотношении теории систем и биологического круга наук посвящена настоящая работа, естественно с особым вниманием к роли отечественных исследователей.

Введение

Теория систем имеет короткую историю, однако эта история интересна в ряде отношений и может быть разделена на два отдельных исторических потока.

Один – освещенный лучше, хотя также недостаточно полно – это история тех систем, которые создавали авторы, специально занимавшиеся этой областью науки. Таких было немного, и главные из них относятся к настоящему веку. Это, в первую очередь, Михаил Петрович, затем А. А. Богданов и, наконец, Л. фон Берталанфи. Н. Винер, создатель кибернетики, может считаться также в значительной степени одним из авторов-создателей теории систем, о чем мы скажем ниже.

Другой поток – это специалисты в разных областях, ученые с широким кругозором, которые не думали о создании теории систем, но, тем не менее, высказывали такие идеи, открывали такие закономерности, которые естественно вошли или входят как необходимые составные части в общую теорию систем.

При этом как в первой категории авторов, так и во второй преобладают, по-видимому, биологи, и очень большую роль среди них сыграли наши отечественные биологи.

История системного подхода представляет большой интерес, как с точки зрения подведения некоторых итогов в развитии этой области, так и с точки зрения обнаружения тенденций, которые выявились на кратком историческом пути этой науки.

Настоящая работа предполагает рассмотреть некоторые основные понятия теории систем и осветить в какой-то мере узловые – и только узловые – пункты в этих двух потоках, послуживших источником современного состояния данной науки. При этом основное внимание мы обратим на биологов, поскольку это является нашей задачей и поскольку не случайно именно биологи были в значительной степени инициаторами развития этой науки. Как говорилось, прежде всего, мы остановимся на отечественных авторах, которые менее известны даже в нашей литературе, не говоря уже о зарубежной, и поэтому заслуживают особого освещения.

Но, кроме того, мы считаем нужным уделить внимание не столько создателям уже завершенных на каком-то этапе теорий систем, как бы они ни назывались (М. Петровичу, А. А. Богданову, Н. Винеру и Л. фон Берталанфи), а тем биологам, которые внесли свою лепту в этой области и значение которых было, на наш взгляд, недооценено. К ним, в первую очередь, относятся Ч. Дарвин, затем Ю. Либих и из отечественных авторов такие, как А. Белов, М. М. Завидовский, и целый ряд других. Именно эта часть нам представляется наиболее интересной и слабо освещенной. Поэтому ей уделено особое внимание.

При этом мы должны различать несколько понятий, связанных с теорией систем. Под теорией систем разные авторы понимают различные вещи. Поэтому необходимо ввести определенное разделение между разными уровнями и разными направлениями в этой области.

Г. П. Щедровицкий справедливо предполагал, что в настоящее время надо говорить не только о **теории систем**, но и о **системном движении**. Системное движение – это такое движение, которое включает в себя ряд различных специальностей, ряд различных направлений, часто очень несходных, но, тем не менее, сливающихся в одном русле, так как по различным причинам термины «система», «системность» привлекают представителей этих разных направлений. Сюда входят и биологи, и экономисты, и инженеры, и математики, и философы, и ряд представителей других наук и взглядов.

Конечно, давать историю системного движения практически невозможно, так как в нем заключены такие разнородные элементы, которые нелегко объединить, даже если обладать нужной эрудицией. Одному человеку трудно охватить все эти разные подходы, разные психологические и социальные причины, которые привели к созданию такого движения.

Наряду с этим можно говорить о системном подходе. Системный подход предполагает уже нечто более конкретное. Он предполагает, что каждое явление рассматривается как система, а не в изоляции одних элементов от других и, с другой стороны, как недостаточно дифференцированное целое. Здесь уже возможны более конкретные представления и более единого характера у разных авторов, но есть и разные аспекты, о которых надо говорить отдельно.

Один аспект – это просто рассмотрение любых явлений или образований, как системы, без внесения каких-либо закономерностей, но с учетом всех внутренних и внешних связей в этом явлении или образовании. Такой подход в значительной степени диктовался уже принципами диалектического материализма и является весьма продуктивным в любой конкретной науке. Однако он не обязательно связан со вскрытием новых конкретных закономерностей, специфических для систем, и еще слишком неоднороден по своей природе. Здесь могут быть просто логические рассмотрения явлений в системном разрезе, как могут быть и математические подходы. Сюда относятся кибернетические подходы, среди которых есть и более частные, и более общие. Здесь используются различные методы подхода к системам для их последовательного анализа (системный анализ), не включающие, однако, учет каких-либо совершенно новых принципов, а являющиеся лишь своего рода техническими приемами для более удобного расчленения систем и для более эффективного их рассмотрения.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

С другой стороны, в этом же системном подходе большое место занимает и философское осмысление этого подхода, где рассматриваются вопросы о положении системного подхода, его отношение к философии, математике, к конкретным наукам.

Все эти аспекты представляют собой большой интерес: и теоретический, и часто практический, но это нельзя еще назвать общей теорией систем, как называл Л. Фон Берталанфи декларируемое им направление.

Три названных автора – М. Петрович, А. Богданов и Л. фон Берталанфи, не зная друг о друге, тем не менее, сформулировали с разной степенью отчетливости некоторые общие принципы общей теории систем, как мы пока еще называем эту дисциплину по термину, предложенному последним автором, сделавшим и последние фундаментальные шаги в этом смысле: Людвигом фон Берталанфи. Эти общие принципы, вероятно, и следует положить в основу общей теории систем, как отдельной научной области.

В теории систем речь идет не только о рассмотрении различных образований и явлений как системы, но и об изучении некоторых закономерностей, общих для систем в самых различных областях и позволяющих по-новому подойти к явлениям мира, по-новому анализировать системы, в известной мере абстрагируясь от того, из каких элементов они построены, сколько этих элементов и какая задача при этом решается. Вот это направление и является, на наш взгляд, тем стержнем, наиболее определенным и существенным в системном движении, которое нас интересует, именно это направление и является объектом нашей работы.

При этом выясняется, что те, кто создавали различные теории систем, в значительной степени пользовались, конечно, работами своих предшественников – специалистов в разных областях, пытаясь обобщить их и свести в некоторую единую картину, которую они сами считали – и, на наш взгляд, справедливо – новой наукой.

Таким образом, мы кратко остановимся на основных взглядах авторов, создававших свои уже оформленные теории системного характера. Тех четырех авторов, которых мы упоминали, и уделим особое внимание тем биологам, зарубежным и особенно отечественным, которые своими работами сделали значительный вклад в формирующуюся теперь общую теорию систем.

Наша работа распадается на несколько разделов, а именно: первая глава посвящена некоторым общим представлениям, вторая глава – краткому изложению взглядов создателей обобщающих теорий в этой области; третья – роли биологов, зарубежных и особенно отечественных, которые своими открытиями и логическими построениями внесли значительный вклад, используемый в теории систем. В четвертой – мы постараемся показать реальную значимость теории

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

систем на примере решения ряда теоретических и практических задач с помощью использования простейших принципов, уже сформулированных в теории систем. Наконец, в пятой главе подводятся итоги, ставятся некоторые задачи перед теорией систем, обсуждается ряд общих понятий, относящихся к биологическим системам, и делаются попытки анализа будущей роли теории систем в биологии.

Глава I

Основные направления в системных исследованиях в биологии

Возникновение системного подхода в науке обычно связывают с именем Людвиг фон Берталанфи, крупного биолога, который, по его собственному признанию пришел к представлению об общей теории систем еще в 30-е годы, но фактически в печати выступил лишь в сороковых годах. Австриец по происхождению, он эмигрировал из гитлеровской Германии в Америку, где и проходила в основном его дальнейшая деятельность. Там была создана для изучения и развития теории систем организация, в которую вошли его многочисленные ученики и сотрудники. Из них, в первую очередь, следует отметить Анатолия Раппопорта. Основная идея общей теории систем, изложенная в ряде работ Берталанфи, заключается в том, что закономерности, относящиеся к самым различным областям науки, имеют между собой много общего. А системы, состоящие из самых различных элементов – физических, химических, биологических и т.д., – строятся по одним и тем же принципам и подчиняются этим общим закономерностям. Он подчеркивает, что возможны два различных подхода к представлению о единстве мира: редукционистский и системный.

Редукционистский подход, который в основном господствовал в науке до недавнего времени, был типичен для механистического материализма, начиная с материалистов Древней Греции. Согласно ему, все явления сводятся к явлениям более низкого уровня: общественные к биологическим, биологические к физическим и химическим и т. д. – вплоть до элементарных частиц, из которых состоит весь мир. Такое сведение всех явлений к одним и тем же простейшим элементам доказывает единство мира, но именно в разрезе редукционизма, то есть сведения сложного к простому, с потерями бесспорных специфических черт более сложных уровней.

Берталанфи противопоставляет этому редукционистскому подходу второй подход, подход системный, в котором единство мира выступает совершенно в ином разрезе, а именно, как мы говорили выше, в разрезе единства закономерностей, управляющих любой системой на самых разных уровнях, от элементарных физических до биологических и социальных. Поэтому – и для познания мира, и для понимания методов воздействия на него – очень важно изучение таких общих закономерностей, одинаково проявляющихся в системах на любых уровнях сложности. В этом заключается основная проблема, которую поставил Берталанфи и которая является центром общей теории систем. Общая теория систем должна, по его мнению, быть теорией, охватывающей все эти общие принципы, применимые во всех науках. Но главное внимание он, естественно, как биолог, обращал на биологические системы, тем более, что они являются наиболее сложными из естественных систем.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Таково общее представление о возникновении и задачах теории систем, которое в настоящее время является наиболее распространенным. Однако оно не совсем точно. Во-первых, задолго до Берталанфи, в начале XX века, аналогичная постановка вопроса была сделана несколькими учеными, пытавшимися систематизировать общие принципы, охватывающие все науки. С другой стороны, еще раньше, ряд исследователей в разных науках, и особенно в биологии, разработали отдельные принципы, которые позже вошли в теорию систем. В середине XIX века основоположники современной социологии и биологии уже отчетливо оформили определенные общие системные принципы, которые в дальнейшем распространяются на другие науки. В социологии такую роль сыграли К. Маркс и Ф. Энгельс, а в биологии – Ч. Дарвин. Подробнее на некоторых из этих вопросов мы остановимся позже.

Во-вторых, сам Берталанфи, правильно поставив вопрос, фактически, по мнению некоторых авторов, например Аптера, развивал свои идеи в значительной степени не в том русле, которое он сам наметил. А именно не в направлении выявления общих принципов, охватывающих все науки, а преимущественно в области изучения открытых биологических систем и специально термодинамики этих систем.

Развивая свои взгляды, Берталанфи указал на близость общей теории систем с кибернетикой и одновременно подчеркнул, что кибернетика ставит более узкие задачи, поскольку является наукой только об управляющих системах, в то время как общая теория систем охватывает вопросы шире и изучает системы различных типов. При этом он считал, что изолированное изучение управляющих систем не может дать таких больших результатов не только потому, что ограничивает свои интересы одним классом систем, хотя и очень важным, но и потому, что понимание самих управляющих систем может быть достаточно полным только в сопоставлении и соответствии с системами других типов.

Исторически получилось так, что общая теория систем получила признание только после того, как возникла и была признана кибернетика. Ряд кибернетиков – в Англии У. Р. Эшби, в Советском Союзе член-корр. А. А. Ляпунов, – бесспорно, понимали кибернетику шире, чем ее первоначально сформулировал Н. Винер, и в одном из своих высказываний Ляпунов вообще ставит знак равенства между качественной, как он выражается, кибернетикой и теорией систем. Такая точка зрения может быть несколько крайней, но близость этих двух направлений признается всеми. В настоящее время и кибернетику, и теорию систем, и некоторые другие разделы знания, такие, как теория информации и теория игр, и т. д. А. И. Уемов относит к единой новой категории наук.

Классические науки он выделяет в категорию «наук о вещах», задача которых в значительной степени определяется конкретными категориями предметов, таких, например, как химические

вещества и процессы в химии, физические тела любых рангов в физике, космические образования в астрономии, живые организмы и системы в биологии и т.д. Напротив, возникшие новые науки он называет «науками об отношениях вещей», причисляя к ним теорию систем, кибернетику, учение об информации, учение об играх и др., то есть те науки, которые мы перечислили выше. Бесспорно, что помимо наук, перечисленных Уемовым, к данному типу следует отнести также одну из древнейших наук, которая тысячелетиями единственная представляла эту категорию, а именно математику.

Она возникла, только как наука о величине и числе, то есть об отношениях величин и чисел любых объектов, и поэтому с полным правом должна быть отнесена к наукам об отношениях вещей. Но, кроме того далее, сохраняя все время связь с этими исходными понятиями (величина и число), она частично вышла за их пределы в таких областях, как учение о множествах, топология или математическая логика. Однако ее развитие само по себе не смогло еще непосредственно дать начало ряду тех дисциплин, которые входят в категорию наук об отношениях вещей. Тем не менее, можно считать, что перечисленные и некоторые другие разделы математики возникли в результате развившейся потребности в широкой категории дисциплин об отношениях вещей. Сделанные здесь шаги, хотя и дали огромный эффект общенаучного характера, как в теории, так и в приложениях, но все же не смогли полностью заменить эти (тогда еще будущие) науки, которые частью развились, как мы увидим ниже, из других источников.

Нам кажется правильным разделение «наук об отношении вещей» на две большие категории: на собственно математические науки и на возникшие позже перечисленные нами дисциплины, которые можно пока объединить под названием, относящимся к одной из них, именно, под названием «общей теории систем». Следует отметить, что не случайно значительное число создателей представления об общей теории систем или о ее разделах вышли из круга биологов или специалистов в родственных биологии науках (медицина, психология и т.п.). Причины этого мы рассмотрим позже. Также следует отметить, что признание общей теории систем привело к определенным последствиям более широкого порядка.

В широких научных и инженерных кругах в последние два-три десятилетия возникло представление о системном подходе. Представление это – не очень отчетливое, оно не ограничивает себя рамками изучения новых, четко сформулированных общих закономерностей и доказательств их общности. Оно, скорее, декларирует, что любое явление надо рассматривать в системе, и развивает определенные методы, облегчающие изучение различных явлений, как процессов именно системного характера, хотя и без внесения в это изучение каких-либо принципиально новых обобщенных законов, охватывающих любые явления в самых различных науках.

Г. П. Щедровицкий пошел дальше и пришел к выводу, что в настоящее время создано не очень определенное в своих границах системное движение. Это движение включает разнообразные направления, возникшие в разных науках и по разным мотивам и отличающиеся друг от друга существенными чертами, но в то же время признающие себя едиными в своем основном существе.

Настоящее введение и ставит своей задачей отграничить в этом широком системном движении те основные проблемы в биологии, которые ниже будут рассматриваться в историческом разрезе.

1. Структурно-системное направление как основное в теории биологических систем

Одними авторами системный подход понимается лишь в том смысле, что любое явление должно рассматриваться в качестве системы и в связи с внешней средой, как сверхсистемой. Другие, более близкие к основоположникам общей теории систем, принимая, конечно, указанное положение, разрабатывают и применяют методы, позволяющие анализировать различные проблемы путем построения различных схем и подходов к сложным явлениям.

Третьи, как например, Месарович, считая себя ортодоксальными представителями общей теории систем, как ее сформулировал Л. фон Берталанфи, тем не менее, в своих работах сводят теорию систем, в основном, к математическому рассмотрению систем, а не к изучению законов, устанавливающих специфические особенности строения систем и связанные с этим строением их функции и развитие.

Между тем, именно это последнее направление является наиболее новым и существенным в общей теории систем, и не случайно, что основоположники этой новой науки (Берталанфи, Богданов, Петрович и др.) именно в изучении специфических общих законов строения, развития и функции систем видели свою основную задачу. И это, бесспорно, является центральной проблемой общей теории систем. А для биологии это особенно важно, так как разнообразие и сложность систем здесь наиболее требуют такого подхода. Математические методы успешно внедряются в биологию, но они явно не могут выполнять в ней ту ведущую роль, какую они играют, например, в физике. В биологических системах слишком многие параметры неустойчивы, да и трудно определяются. Напротив, структура систем оказывается зачастую гораздо более существенным и устойчивым показателем. Кит и мышь построены в основе по одному плану, а их размеры (масса) различаются в 10000000 раз, так же, как различны среда обитания и другие их особенности. Поэтому именно центральное системно-структурное направление, которое нужно считать собственно общей теорией систем, особенно важно для биологии.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

В предлагаемой работе речь будет идти лишь об обобщенных закономерностях, выросших из биологии или внесенных в нее извне, но имеющих общесистемный характер, о закономерностях, достаточно ясно сформулированных и включающихся в широкое русло общей теории систем, но так, как она проявляется в биологии. Конечно, при этом, поскольку общая теория систем гораздо шире биологической науки, неизбежны некоторые экскурсы к другим источникам общей теории систем, связанным с науками не биологического профиля. Однако главная наша задача заключается в рассмотрении основных этапов становления общих представлений о строении, функционировании и развитии систем именно в биологии и тех общих закономерностей, уже вышедших за пределы биологии, которые, однако, возникли или получили особенную дифференциацию в пределах биологической науки.

Наиболее обобщенная и обширная формулировка системной теории задолго до Берталанфи была предложена двумя учеными. Серб Михаил Петрович опубликовал на французском языке две книги. В одной из них (1906), развивается учение об аналогиях, а во второй (1921) – представления об однородных механизмах разнородных явлений. Автор – крупный ученый, недостаточно оцененный в свое время, судя по содержанию книги, является представителем физико-математических или технических наук. Второй автор – отечественный исследователь А. А. Богданов, по образованию врач и биолог, но более известный как политэконом и философ. В 1913 году он издал первый том своего трехтомного труда «Всеобщая организационная наука (Тектология)». Второй том вышел в 1917 году, а третий (вместе с переизданными первыми двумя) в 1922 году. Следующее издание вышло в Москве отдельно тремя томами в 1925, 1927 годах и параллельно в 1926 и 1928 году первые два тома были изданы на немецком языке в Германии. Эти два автора, каждый по своему, нарисовали широкую картину, основываясь на тех идеях, которые значительно позже (30-40-е годы) развил Людвиг фон Берталанфи в своей «Общей теории систем», и в отличие от него попытались полнее сформулировать ряд конкретных общих закономерностей, приложимых в самых различных областях знания.

В последнее время сравнение «Общей теории систем» Берталанфи и «Всеобщей организационной науки» Богданова было проведено академиком А. Л. Тахтаджяном, который подчеркивает не только более раннее возникновение «Всеобщей организационной науки», но и указывает на большую значимость закономерностей, сформулированных в ней. Но, кроме этих трех, (а если признать сходной с ними кибернетику, то четырех) обширных работ, обобщающих ряд универсальных принципов, имеются, во-первых, исследователи, сформулировавшие в ряде научных областей, например в биологии, некоторые принципы, которые позже оказались столь же универсальными и частью вошедшими (а частью еще и не вошедшими) в указанные общие работы.

А, во-вторых, еще более ранние предшественники, создавшие широкие теории и применившие их к решению реальных задач: К. Маркс, Ф. Энгельс и Ч. Дарвин.

Рассматривая становление системного метода в биологии и наиболее значительные, по нашему мнению, исследования в основном в хронологическом порядке, мы неизбежно будем, с одной стороны, переходить от общих принципов к частным и обратно. А, с другой стороны, желая рассмотреть логические связи или оценить их значимость, будем вынуждены отклоняться от строгого хронологического порядка, чтобы показать, как ранние работы отражались в дальнейшем, в будущем, иногда даже довольно отдаленном, на развитии науки вообще и на системном подходе в биологии в частности. Такова основная цель предлагаемого исследования.

Но прежде, чем перейти к рассмотрению проблемы в историческом плане, следует коротко остановиться на характере теории биологических систем в настоящее время. К. Маркс в предисловии к «Критике политической экономии» высказал мысль о том, что для более полного понимания ранних этапов развития определенного явления следует рассмотреть его сначала в наиболее развитом виде. В таком виде выявляются все его характерные черты, которые на ранних стадиях еще очень нечетки и могут быть непонятны исследователям. В данной работе К. Маркс относил это к явлениям обмена в обществе, который достиг полного выражения, когда приобрел материальный субстрат в виде денег. Но он иллюстрирует свою идею на другим примере: изучение мозга обезьяны следует начинать с описания более развитого и дифференцированного мозга человека, поскольку ряд образований, находящихся в зачаточном состоянии у обезьяны, получают более ясное освещение, если будет понятно, во что они развились более полно в той эволюционной ветви, которая, в конечном счете, привела к появлению человека.

Несомненно, что в историческом изучении того или иного научного направления эта идея очень плодотворна. Ранние формулировки новых концепций нередко имеют ошибочные включения и определенную неполноту, скрывающие то прогрессивное начало, которое в них заложено и которое нужно открыть. Еще более это относится к тем идеям, которые их авторы и не связывали вообще с изучаемой концепцией, но которые возникли по другим поводам (в отношении данного научного направления как бы стихийно) однако в дальнейшем, естественно, влились в изучаемое научное направление.

2. Некоторые проблемы и закономерности общей теории систем

Каково же основное содержание того направления, развитию которого в биологии мы уделяем свое внимание? Как сказано выше, основными задачами этого направления, бесспорно,

является изучение типов систем. Тех форм движения, которые характерны для каждого из этих типов (то есть для их функций и их путей развития, что особенно важно в биологии) и тех более сложных закономерностей, которые можно обнаружить при совместном учете элементарных закономерностей и типов систем. С другой стороны, хотя это направление гораздо менее продвинуто, задачей общей теории систем (как мы будем дальше именовать это направление в биологии) является также изучение общих причин возникновения новых свойств и особенностей, которые возникают при соединении элементов в системы, причем тех свойств, которые до синтеза в систему не отмечаются ни у отдельных элементов, ни у их простой суммы. Чтобы дальше иметь возможность более свободно подойти к основным проблемам истории системного подхода в биологии, необходимо остановиться на особенностях тех закономерностей, которые в настоящее время могут относиться к теории биологических систем. Не рассматривая сейчас вопрос хронологически, укажем на то, что ряд системных закономерностей, как отметил А. А. Ляпунов, по существу, совпадает с рядом фундаментальных положений, сформулированных в кибернетике. Однако они этим не ограничиваются, поскольку кибернетика, несмотря на разноречия во мнениях конкретных исследователей в этой области, следуя Н. Винеру, в основном, концентрирует свое внимание на управляющих системах. И лишь немногие из представителей кибернетики, такие, как А. А. Ляпунов и отчасти У. Р. Эшби, в известной мере выходили за эти пределы, первоначально очертившие область кибернетики.

С другой стороны, в теорию систем входят все те качественные, или, как следует выразиться точнее, структурные закономерности. Они относятся к любым типам систем (а не только управляющих). Эти закономерности частично были сформулированы различными исследователями, не ставившими себе задачу заниматься общей теорией систем (и лишь позже введенные в нее другими). Или же формулировались со специальной целью такими авторами, как М. Петрович, А. Богданов, Т. Котарбинский, стремившимися к систематизации и созданию единой стройной картины в этой (или близкой) области.

Одним из известных положений кибернетики является необходимость для любой управляющей системы наличия обратных связей. Это положение в то же время является и одним из основных конкретных принципов теории систем. Сформулирован был этот принцип и в работах первых создателей теории систем (1913 г.), а также в работах кристаллографа Федорова, физиолога Н. А. Белова и биолога М. М. Завадовского (30-е годы), задолго до создания кибернетики Винером.

Обратные связи могут иметь место между системами и окружающей средой или внутри системы между ее отдельными звеньями. Наиболее известна для широкого круга исследователей-неспециалистов так называемая обратная отрицательная связь. Обратная отрицательная связь

заключается в том, что, например, первый орган (обозначим его А) стимулирует развитие и функцию второго органа (В), но второй орган (В) тормозит развитие или функцию первого органа (то есть А). При этих условиях создается система подвижного равновесия. Если мы имеем дело первоначально с некоторым равновесным состоянием в этой системе, (а мы берем его просто как наиболее удобное исходное состояние для наибольшей иллюстративности), то при этих условиях стимуляция В органом А не превышает определенного уровня, так как орган В, если бы он был чрезмерно стимулированным, затормозил бы орган А и этим самым лишил себя необходимого стимула, вследствие чего и возвратился бы к норме. Если, напротив, орган В оказывается ниже равновесного теоретического состояния, то этим создаются условия, благоприятные для увеличения деятельности А (так как он меньше тормозится). Последний усиливает свою деятельность и стимулирует В, пока тот не дойдет до того же равновесного состояния.

Любое отклонение извне функции одного из этих органов будет встречать сопротивление в такой динамической системе. По этому принципу строятся различные технические приборы, такие простые, как термостат или холодильник, сохраняющие постоянную температуру, и многие другие, более сложные. Этот же принцип широко распространен в организме, особенно в организме, достигшем зрелости, в котором необходимо поддержание равновесия различных подсистем органов между собой и всего организма с внешней средой. О значении равновесия с внешней средой говорил И. П. Павлов. Как мы увидим позже, на самом деле равновесие со средой имеет довольно условный характер, поскольку для любого живого организма характерна определенная тенденция к расширению поля своей деятельности, в смысле вытеснения конкурирующих организмов и (если говорить во временном отношении) к максимальному увеличению числа потомков.

Все же, с известными ограничениями, принцип, высказанный И. П. Павловым, несомненно, сохраняет свое значение, как принцип стабилизации зрелого организма. Однако этот тип обратной связи (отрицательная обратная связь) является далеко не единственным. В живых системах не меньшее значение имеют, во-первых, обратные положительные связи, когда два органа взаимно стимулируют друг друга и способствуют возможному росту или усилению функций. А также, во-вторых, взаимные (двойные) обратные отрицательные связи, когда два органа или две функции взаимно угнетают друг друга, благодаря чему создается неустойчивое равновесие, и один из органов (или функция), в конечном счете, усиливается, а другой орган или функция угнетается. Такого, например, взаимоотношения у некоторых животных между противоположными половыми железами, мужской и женской, если они по той или иной причине оказываются вместе в одном организме. Приспособительный смысл этого взаимоотношения ясен, так как он обеспечивает неустойчивость

гермофродитизма – состояния, невыгодного для размножения организма, и создает, в конечном счете, практически обязательный переход организма к тому или иному вполне выраженному полу.

Сложные взаимоотношения этих трех обратных связей объясняют многие специфические особенности различных функций, таких, как смена сна и бодрствования, накопления мочи и мочеиспускания и других таких же «альтернативных» или более сложных процессов. С другой стороны, именно этими же типами взаимоотношений можно объяснить специфический ход различных патологических процессов. Однако обратная связь не ограничивается этими чисто количественными взаимодействиями частей друг с другом. Возможны совершенно иные типы взаимодействия, имеющие качественный или структурный характер, как например, при индукции одного органа другим в раннем эмбриональном периоде. Эти вопросы значительно сложнее и в меньшей степени подвергались до настоящего времени системной расшифровке. Однако и они входят в разряд тех закономерностей и принципов, которые в равной степени общи кибернетике и теории систем.

Другой тип взаимоотношений подсистем, известный преимущественно вне биологии, но имеющий особое значение для биологии, касается взаимного дополнения подсистем друг другом. Важную роль здесь играют, в частности, подсистемы, из которых одни берут на себя роль выполнения интенсивных, а другие – экстенсивных функций. При сочетании различных типов систем возможно дополнение ими друг друга в целом организме или в других аналогичных суперсистемах. Особое значение приобретают их оптимальное взаимоотношение и принцип построения этого оптимума. Количественно эти оптимумы могут быть рассчитаны для конкретных случаев тогда, когда ясно поставлена задача их структурного взаимоотношения, то есть взаимного дополнения и того типа сочетания подсистем, которое с наименьшим ущербом позволяет соединить противоположные функции. В задачи теории систем не входят прямо количественные расчеты, но прямой задачей является выяснение типов этих взаимоотношений, которые позволяют в дальнейшем уже искать наиболее выгодные соотношения величин противоположных функций при том или ином характере их связей.

Это – лишь немногие из тех задач и принципов, которые в равной степени входят в задачи и принципы и кибернетики, и теории систем. Но и там и тут они имеют фундаментальное значение, и их конкретное выяснение является одной из основ этих двух дисциплин. А их реальное приложение в различных областях, хотя и по-разному, представляет собой практическое применение этих общих принципов в разных областях биологии и сопредельных наук, таких, как медицина, сельское хозяйство, психология и др.

Из областей, не имеющих прямого отношения к кибернетике, хотя частью и введенных туда (особенно выразительно в одной из работ У. Р. Эшби), следует отметить принцип отбора. Этот принцип очень широко применяется в различных областях биологии, правильно и неправильно, как в его первоначальном направлении, то есть в теории эволюции, так и в ряде других направлений. Здесь очень важным моментом было установление соответствия этого принципа со специфическим типом системы и с характером тех элементов, из которых состоит система. Он позволил решить ряд основных вопросов в эволюционной теории, в некоторых разделах физиологии и индивидуального развития, психологии, а за пределами биологии – в проблемах эволюции химических элементов, эволюции космических образований и т.д. Однако применение этого принципа, как будет видно, имеет ряд ограничений в связи с весьма специфическими особенностями тех систем и элементов, которые являются объектом воздействия отбора.

Из других фундаментальных закономерностей теории систем следует отметить принцип слабого звена, сформулированный для растений, где он определяет, по мнению Ю. Либиха, скорость роста растения в зависимости от содержания различных веществ в почве. Этот принцип, явившийся предметом многочисленных споров, особенно в советской литературе, оказался характерным для определенного типа систем и применим в самых различных областях реального мира, начиная от химических соединений и кончая некоторыми социальными явлениями, о чем, в частности, говорил В. И. Ленин в одной из своих статей, которая так и называлась «Крепость цепи определяется крепостью самого слабого звена ее».

Не будем далее перечислять основные принципы теории систем, тем более что нам придется их коснуться, разбирая обобщенно в основном тексте. Однако укажем на то, что не меньшее значение в развитии системного метода имело, с одной стороны, конкретное приложение в научной теории и практике вышеназванных и других принципов, которые в настоящее время относятся к теории систем и, с другой – проблема их взаимоотношения с типами систем, классификация которых проводилась преимущественно уже в последние десятилетия. Особое значение имели и другие не менее важные проблемы. Это, в частности, проблема сочетания данных принципов, которая важна при создании представлений о столь же неспецифичных для отдельных дисциплин, но более сложных и, неизбежно, более узких закономерностях, приложимых уже к конкретным явлениям. Изложенный круг вопросов является лишь иллюстрацией к тому общему направлению системных исследований в широком смысле слова, о котором мы говорили. Характерным для него в целом является изучение реальных и конкретно действующих законов, которые, не внося еще количественно узких оценок, позволяют решать различные задачи как в области биологии, так и других наук.

Следует, однако, отметить, что формулировка, приведенная в начале данной работы, о тех общих структурных закономерностях, которые могут быть доведены до степени абстракции, аналогичной абстрактности математических представлений о величине и числе, требует все же некоторых ограничений. Действительно, структура образований, взятых из разных областей, может быть обобщена и проанализирована таким образом, что в них, независимо от качества элементов и той области, из которой они взяты, будут выявлены общие свойства и общие принципы их функционирования и развития (особенно в случае биологических систем). Однако не следует думать, что структуры определяют собой полностью все особенности системы.

Это ясно уже хотя бы из того, что, когда они относятся к различным областям реального мира: физическим, химическим, биологическим и т. д., эти системы, хотя и имеют определенную общность, но не выходят за пределы своей области и сохраняют свой химический, физический или биологический облик. Поэтому системные закономерности, так же, как и количественные, не определяют целиком каждое явление или систему. Аналогично, несмотря на всю абстрактность и общность количественных представлений, например, количественная характеристика объектов физических, химических и биологических и т.д., даже если она одинакова, не означает идентичности этих объектов. Это – лишь одна сторона в изучении данных объектов, сторона количественная. То же, естественно, касается и структурной стороны. Находя общие черты, например в дискретных системах – физических, химических и биологических по своему характеру, мы имеем право делать существенные выводы об этих системах, сходные для них. Но мы отнюдь не идентифицируем эти системы, поскольку и элементы, их составляющие, и другие особенности этих систем (включая их отношение к их среде) сохраняют свою специфику, характерную для той или иной области реального мира.

С другой стороны, мы можем декларировать сравнительную независимость структурных сторон системы от качественных характеристик элементов, входящих в систему. Это будет вполне справедливо, так же, как, например, утверждение о том, что дом может быть построен из камня, кирпича, дерева и даже из элементов, вырезанных из снега (иглу у эскимосов), сохраняя при этом основные черты жилища человека. Однако и количественные, и качественные характеристики элементов, хотя и могут быть весьма широкими, при сохранении той же структуры, они все же не являются безграничными. Поясним это утверждение на том же элементарном примере различных строений. Характеристика элементов, из которых может быть создано строение, должна удовлетворять некоторым требованиям, а именно: способности прочного соединения друг с другом, во-первых, и, во-вторых, достаточной прочности самих элементов. Из элементов, неспособных соединяться между собой, например из шарообразных по форме, без добавления какого-либо

связующего фактора, невозможно возвести никакого строения. Для строения обычно применяют прямоугольные элементы – будут ли это кирпичи, вырезанные из снега кубы или бетонные блоки. Возможны и другие формы, как, например, в бревенчатой хижине. Но они уже нуждаются в специальных дополнениях в виде вырезов на концах и уплощенных поверхностей, соприкасающихся друг с другом. Прочность элементов также ограничивает размеры системы. Современные небоскребы не могут быть построены из обычных кирпичей, так как тяжесть верхних этажей была бы настолько велика, что они раздавили бы нижние этажи, и здесь сами особенности элементов ограничивают возможности роста системы. Еще более это, конечно, относится к постройкам из снега.

Но количество элементов не может быть ниже определенного предела. Из одного-двух строительных элементов невозможно построить даже примитивное здание, так как они не способны сложиться в достаточно дифференцированную систему со стенами со всех сторон и крышей. Еще более требование к количеству возрастает тогда, когда дело касается системы, особенно сложной по форме, такой, как, например, готический собор, где для выкладывания специфического архитектурного рисунка необходимо очень большое количество элементов и к тому же достаточно небольших по сравнению с данной системой в целом. Мы привели этот примитивный пример лишь для того, чтобы показать, что структурные закономерности, хотя и имеют чрезвычайно широкое приложение в любой области знания, тем не менее, не вполне независимы от качества и количественных показателей элементов. Это не меняет того положения, что проблема «архитектуры» системы, то есть ее структуры, остается самостоятельной и чрезвычайно существенной.

В этом отношении очень точную формулировку дал в свое время крупный биохимик, отнюдь не занимавшийся специально проблемами теории систем, но высказывавший мысль, имеющую прямое к ней отношение. Это – английский эмбриолог и биохимик Джозеф Нидхем, который в своей статье «На рубеже морфологии и биохимии», переведенной на русский язык в 1936 году, писал, что любая биологическая система может быть охарактеризована в трех отношениях. С точки зрения качества ее элементов, во-первых, с точки зрения количества элементов (и, добавим мы, вообще их количественных отношений), во-вторых, и с точки зрения структуры всей системы, ее как бы архитектуры, в-третьих. Все три аспекта, только вместе взятые, полностью описывают данную систему. Но до возникновения теории систем, в основном, сознательно формулировались лишь закономерности, относящиеся к первым двум аспектам, хотя, конечно, интуитивно и отдельно для каждой области знания формулировались и архитектурные принципы строения систем.

Теория систем, по существу, является такой же абстрактной областью, как и учение о величине и числе, из которого выросла математика и которое здесь Дж. Нидхем ввел в виде оценки

количества элементов. Поэтому она, как и количественные показатели взаимоотношений, является универсальной для всех наук. Специфической для каждой науки остается характеристика элементов со всеми вытекающими отсюда последствиями для системы в целом: с теми ограничениями, которые они вносят в возможности построения системы и с теми специфическими особенностями, исходя из которых, при данной структуре, возникает система с ее специфическими же качествами. Так, например, централизованная система атома резко отличается по элементам и по особенностям целостной системы от централизованной же планетной системы, а тем более от централизованной системы организма (с центральной нервной системой, координирующей его функции) или централизованной же системы пчелиного улья с его маткой.

И, тем не менее, в задачи общей теории систем входит: найти некоторые общие черты во всех этих случаях, сформулировать их и дать возможность, используя обобщенные формулировки, делать определенные логические выводы об их особенностях и функциях. То же относится и к дискретным системам, к таким, например, как система молекул в газе, система отмели, состоящей из песка, или система популяции, состоящей из отдельных особей. Казалось бы, между ними нет ничего общего. И между тем, как количественно, так и структурно, мы можем найти в них определенное сходство. Количественно мы можем в малом объеме газов подсчитать число молекул, подсчитать число песчинок в отмели или особей в большой популяции. Эти числа могут оказаться сходными, что позволит делать некоторые дальнейшие сходные количественные выводы об этих дискретных образованиях. Точно также и структурные особенности могут быть здесь в какой-то мере обобщены и дать нам дополнительные возможности познания характера, движения элементов и взаимоотношения системы с внешней средой во всех трех случаях. Отличие же будет относиться за счет специфических особенностей элементов. Отличие их значительно, но понимание системы уже будет гораздо больше, чем в том случае, если мы не учтем особенности структуры.

Если рассматривать теорию систем с более общей точки зрения, то ее аналогия с математикой, уже проведенная выше, весьма велика. Однако, как сказано, есть и существенные отличия. В настоящее время, пока теория систем развита еще слабо, видимо, системные закономерности в гораздо большей степени ограничены свойствами элементов, чем закономерности математические. Хотя, если вдуматься глубже, то мы увидим, что и математические закономерности применимы к реальным системам далеко не безгранично.

Так, например, принципиально мы можем предполагать любое количество особей в популяции – от одной до бесконечности. Но когда мы говорим о реальных популяциях, к которым приложимы генетико-математические закономерности Харди-Вайнберга, то нам приходится строить совершенно нереальную модель. В этой предполагаемой популяции, помимо игнорирования

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

реальных биологических явлений, всегда присутствующих в популяции (отбор и мутационный процесс), ставится два несовместимых условия для полной приложимости закона Харди-Вайнберга. Это, во-первых, неограниченные размеры популяции и, во-вторых, панмиксия, то есть принцип свободного скрещивания любого самца с любой самкой, равновероятного для всех особей в популяции.

Совершенно очевидно, что представление о безграничном размере популяции не приложимо к реальным организмам. Даже заполнение всей планеты самыми мелкими организмами давало бы хотя и чрезвычайно большую, но вполне четко ограниченную численность этих организмов. Фактически же мы имеем дело лишь с вполне определенными участками суши или водной среды и вовсе не обязательно с наиболее мелкими организмами, так что численность любой отдельной популяции может колебаться от нескольких десятков до миллионов или даже миллиардов индивидуумов. Ни о какой бесконечности здесь речи не может быть. В то же время совершенно очевидно, что пространственные отношения приводят к противоречию между обоими указанными условиями. Чем больше популяция, тем менее вероятно, что любой самец может с одинаковой вероятностью оплодотворить любую самку. Ясно, что, с увеличением размеров популяции вступает в действие роль пространственной изоляции и оплодотворение возможно только по отношению к ближе находящимся особям. С ростом популяции увеличивается расстояние между одними самками и самцами, при сохранении близости их с другими, то есть нарушается второе условие, необходимое для полной приложимости принципа Харди-Вайнберга.

Таким образом, хотя математические закономерности сами по себе не нарушаются, то есть, начиная с элементарных арифметических принципов, они сохраняют свою силу, например, при сложении, умножении и т.д., в реальной системе действие их всегда чем-то ограничено. Реально для любой системы имеются верхний и нижний пределы возможных размеров. Характер связи в них также оказывается всегда усложненным, и практически применимые для одних случаев закономерности заменяются, конечно, тоже математическими, но практически иными.

Так, хотя теперь в физике можно дать общее выражение для сложения скоростей, исходя из представлений развитых Эйнштейном, от скоростей, близких к нулевым, до максимальных, конечный результат этого сложения имеет весьма различный вид в том и другом случае. В первом случае он близок к тому, что соответствует принципам Ньютона, то есть к простому сложению скоростей; во втором случае мы видим, что практически рост суммарной скорости почти прекращается, по мере приближения к скорости света. И тот факт, что мы можем теперь это охватить одной формулой, не меняет того, что конечный эффект удобнее рассчитать в одном крайнем случае по одному методу, а в другом – по другому.

Впрочем, возможно, что и в теории систем со временем возникнут аналогичные обобщения, позволяющие развить единые закономерности для очень разных структурных форм, хотя пока они еще представлены как бы отдельными друг от друга принципами. Следует снова заметить, что, проводя аналогию с математикой, мы обязаны помнить, что математика имеет за собой историю в несколько тысячелетий, а теория систем, даже в ее полусознательном оформлении, не многим более ста лет, а в сознательном – всего несколько десятилетий. Разница здесь колоссальная и степень обобщений, конечно, неодинакова. Тем не менее, значение теории систем чрезвычайно велико. Если качественная оценка различных объектов (элементов или систем) существует издавна и представляет собой как бы первое возможное измерение, математические подходы, в самом широком смысле – другое измерение, то системный подход, согласно формулировке Дж. Нидхема, есть уже третье измерение. Без него представление о реальных объектах и явлениях мира остается как бы двухмерным, плоским.

Конечно, даже животные учитывают качественную, а, отчасти, и количественную сторону различных объектов в своем отношении к внешнему миру. Высшие животные, в частности птицы и млекопитающие, в какой-то мере умеют учитывать число своих детенышей и беспокоиться, если пропадает из них один. Они также учитывают качественные и структурные особенности окружающей среды. В развитии человечества, разумеется, структурные особенности явлений всегда учитывались хотя бы интуитивно. Но в научном описании, как уже подчеркивалось, до недавнего времени более или менее общепринятые и разработанные характеристики давались в отношении качественной и количественной стороны.

Что же касается стороны структурной, то она в каждом отдельном случае учитывалась лишь в меру интереса, возможностей и наклонностей каждого ученого. Поэтому, пока структурные принципы не достигли еще достаточного обобщения и абстрагирования, всегда неизбежно возникали какие-то затруднения, о чем мы скажем позже, анализируя в развитии системного подхода ошибочные построения некоторых выдающихся биологов и психологов. В то же время каждый новый шаг в науке обычно сопровождался какими-то новыми системно-структурными подходами. В этом отношении особенно характерны два новых (говоря о большом масштабе времени) направления в физике. Это – переход к теории относительности и к представлениям, связанным с квантовой теорией. В первом случае, согласно прежним представлениям, независимые друг от друга величины времени, пространства, массы и т.д. оказались в новых структурных соотношениях между собой и зависящими друг от друга. Этот факт имеет системный характер. Точно также представления квантовой физики дают совершенно иное структурно-системное понимание окружающего мира по

сравнению с предшествовавшими им представлениями о непрерывных переходах, особенно в области понимания энергетических явлений.

Системный подход фактически пронизывает все наше познание, начиная с самых элементарных наших представлений. Но до сих пор при каждом новом шаге в науке и для каждого частного случая он должен был изобретаться заново, как бы индивидуально. Поэтому он не приобрел еще достаточно обобщенного характера, часто остается в целом (и даже, как правило) неосознанным и различается по изложению в разных областях науки. Реально же системный подход имеет значение не только в науке, но требуется уже на самых первых стадиях познания внешнего мира, начиная с раннего детства. Не будем затрагивать специфику детской психологии и остановимся лишь на одном примере, уже достаточно позднем в возрастном отношении. Пример этот, который нам приходилось неоднократно приводить, относится к обучению математике в первых классах школы.

При решении любой арифметической задачи ученику приходится оперировать, по меньшей мере, с двумя цифрами, и ему предстоит в каждом случае определить, какое действие ему нужно произвести с этими числами. В одном случае он должен сложить два числа, в другом перемножить, разделить или вычесть. Даже тогда, когда (обычно позже) он имеет дело с решением задач с возведением в степень, перед ним опять-таки встает необходимость учесть возводимое в степень число и показатель степени. При разных задачах одни и те же числа вступают в разные взаимоотношения в зависимости от того, какая система лежит в основе данной задачи. Так, если дается задача вычислить, какое количество материи будет, если имеется 4 метра сукна и 6 метров ситца, то ясно, что обе величины надо сложить и в сумме получится 10. Если же предлагаются те же цифры, но с другой целью, и 6 метров сукна стоят каждый по 4 рубля, и надо вычислить суммарную цену этих шести метров, тогда обе цифры перемножаются. Результат получится совершенно иной: 24 рубля. В чем же дело?

Дело заключается в том, что это две совершенно разные системы. Элементы системы эквивалентны и взаимозаменяемы при данной постановке задачи (обе цифры входят в одну категорию – ткань). Во втором случае цифры одной подсистемы (рубли) повторно относятся к каждому элементу другой подсистем (метры материи), и поэтому требуется их перемножение. Ученику обычно не объясняется различие в этих взаимоотношениях, и фактически он вынужден путем практики извлекать не сформулированные четко правила, которые он применяет дальше, как бы уже интуитивно. Но, как мы видим, фактически здесь системная постановка вопроса предшествует количественной. Соотношение математического и системного метода, как правило, таково, что до применения математических действий необходимо уяснение структурных отношений.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Как мы увидим дальше, в ряде случаев уже понимания самой структуры явления часто достаточно для фактического решения задачи.

Так было в теории Ч. Дарвина, где правильная системная постановка вопроса позволила ему, не применяя сложных количественных методов, решить кардинальные для всей биологии вопросы, а именно – проблемы эволюции живых организмов и дивергенции видов и выяснить те механизмы, которые лежат в их основе. Это определяет те взаимоотношения закономерностей этих двух наук (теории систем и математики), которые, имея весьма высокое сходство, в то же время представляют два различных измерения любого явления, изучаемого нами. Положение здесь сводится всегда к такой последовательности, что первоначально (интуитивно или сознательно логически) определяются системные взаимоотношения, и в пределах этих взаимоотношений решаются задачи в системном плане. А уже затем, если важна количественная сторона явления, вступает в свои права математическая постановка вопроса, основанная на уясненной структуре, но позволяющая исследовать новые стороны, зависящие от количественных соотношений. С другой стороны, как сказано, очень многие задачи могут быть решены чисто структурно. Но и они никогда не обходятся без количественных оценок, хотя эти оценки могут быть весьма примитивны на уровне «больше», «меньше», «равно» и т. д., что нами было иллюстрировано на примере теории Дарвина, в основном, употреблявшим именно такие количественные оценки.

В свою очередь, хотя все математические задачи неизбежно начинаются с постановок системных проблем, до сих пор это делается или подсознательно и интуитивно или методом проб и ошибок. Далее уже завершается математическая сторона данного исследования, которая может в ряде исследований играть доминирующую роль, как это обычно бывает в большинстве физических и многих технических исследований. С другой стороны, доминирующую роль в ряде областей могут играть и системные методы.

Это, как сказано, особенно отчетливо видно на примере той же теории Дарвина, к которой мы будем еще неоднократно возвращаться. Решив ряд основных вопросов биологии, эта теория по своему характеру была такова, что давала все основания для ее дальнейшего математического развития. Уже упоминавшиеся самим Дарвином основные положения об изменчивости, наследственности, геометрической прогрессии размножения поддаются количественным оценкам и, в связи с этим, дальнейшим математическим разработкам.

И действительно, в XX веке были развиты широкие направления, основанные на математических методах и углубляющие теорию Дарвина. Это, во-первых, изучение соотношений видов, конкурирующих или относящихся друг к другу, как хищник и жертва, в работах В. Вольтера, А. Н. Колмогорова и других. Во-вторых, еще более обширные исследования по генетической теории

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

эволюции, как их назвал в своем большом труде математик Р. Фишер, которые правильнее было бы назвать математической теорией эволюции на основе данных генетики. Здесь, помимо такого крупного математика, как Р. Фишер, еще более значительный вклад внес математически образованный биолог С. С. Четвериков, а также биологи с математическим уклоном Дж. Б. С. Холдейн и С. Райт, а из математиков – Колмогоров, Кимура, Ляпунов и др. Такое широкое развитие теории Дарвина именно в математическом аспекте и такими выдающимися исследователями дало, несомненно, очень много нового.

И, все же, сравнивая все эти богатые новые результаты с тем, что было сделано самим Дарвином, представляется бесспорным, что непосредственные выводы Дарвина с его чисто стихийным системно-структурным подходом уже дали для биологии значительно больше, чем дальнейшие совместные усилия всех его последователей, развивающих эволюционную теорию математическими методами. Надо думать, что это не только обусловлено большим гением Дарвина, но, в значительной степени, является результатом специфики биологии, ибо в биологии на первое место выходит именно системно-структурный подход, а математические методы, при всей их несомненной значимости, по-видимому, менее специфичны для этой науки. И, вероятно, в дальнейшем системно-структурные подходы, когда они достигнут большего развития и, так сказать, выйдут из колыбели, будут еще значительнее. Обратное соотношение, по-видимому, сохранится в физических науках, где системно-структурные методы, если возможно в этом отношении делать какие-то предсказания, должны по мере своего развития завоевать более значительное место, чем теперь (теперь в сознательном применении оно почти равно нулю), но все же вряд ли когда-нибудь могут сравниться в этой области с той ролью, которую играет здесь математика.

В отношении связи математики и системно-структурных методов, не только выявившихся в математике XIX-XX вв., интересны тенденции к усилению областей, близких к системным (топология, учение о множествах, математическая логика и т.д.), но и ряд других симптомов. Показательна, например, работа известного советского математика А. Н. Колмогорова, развившего упоминавшееся направление о соотношении видов, заложенное Вито Вольтерра в своей статье 1936 года, опубликованной тогда на итальянском языке.

А. Н. Колмогоров сделал отчетливый шаг от первоначальных, обычных в математике, подходов, примененных В. Вольтерра, к более качественному, как говорят математики, решению тех же вопросов, и получил новые интересные результаты. По существу, это был шаг в сторону системно-структурных методов. Десять лет спустя, в одном из своих докладов на конференции ученых в Московском университете, А. Н. Колмогоров подчеркивал, что в математике намечается два основных направления. Первое связано с машинно-вычислительной техникой, второе – с

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

усилением качественного подхода. Как пример последнего он привел представление об обратных связях в живых системах, развитое Н. А. Беловым (1924), М. М. Завадовским (1941) и А. А. Малиновским (1945), затем логическое определение понятия «цвет», и наконец, логический анализ некоторых проблем языкознания.

Его предсказание оказалось пророческим, хотя второе направление, по существу, развилось в более значительной степени вне математики и лишь отчасти в кибернетических исследованиях и в некоторых других, где оно осталось в пределах того, что связано с математикой, но все же мы отнюдь не относим к математике. Но высказывание А. Н. Колмогорова ясно показало, что уже дух времени требовал иных, а не только классических подходов, типичных для математики. В настоящее время системно-структурный подход, развившийся самостоятельно, все еще привлекает внимание математиков, кибернетиков и философов, из которых на первое место среди советских ученых следует поставить А. А. Ляпунова, И. В. Блауберга, В. Н. Садовского, М. И. Сетрова, А. И. Умова, Ю. А. Урманцева, Г. П. Щедровицкого, Э. Г. Юдина и др.

Урманцев фактически привлекает к теории систем подходы, свойственные теории множеств, и полагает, что они могут стать исчерпывающей основой общей теории систем. С этим нельзя согласиться, так как общая теория систем связана с большим разнообразием и глубокими представлениями. Однако подход Урманцева не безразличен для развития общей теории систем, так как он позволяет выяснить степень исчерпания различных логических возможностей при развитии системно-структурной теории. А это, несомненно, очень важно для теории систем, тем более, пока она сама еще не приобрела достаточно стройного характера. Подход Урманцева, отнюдь не являясь центральным в развитии этого направления, может сыграть, несомненно, значительную положительную роль.

Таким образом, в настоящее время в полном согласии с упоминавшейся, почти случайно брошенной, но крайне меткой формулировкой Дж. Нидхема можно сказать, что в конкретных науках рассмотрение различных объектов и явлений в их целостности требует трех измерений: качественной оценки элементов и системы в целом, изучения математических связей и количественных оценок как внутри системы, так и в ее взаимоотношении с окружающей средой (суперсистемой) и, наконец, системно-структурного понимания взаимоотношений элементов и всей архитектуры системы а также структуры ее взаимоотношений с иными системами. В этих трех измерениях удельный вес данных трех универсальных подходов, разумеется, будет неодинаков, о чем мы говорили, сравнивая физику с биологией. Однако, судя по современному положению можно предположить с полным основанием, что структурно-системные методы будут в ближайшее время приобретать все большее и большее относительное значение, не говоря уже об абсолютном.

Уже в настоящее время можно сказать о некоторых задачах, которые решаются, конкретно исходя из этих позиций. И хотя, конечно, как в любой области науки, здесь возможны наряду с удачными и неудачные решения, требующие исправления, но эти решения достаточно точны и конкретны для того, чтобы иметь применение в конкретных же теориях и практике. А, в случае неудачных применений теории систем, выводы, сделанные на ее основе, и методы, применяемые ею, достаточно отчетливы и конкретны для того, чтобы была возможна фактическая и теоретическая проверка и исправление допущенных неточностей или ошибок.

В настоящее время уже имеется ряд примеров, решений, исходя из теории систем, как широких теоретических проблем, так и частных вопросов и некоторых практических задач в области биологических и смежных наук. Таких примеров еще не очень много и все же достаточно, чтобы показать реальные возможности теории систем. Некоторые из них мы перечислим в конце настоящей работы.

Но прежде необходимо остановиться на взглядах основателей этой молодой дисциплины.

Сознательное развитие этого направления, как сказано, началось недавно: первые систематические работы относятся к первому-второму десятилетию XX века, а признание (без которого развитие не может идти с достаточной интенсивностью) пришло фактически только в 50-х годах.

Однако, как и в большинстве теоретических наук, истоки теории организации систем прослеживаются в гораздо более раннем периоде и, особенно ясно в биологических науках, в которых в дальнейшем, эта теория получила, по-видимому, и наибольшее развитие. Поэтому рассмотрение истории вопроса, пока еще касающегося только самых основных этапов и наиболее ярких узловых моментов, здесь представляет большой интерес для биологических наук, как с точки зрения собственно исторической, так даже и с точки зрения дальнейшего обобщения принципов самой науки. Это тем более важно, что далеко не все ценные идеи, которые были высказаны в прошлом, связанные и с общей теорией систем, и даже специально с теорией биологических систем, уже вошли в основной фонд теории систем. Исторические изыскания в этом направлении могут внести новое не только в наши знания о прошлой истории, но и дать новый материал для дальнейшего развития содержательной стороны и приложений общей теории систем.

Здесь, как говорилось выше, можно выделить три категории работ, представляющих интерес для истории вопроса.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Во-первых, это работы, сознательно формулирующие задачу создания и изложения содержания той дисциплины, которую мы сейчас называем теорией систем. Таких работ можно назвать немного – три-четыре. Все они относятся к XX веку.

Далее – ряд трудов, не претендовавших на создание новой дисциплины, а решавших большие биологические проблемы, но в которых были сформулированы принципы, естественно, вошедшие позже (или те, которые должны войти) в теорию систем как естественные их составные части. Наиболее значительной из этих работ и, по-видимому, первой по времени является работа Ч. Дарвина о происхождении видов путем естественного отбора. Ряд таких обобщающих исследований и теорий появлялся и появляется в настоящее время, естественно, весьма разные по удельному весу.

Наконец, в последние десятилетия появляется ряд работ, не претендующих на создание своей особой всеохватывающей теории, но или дополняющих уже созданные теории, или применяющих сознательно их принципы для решения определенных конкретных теоретических или практических задач.

Мы остановимся на основных работах первой и второй категории и лишь немного затронем работы третьего типа.

Глава II

Оформленные теории систем

Следуя намеченному вначале данной работы принципу, мы, прежде, чем углубляться в прошлое, где лишь начали более или менее отчетливо оформляться истоки теории систем, остановимся, согласно рекомендации К. Маркса на более позднем этапе, на развитых учениях, излагающих в том или ином виде теорию систем. Это важно с двух точек зрения. Во-первых, создатели новой науки почти или совсем не знали каждый о работах другого (единственное исключение, по-видимому, запоздалое ознакомление А. А. Богданова с работой М. Петровича, отразившееся в рецензии, опубликованной А. Богдановым в 1923 году в вестнике Социалистической академии).

В то же время необходимо отметить параллелизм их установок, чтобы показать объективную потребность в создании новой дисциплины и оценить в известной мере вклад каждого в ее создание и развитие. Во-вторых, необходимо подчеркнуть и известные различия в их формулировках, различия, отнюдь не приводящие к существенным противоречиям между ними, а, скорее напротив, позволяющие дополнить взгляды одного автора высказываниями другого, что создает более цельную картину формирующейся в настоящее время теории биологических систем.

К этой категории оформленных теорий систем относятся работы четырех авторов, все опубликованные в нашем столетии. Название их работ различно, но установки и принципы, как сказано выше, очень близки. Хотя само название теории систем было дано Людвигом фон Берталанфи, крупным немецким биологом, эмигрировавшим от гитлеризма в Америку, фактически он был последним из этих четырех авторов. Первыми, почти одновременно выступившими были: сербский ученый Михаил Петрович, писавший на французском языке, и отечественный ученый А. А. Богданов. Близка к ним и Кибернетика Н. Винера. М. Петрович был представителем физико-математических и технических наук, А. А. Богданов по образованию был врачом и биологом, известным, однако, ранее больше как политэконом и философ, а затем – как создатель первого в мире Института переливания крови.

Первая работа М. Петровича «Учение об аналогиях» относится к 1906 году. Завершение свои взглядов он опубликовал в 1921 году в работе «Общие механизмы разнородных явлений». Богданов высказал первые соображения о своих взглядах подобного рода в одном из своих романов в 1911 году, опубликовав первый том работы «Всеобщая организационная наука» (тектология) на рубеже 1912-1913 годов, второй том – в 1917 году, третий том (вместе с предыдущими двумя) – в 1922 году. Переиздание с небольшими добавлениями и изъятием одной главы было произведено уже в 1925,

1927 и 1989 годах. Перевод двух томов был издан под редакцией автора на немецком языке в Германии в 1926 году (I том) и 1928 году (2 том). Третий том на немецком языке не вышел вследствие смерти автора, редактировавшего перевод.

Работы А. Богданова привлекли определенное внимание ученых, но, как и работы М. Петровича, не имели еще подходящей почвы и не завоевали всеобщего признания в то время. После большого перерыва приблизительно в том же направлении выступил Норберт Винер, опубликовавший в 1948 году свою работу «Кибернетика» и положивший начало новой науке этого названия. В ней, однако, системные принципы выступили не в чистом виде, системные идеи здесь удачно сочетались с математическим подходом и с представлениями о технических устройствах, основанных на электронике, которая в то время достигла уже довольно высокого уровня развития. Несколько позже в печати выступил Л. Фон Берталанфи с теорией систем, хотя в своих работах он указывает, что в докладах и лекциях он излагал их уже в тридцатых годах.

Из всех авторов три – А. Богданов, Н. Винер, Л. Берталанфи – в значительной степени исходили из биологического материала и биологических представлений. А. Богданов, как упоминалось, был врач-биолог и завершил свою жизнь, как организатор первого в мире Института переливания крови. Н. Винер – математик, работавший в области теоретической и прикладной математики. Однако он, согласно собственному признанию, формировал свои взгляды в содружестве с биологами, а именно – с мексиканским ученым-физиологом Артуро Розенблютом и с английским биохимиком генетиком и эволюционистом Дж. Б. С. Холдейном. Наконец, Л. Фон Берталанфи был крупным биологом, занимавшимся преимущественно вопросами онтогенеза у животных.

Взгляды двух последних авторов достаточно хорошо известны, и мы коснемся их только вкратце.

Взгляды Петровича, менее известные и менее признанные в настоящее время, опиравшиеся в основном на физические явления, хотя и представляют для нас меньший интерес, но не упомянуть о них нельзя. Во-первых, потому, что он был одним из немногих основоположников оформленных теорий систем и, во-вторых, потому что в нашей литературе его роль освещена чрезвычайно слабо, а его работа содержит ряд оригинальных идей и формулировок.

Прежде, чем перейти к более подробному изложению менее освещенных в нашей литературе работ основоположников оформленных теорий систем, необходимо кратко сказать о тех преимущественно общих, а частью и различных, основных установках, которые и объединяют их и благодаря акцентированию различных сторон в общем направлении приводят к взаимному дополнению развиваемых ими концепций.

И М. Петрович, а особенно А. Богданов, четко формулировали мысль о том, что структурные отношения в системах могут быть доведены до той же степени абстрактности и общности, до которой в математике доведены представления о числе и величине.

При этом, однако, М. Петрович акцентировал значение аналогий и выделил различные типы процессов, а в них – типы «ролей» отдельных факторов, например роль стимулирующей причины, роль препятствия и т. д., как это видно из обширной выдержки, приводимой нами далее из работы этого автора. А. Богданов, также обращает внимание на аналогии и, кроме того, подчеркивает значение моделирования, как типичной формы эксперимента, характеризующей науку об организации систем. Однако он, как мы покажем ниже, стремится создать более стройную систему, чем М. Петрович, выделяя не отдельные типы ролей и процессов, а рассматривая процессы формирования, превращения и регуляции систем в их связи и последовательности.

Л. Берталанфи внес в общие положения теории систем, во-первых, противопоставление системного подхода к единству мира подходу редукционистскому, сводящему все не к общим законам, им управляющим, а к простейшим элементам, из которых построены все реальные образования в окружающем нас мире. Во-вторых, он дал критику кибернетики, которой еще не существовало в период, когда работали М. Петрович и А. Богданов. Однако А. А. Богданов, допустив ошибки в оценке тектологии, как замены философии, дал в тоже время более систематичное изложение принципов науки об организации систем, чем Берталанфи.

При этом необходимо отметить следующее. М. Петрович дал собственную классификацию процессов и ролей, но не связал их достаточно отчетливо со структурными характеристиками систем. Л. Фон Берталанфи также не дал достаточно всеобщего обзора типов систем и, по мнению Аптера, правильно поставив задачу новой науки, сам внес в нее недостаточный вклад, уклонившись в смежные менее абстрактные области, в первую очередь в термодинамику открытых биологических систем. Напротив, у А. Богданова намечается, не доведенная, правда, до конца, попытка связать некоторые типы систем с соответствующими им типами процессов, протекающих в них. При этом, внося этот собственный вклад в теорию систем, А. Богданов, одновременно, проводит другую, не менее важную работу, а именно, он производит рассмотрение ряда тех закономерностей, которые сформулированы в частных науках, и вводит их, наряду с идеями, сформулированными им самим, в состав своей «Всеобщей организационной науки».

В третьей части мы рассмотрим несколько в ином аспекте некоторые из введенных им в теорию организации систем закономерностей (процессы отбора и выравнивание по слабому звену). А также другие (работы Н. А. Белова и М. М. Завадовского и др.), с которыми он не был знаком, но отчасти и сам близко подошел к некоторым из них. Хотя эти идеи были им не во всем доведены до

отчетливого завершения, тем не менее, следует отметить, что он сделал определенные шаги в главных направлениях, которые ложатся в основу формирующейся сейчас теории биологических систем.

В то же время у всех трех основателей этого направления мы фактически видим интересные в познавательном отношении построения, обобщения и привлечение уже сформированных в конкретных науках идей, но почти не видим, чтобы их построение послужило для решения тех или иных новых научных или теоретических задач в биологии. В известной мере мы это, пожалуй, видим у четвертого автора – Н. Винера, где представление об управляющих системах привлекается для системного в широком смысле решения некоторых физиологических задач. Например, нарушения регуляции моторики у человека и, конечно, для уже не столь общих с системной точки зрения, а специфических для кибернетики задач управления искусственными механизмами.

Но обратимся теперь, к рассмотрению системных взглядов М. Петровича и А. А. Богданова. Мы позволим себе меньше уделить внимания работам Н. Винера и Л. Фон Берталанфи, поскольку эти авторы в настоящее время широко известны, их работы издаются у нас, и ограничимся лишь краткой их оценкой.

М. Петрович

Первым по времени (1906) из перечисленных авторов выступил в печати с широкими обобщениями Михаил Петрович. Однако полнее представление Петровича изложено в работе 1921 года.

Его взгляды хорошо выражены во введении к этой последней книге, которое мы и цитируем далее, чтобы изложить его мысли его же собственными словами. Он пишет:

«Понять явление, – сказал сэр Уильям Томсон, – это значит создать его механическую модель». Высказывая эту любопытную мысль, великий физик, разумеется, имел в виду физические явления. Под «механической моделью» он понимал механическую систему, функционирование которой управляется теми же математическими законами, что и само явление, или посредством которой явление будет проиллюстрировано с точки зрения его хода или механизма, путем его сравнения с более известными явлениями равновесия или движения. Различные роли физических факторов в рассматриваемом явлении были бы заполнены, представлены ролью того или иного механического фактора в соответствующем явлении равновесия или движения: особенности, являющиеся результатом данного сочетания физических факторов и условий, одного из двух явлений были бы равным образом проиллюстрированы особенностями другого явления. Например,

работу электрической батареи можно сравнить с работой турбинного насоса, выходное отверстие которого было бы соединено трубкой с входным отверстием, причем трубка выполняла бы роль электрической цепи, сила электрического тока была бы представлена скоростью течения жидкости, электрический потенциал – разностью уровня в двух бассейнах с жидкостью, соединенных шлангом. Явления электрических колебаний в цепи с заметными сопротивлениями и самоиндукцией с включенной в цепь батареей иллюстрируются движением волана с крылышками в сопротивляющейся среде. Роль силы тока здесь играет угловая скорость волана, роль электродвижущей силы батареи играет движущая пара; роль электрического сопротивления играет сопротивление среды, а роль самоиндукции играет момент инерции волана. Таким же образом разряд электрического конденсатора иллюстрируется движением маятника в сопротивляющейся среде. Функционирование индукционных катушек иллюстрируется работой гидравлического тарана. Явление намагничивания – явлениями эластичности, и в особенности явлениями изгиба. Способность к взрыву сравнивается с пружиной, которая мощно натягивается и удерживается стопором, детонация взрывателя (фульминат) сравнивается с механизмом, освобождающим стопор, отпускающая пружину, и высвобождающим взрывные силы, и т. д.

Идея распространить афоризм сэра Уильяма Томсона на любые явления заставит, прежде всего, подумать о грубых автоматах Воканзона, имитирующих живых животных при помощи комбинаций из веревок и кусков дерева; или о механизмах во вкусе медиков XVII и XVIII веков, которые пытались объяснить работу человеческого тела законами механики. В этих механизмах, например, мышцы были представлены пружинами, внутренние органы – фильтрами, органы движения – механическими приборами; пищеварение, животное тепло, выделение, работа органов объяснялись механическими, гидростатическими или гидравлическими законами.

Если взять слово «механический» в буквальном и ограниченном значении, которое ему обычно придается и которое связывается с ограниченной частью физических наук, той, в которой изучаются движение и покой тел, то сначала трудно допустить, что факторы, игравшие какие-то роли в биологических явлениях, могут быть символически представлены ролью механических факторов. Трудно допустить, что их воздействие и те последствия, которые они влекут за собой в соответствующих несходных явлениях, будут такими же. С другой стороны, явлений, математические законы которых известны, относительно немного, и они носят особый характер: огромное большинство их всегда останется недоступным. Поэтому следовало бы считать большую часть явлений опознаваемыми, если придерживаться узкого смысла афоризма сэра У. Томсона.

Однако этот афоризм, соответствующим образом истолкованный, не связанный с той точкой зрения, от которой он ведет свое происхождение, и с узким смыслом, который, по-видимому, ему

придавали, имеет глубокий смысл, даже если рассматривается общность явлений, доступных или недоступных для исследования с помощью математического анализа.

Действительно, оказывается, что понятием ролей можно дать форму, независимую от конкретной природы их носителей и от природы последствий, которые связаны с ними, таким же образом, как геометрические понятия независимы от природы объектов, к которым они привязаны. Также возможно придать описанию явлений любого рода форму, независимую от конкретной природы явлений, единообразную для явлений всех видов. С другой стороны, есть способы приходить к пониманию явлений, при которых нет абсолютной необходимости узнавать их точные математические законы. Для этой цели удобно принять следующую точку зрения.

Среди огромного разнообразия явлений природы встречаются явления различного порядка, которые поражают своим сходством. Нередко бывает, что одно явление напоминает некоторыми своими особенностями другое явление, не имеющее с ним никакой конкретной связи. Такие сходства делают возможными метафоры, которыми часто пользуются как в обыденной речи, так и в различных областях наук. Вспомним, например, сравнение между какими-либо явлениями и потоком, разрушительная сила которого увеличивается с препятствием, которое ему противостоит; сравнение различных внезапных, мгновенных явлений с явлением механического удара. Явления различной природы (механические, физические, физиологические, социальные и т. д.), заключающиеся в медленных колебаниях между двумя крайними состояниями, часто сравниваются с ритмичным движением маятника, прилива и отлива или с перистальтическими движениями в организме. То или иное историческое или социальное явление сравнивают с замедленным движением маятника или постепенным распространением волны; внутренние движения, живые и неопределенные, больших человеческих масс сравнивают с брожением; атавизм сравнивается с некоторыми явлениями гистерезиса; некоторые состояния души – с бурлящим морем; некоторые вспышки темперамента, за которыми немедленно следует спокойствие, сравниваются с взрывами или электрическими разрядами и т. д. Чаще всего механические или физические явления и дают термины для сравнения. В делах людей обнаруживаются движения прилива и отлива; прилив и отлив страстей часто описывается поэтами. Говорят о притяжении и отталкивании между людьми, о силе инерции народов, об охлаждении энтузиазма, о приливе возмущения, о кристаллизации общепринятого мнения, о душевном расстройстве; о течении общественного мнения, о нравственной энергии. Человека, который колеблется, сравнивают с весами, отклоняющимися то в одну, то в другую сторону вслед за гирями, которые кладут на чашки. Нервная деятельность сравнивается с электрическим током, колеблющийся прогресс народа – с движением туда и обратно. Глухие

движения, которые возвещают о восстаниях, сравниваются с отдаленными раскатами грома, возвещающими грозу и т. д.

Такие метафоры выделяют те или иные характерные черты рассматриваемого явления, сравнивая его с другим явлением, имеющим с ним общие особенности, но в котором эти особенности проявляются естественнее, яснее и отчетливее, так что можно охватить или почувствовать эти особенности более живо. Сравнение иллюстрирует то, что хотели подчеркнуть в сравниваемом явлении.

Но не только стремление иллюстрировать явления или описывать их более образно порождает такие метафоры. Часто они являются выражением глубокой истины, предлагаемой, ощущаемой или подозреваемой. Среди неограниченного количества несущественных сходных черт, обнаруживающихся между явлениями, имеются и такие, которые, не будучи случайными или связанными с субъективными оценками, открывают настоящую аналогию, состоящую в существовании общих особенностей, которые обнаруживают несходные явления в своем способе существования.

Прежде всего, различные явления действительно могут обнаруживать общие особенности доведения как в способе изменения определенного количества их характерных элементов, так и в собирательном образе, который является результатом этих изменений. Существуют такие сходства доведения между явлениями, более или менее полные в зависимости от количества и характера их общих особенностей. Эти сходства могут иметь всевозможные нюансы – от полного равенства до самого неясного сходства.

Сходство поведения будет, например, полным между экспоненциальными явлениями, состоящими в постепенном уменьшении характерного элемента в соответствии с простым законом, которым изображается нисходящей экспоненциальной кривой. Например: 1) постепенное охлаждение твердого тела в неподвижной среде; характерным элементом является температура тела; 2) потеря электричества на поверхности электризованной жидкости вследствие испарения; 3) изменение определенного химического вещества; которое постепенно преобразуется под действием физического агента или фермента; характерным элементом является остающееся количество преобразуемого тела.

Сходство будет также полным между явлениями затухающих колебаний. Оно проявляется в изменениях характерного элемента по закону, который описывается синусоидальной кривой с постепенно затухающими амплитудами. Например: 1) движение простого маятника в сопротивляющейся среде; характерным элементом является смещение; 2) разряд электрического конденсатора, характерным элементом является электрический заряд конденсатора; 3) движение

жидкости в двух сосудах, соединенных горизонтальной трубкой; характерным элементом будет разность уровней жидкости в двух сосудах.

Сходство поведения бывает более или менее расплывчатым в явлениях повседневной жизни, где оно находит свое выражение в уподоблениях или сравнениях явлений, в которых наблюдаемая особенность проявляется наиболее очевидно. Таковы уже упомянутые уподобления многочисленных ритмических явлений движению маятника или приливу и отливу моря; сравнения неожиданных интенсивных явлений с потоком, порывом ветра, грозой, ураганом; сравнение того или иного явления с распространением волны и т. д. Однако, существует определенный способ ввести единообразие описания явлений, каковы бы они ни были, таким образом, что особенности их поведения сводятся к способу движения символической точки явления, определенной в гиперпространстве с системой координат, выбранной таким образом, что в каждый момент конфигурация системы соответствует состоянию явления. Сходство поведения группы явлений отражается таким образом в обнаруживаемых общих особенностях движений соответствующих символических точек. Постепенный или резкий переход цвета от красного к зеленому и ухудшение в ходе болезни характеризуются одной и той же особенностью движения соответственных символических точек: их перемещением в направлении координаты, соответствующей цвету или степени болезни, и положительным значением этого направления; усиление интенсивности этих двух явлений отражается в ускорении движения этих точек; развитие явления по направлению к определенному устойчивому состоянию выразится в асимптотическом приближении точки к какой-то границе, периодичность явлений – прохождением символическими точками одних и тех же положений через одинаковые промежутки времени и т. д. Чем полнее будет сходство поведений, тем больше общих особенностей в способах движения символических точек, соответствующих явлениям группы.

С другой стороны, самые несходные элементы, факторы, факты в явлениях разного порядка могут играть сходные роли. Это сходство ролей может выступать в любых градациях от полного равенства до самого неясного сходства.

Магнитный полюс, например, в своей сфере действия, по отношению к магнитным массам играет ту же роль, что и центр гравитации по отношению к окружающим механическим массам. Природа роли непробиваемой стены, на которую наталкивается пуля, та же, что и природа роли непрозрачного экрана, который встречает световой поток, или роли нарушения электрического контакта, которое разрывает цепь. Роль, которую играет общее состояние ослабленного организма, атакуемого бактериями, и которая состоит в том, что благоприятствует наводнению организма

бациллами, таким же образом выполняет и политическое положение в стране, облегчающее то или иное событие.

Электрический заряд может, таким образом, играть в электрическом явлении ту же роль, что и угол во вращательном движении. Отношения этих двух несходных элементов к фактам, которые они изменяют, и к последствиям этих изменений в двух соответственных явлениях могут быть теми же. По тем же самым причинам разность уровней в гидравлическом явлении может играть ту же роль, что и перемещение маятника в колебательном движении этого маятника. Температура в тепловом явлении играет ту же роль, что и электрический потенциал в электрическом явлении. Разрушительная сила бацилл играет ту же роль в развитии инфекционной болезни, что и сила фотохимических преобразований в почернении чувствительной пластинки, подвергаемой действию световых лучей. Обычаи повседневной жизни могут играть ту же роль, что и механическая инерция в движении и т. д. Предположим, что мы сгруппировали сходные роли в несходных явлениях, в которых они действуют. И освободили их от всего, что связывает их с тем или иным конкретным видом явления, не оставляя ничего, кроме того, что необходимо, чтобы проявился их общий способ действовать. Тогда мы получаем типы ролей, охватывая и схематизируя все исходные специфические роли, из которых мы их выделили. Мы получим, например, следующие типы, каждый из которых обнаруживается в бесконечности конкретных форм в природных явлениях любого рода. Роль описательного элемента явления; роль непосредственной причины; роль вторичной причины; роль стимулирующей причины; роль депрессивной причины; роль причины, связанной с определенным количественным или качественным законом; роль неизменной, ритмичной, постепенно затухающей причины; роль реактивной причины; роль мгновенной причины; роль инерции явления; роль связи; возбуждающая или провоцирующая роль; регулирующая или компенсирующая роль; координирующая роль; роль почвы; роль препятствия и т. д.

Таким образом, можно считать объясненным явление, о котором известно: 1) совокупность всего, что играет роль в его существовании; 2) типы ролей, которые объединены в этой совокупности; 3) каким образом такая совокупность ролей приводит к формированию особенностей явления как к необходимым последствиям. Такое знание эквивалентно знанию механизма явления.

Так как все, что составляет такой механизм, сводится к тому, что строго необходимо и достаточно для того, чтобы особенности соответствующего явления обнаружились как необходимые последствия, то, когда он освобожден от всего, что связывает его с тем или иным видом конкретных явлений, мы имеем тип механизма, который охватывает типы бесконечного числа несходных явлений, которые он объединяет, несмотря на их возможное разнообразие. И тогда окажется, что какая-то группа несходных явлений связана, например, со следующим типом механизма, изменение

характерного элемента под действием неизменной стимулирующей причины прямо противоположной инерции явления.

Другая группа несходных явлений окажется связанной с механизмом следующего типа, изменение характерного элемента под действием депрессивной причины, изменяющейся в прямой зависимости от ее действия и прямо противоположной инерции явления. Третья группа будет принадлежать к типу механизма, состоящего в изменении многих характерных элементов одновременно, под действием группы периодических причин с одинаковыми периодами. Четвертая группа окажется связанной с одновременным действием определенной группы импульсивных и депрессивных причин, действующих по известным качественным законам, прямо противоположным инерциям явлений. Причем это действие затрудняется группой фиксированных связей, препятствиями, которые встречают изменения элементов в ходе развития явления, и внезапным появлением вторичных причин, которые тем или иным образом действуют на уже существующие непосредственные причины и т. д.

Каждый тип механизма предполагает определенное число особенностей, которые он придает явлению, с которыми он связан и которые надо рассматривать как необходимые последствия его состава. Количественные или только качественные данные о составе типа механизма позволяют таким образом предвидеть соответствующие особенности в развитии явлений, принадлежащих к этому типу, каково бы ни было разнообразие специфических внешних форм, в которых эти особенности проявляются в мире конкретных явлений.

На этом мы позволим себе закончить изложение взглядов М. Петровича его словами. Согласно изложенному во введении, М. Петрович в своей книге рассматривает ход различных типов процессов и классифицирует участвующие в них факторы по их роли в развитии явлений. Известное представление о его работе могут дать названия глав его книги, которые мы позволим себе привести, не перечисляя отдельных параграфов, содержащихся в подробном оглавлении:

Глава I. Общие особенности поведения явлений

Глава 2. Общие особенности механизмов явлений

Глава 3. Связь между особенностями поведения и механизма

Глава 4. Распределение ролей и внешние проявления поведения в природных явлениях

Глава 5. Специфические формы механизмов и особенностей поведения в некоторых видах конкретных явлений

Глава 6. Феноменологические аналогии.

Как видно, автор практически не останавливается на классификации типов систем, а прямо переходит к обобщению типов процессов, в которых выделяет роль различных факторов.

Одновременно он старается показать общность различного типа процессов, опираясь на сходство математического описания однотипных процессов. В последней главе он останавливается и на качественных аналогиях, показывая их значение (и предостерегая от слишком полного отождествления явлений на основе этих аналогий), и дает определенные рекомендации по их использованию. Наконец, в заключении последней главы он разбирает возможные теоретические и практические значения аналогий.

Книга М. Петровича была отмечена в «Вестнике Социалистической академии (1923 г., №2) основоположником сходного направления А. А. Богдановым, который свою оценку взглядов М. Петровича выразил в рецензии «Учение об аналогиях», считая, что, начав с правильных шагов, Петрович остановился на полпути.

Вероятно, эта оценка все же чересчур сурова. В своих установках М. Петрович, как видно из приведенной выдержки из его книги, стоит на позициях очень близких к самому А. А. Богданову и Л. фон Берталанфи. Если учесть с одной стороны, что это были только первые шаги теории систем, и, с другой – эпоху, в которой они были сделаны, несомненно это были шаги очень решительные, заслуживающие большого уважения. Другое дело – содержательная часть его книги. В ней он рассматривает проблемы недостаточно полно, различные роли отдельных факторов и характер течения разных процессов, практически не опираясь на изучение структуры систем. Не приходится говорить о том (как справедливо отмечал и Богданов), что некоторые аналогии у него имеют поверхностный характер. Особенно, когда относятся к чуждым для него областям: социологии и экономике. Но как теоретика, создавшему совершенно новое направление и касавшемуся поневоле незнакомой области науки, это не может быть серьезно поставлено ему в упрек.

Другое дело, что изучение систем у него не приобрело надлежащей, отточенной формы. В основном он изучал процессы и роль отдельных факторов в них, как говорилось выше. Между тем, с современной точки зрения, первой задачей теории систем нам представляется классификация их по типу структуры и выявление эмпирического и логического соответствия между типом структуры и характером ее движения. Или, как мы сказали бы в биологии, характером ее функций и развития. Но и то, что было сделано Петровичем, представляет большой интерес так же, как его идеи, взятые у Томпсона, но приобретшие более общий смысл в представлениях о значении и роли моделирования.

Для биологов, несомненно, не лишены интереса некоторые его схемы, согласно которым он классифицирует течение различных процессов, роль препятствий, роль стимулятора и т. д. Они, безусловно, могли быть отчетливее отражены при более полном анализе биологических явлений. Но,

тем не менее, все же подобный подход, возможно, позволит, исходя из течения процессов, ближе подойти и к тем типам структуры систем, которые отвечают, как правило, подобному течению процесса. Однако в настоящее время говорить об этом, может быть, преждевременно. В то же время следует отметить, что целый ряд идей Петровича и Богданова еще не нашли достаточно полного развития и тем более применения. Несомненно, их развитие может быть ценным в расширении идейного арсенала теории систем и в исследовании конкретных задач в различных областях науки, исходя из теории систем.

Мы остановимся, хотя и не очень подробно, на взглядах Винера позже. Они в настоящее время настолько популярны и общеизвестны, что подробно останавливаться на них, вероятно, не имеет смысла. Стоит лишь указать, что в широкое употребление вошли, в первую очередь, представления об обратных связях. Эти связи необязательно связываются с определенными точными математическими закономерностями и в каком-то смысле (в отношении автоматов) представляют собой, вероятно, центральную идею, позволяющую строить различные их схемы, поскольку без обратных связей автоматические саморегулирующиеся устройства вообще практически невозможны.

Как сказано, в настоящее время наиболее общеизвестным и популярным представлением является представление об обратных связях. К ним мы вернемся позже, говоря о работах Федорова, Белова и Завадовского. Но при этом идеи Винера, конечно, были значительно шире и не ограничивались обратными отрицательными или положительными связями, а предполагали любые обратные связи как основу автоматического управления. Но именно этот тип связей (обратных) приобрел наибольшую известность, благодаря своей простоте и благодаря тому, что он уже широко употреблялся в различных устройствах, стабилизирующих то или иное состояние, будь это термостаты или физиологические механизмы.

Идеи А. Богданова, в отличие от М. Петровича, получили в первое время довольно широкий отклик, как положительный, так и отрицательный.

А. А. Богданов

Целый ряд экономистов, а затем представителей других специальностей заинтересовались идеями Богданова, выраженными во «Всеобщей организационной науке», но одновременно эти идеи подверглись широкой критике со стороны философов 20-х годов.

Прежде чем переходить к краткому изложению содержания идеи Богданова, необходимо сказать несколько слов об этой критике, ответы на которую содержатся в последнем издании «Всеобщей организационной науки», в ряде приложений к отдельным томам. Часто критика имела

весьма несерьезный, ситуационный характер. Основой же для серьезной критики было справедливое указание на два момента.

Первый заключался в том, что философские идеи Богданова (более раннего периода) противопоставлялись философским идеям В. И. Ленина и были сурово раскритикованы в известной труде Ленина «Материализм и эмпириокритицизм».

Второе соображение касалось высказываний Богданова во Всеобщей организационной науке, где он писал, что именно всеобщая организационная наука и ее дальнейшее развитие являются новым этапом в мировоззренческом отношении и идут на смену философии, от которой он отказался, считая ее мировоззрением донаучным и в настоящее время уже теряющим свое значение.

Как видно, эти два возражения против взглядов Богданова в известной мере оказались в некотором противоречии. Второе возражение было вполне справедливо, поскольку отказ от философии, и в частности, от философии диалектического материализма, у Богданова действительно имел место в связи с переоценкой им мировоззренческого значения своей работы. А первое – фактически отпадало, поскольку относилось к его прежним философским взглядам, которые он сам к этому времени уже считал устаревшими и неправильными. В частности, он писал, по поводу попыток полемики по поводу тектологии со стороны И. Вайнштейна: «Он цитирует мою фразу: «человек – это, прежде всего, комплекс непосредственных переживаний». Я бы не стал теперь защищать эту формулировку, по существу, философскую и относящуюся к философскому периоду моей работы – около четверти века тому назад. Огромное большинство моих критиков сосредотачивает свои усилия именно на моих тогдашних воззрениях; что же, это, вероятно, более соответствует нынешней ступени их развития. (Всеобщая организационная наука. Часть III. 1929, Л.-М., Приложение «Клерикальные критики» стр. 212 см. также стр. 216).

Более того, поскольку его упрекали в субъективизме, в том, что он считает, что закономерности объективного мира порождаются законами нашего мышления, следует привести еще одно его высказывание из «Тектологии».

На стр. 64-66 1-го тома «Всеобщей организационной науки» (Л.-М, 1925) он пишет о том, что закономерности мира не могут иметь чисто субъективного характера и диктуются нам фактами реальной действительности. Он указывает на то, что в целом ряде областей мы обнаруживаем определенную закономерность, когда объекты внешнего мира оказываются разделенными на два противоположных состояния или на две противоположные формы. Так, например, имеются южный и северный магнитные полюсы; противопоставляются друг другу катоды и аноды или два пола – мужской и женский; причем во всех случаях имеется тенденция к сближению этих противоположных явлений или объектов. И, казалось бы, этот принцип диктуется нам не внешним

миром, а нашей собственной тенденцией разделять на противоположные категории все, с чем мы встречаемся во внешнем мире. Однако, указывает Богданов, например, всемирное тяготение, с этой точки зрения, должно иметь своего антагониста в форме отталкивания, но, вопреки «устройству нашего мыслительного аппарата», мы не находим подобного антагониста, и нам приходится считаться с реальной действительностью, что гравитация не имеет никаких явлений, ей противоположных, ее уравнивающих. Таким образом, говорит он, приходится нашему разуму принимать реальные факты и считаться с ними, вопреки взглядам Канта, который предполагал, что открываемые закономерности диктуются нам нашим разумом, а не самими явлениями действительности.

Здесь мы видим полный отход А. Богданова от тех представлений, за которые он подвергался критике. Более того, критикуя в одном из разделов своей работы диалектику материалистическую, противопоставляя ей диалектику организационную, он, тем не менее, отдает должное идеям диалектического материализма. Богданов указывает на то, что «Всеобщая организационная наука» и идеи, ее породившие, имели свои истоки в идеях диалектического материализма, утверждавших единство закономерностей в самых различных областях познания. (Том I, стр. 79).

Все это заставляет нас вспомнить высказывание Ленина в книге «Материализм и эмпириокритицизм», где он прогнозирует дальнейшее развитие философских взглядов А. Богданова и говорит, что в настоящее время взгляды Богданова уже претерпели большие изменения. Первоначально он отошел от принципов диалектического материализма, но если дальнейшее развитие его взглядов пойдет по той же кривой, то можно предполагать, что Богданов впоследствии вернется вновь к материалистическим установкам.

А. Богданов в своем развитии не завершил полностью этого цикла. Но, как мы видим из его высказываний об отказе от своих философских взглядов, о признании роли объективной действительности в выявлении закономерностей в науке, он в значительной степени действительно приблизился к материалистическим позициям, которые Ленин формулировал не с точки зрения признания тех или иных субстанций, а с точки зрения признания реальности внешнего мира.

Поэтому критика «Всеобщей организационной науки» как продолжения его философии, в основном, должна быть признана необоснованной.

Более обоснованными являются упреки в том, что он считал всеобщую организационную науку новым этапом в развитии мировоззрения, этапом, который приходит на смену философии. В этом отношении он, как и многие авторы тех или иных взглядов, невольно универсализировал свои взгляды и расширял их значимость за пределы реального применения. Сам он говорит о «Всеобщей организационной науке» как о строгой науке, имеющей свои чисто фактические предпосылки,

строящей свои обобщения на реальных фактах, имеющей свои формы эксперимента, а именно моделирование, что, кстати сказать, позже подчеркнет и большинство кибернетиков, начиная с Н. Винера. Но в то же время, говоря о значении «Всеобщей организационной науки», Богданов, несомненно, возводил ее в ранг, сходный с философией, и этим самым становился на антифилософские позиции.

Конечно, здесь он допускал принципиальную ошибку, но надо сказать, что подобные ошибки мы видим у многих крупнейших ученых, например у Ч. Дарвина и его последователей, которые видели в своей теории предпосылки для понимания социальных явлений. Или у И. П. Павлова, который считал, что изучение высшей нервной деятельности есть своего рода высший этап познания человека. Или у ряда других, менее крупных ученых, которые также расширяли значение своих открытий далеко за пределы их применимости.

Частные примеры мы увидим также во взглядах Ру и Вейсмана, а также Ламарка, что, конечно, нам не мешает признавать значение реальных достижений этих ученых в тех областях, где они действительно приложимы. Идеалист Лейбниц был одним из создателей математического анализа. Иммануил Кант высказал правильные для своего времени представления о возникновении солнечной системы. И, не принимая их общефилософских взглядов, мы, тем не менее, неизбежно вынуждены считаться с их реальными научными достижениями.

Несомненно, что так же нам следует отнестись к взглядам А. Эйнштейна и ряда других крупных зарубежных ученых, стоявших на позициях позитивизма, к которому, по существу говоря, одно время примыкал А. А. Богданов и от которого отошел, именно исходя из отрицания философии.

Мы не будем дальше останавливаться на разборе философских взглядов Богданова, а упомянем лишь, что в обмене записками на одном из заседаний с Бухариным В. И. Ленин высказал предположение, что в «Тектологии», с которой он сам не смог ознакомиться (о чем пишет, в частности, по поводу статьи Невского о «Тектологии»), Богданов все же проводит свою прежнюю философскую линию. Но, как было показано, фактически, Богданов от прежней философской линии отошел, хотя и не завершил, как мы говорили, полностью того цикла, который предсказывал ему Ленин в «Материализме и эмпириокритицизме». Тем не менее, значительные шаги в этом направлении он все же, очевидно, проделал.

Оставляя теперь в стороне чисто философские (или, вернее, антифилософские) моменты в высказываниях Богданова этого периода, мы остановимся на его уже собственно научных взглядах в отношении организации систем.

Говоря об установках «Всеобщей организационной науки», он сравнивает их не столько с философией, сколько с математикой. Он указывает на то, что математика в своей основе является всеобщей наукой, проникающей в различные дисциплины, изучая число и величину, и именно в этом ее обобщающая роль. Но, по его мнению, как в математике изучение величины и количества доведено до высочайшей абстракции, так, в принципе, можно довести до высочайшей абстракции и изучение строения систем, то есть их структуры. И если принципиально возможно говорить о том, что законы математики – даже самые элементарные, как, например, таблица умножения, могут быть приложимы одинаково и к космическим телам, и к атомам, и к биологическим объектам, и к психологическим понятиям, то также, в принципе, можно создать абстрактную теорию структур в отношении систем. Закономерности, выявленные в такой теории, также с полным основанием будут приложимы к самым различным объектам, что дает право делать, исходя из них, определенные научные выводы.

Он указал на то, что, например, централизованные системы могут быть открыты и в звездах – во взаимоотношениях звезды с планетами; и в атоме – во взаимоотношениях ядра и окружающих его электронов; в централизованной политической системе; в улье – во взаимоотношениях матки и пчел; в отдельном организме – во взаимоотношениях центральной нервной системы и управляемых ею органов и т. д. и т. п. И что во всех этих случаях мы можем обнаружить некоторые общие черты, которые позволят нам обобщить их. Это поможет при встрече с другими централизованными системами делать уже на основании выявленных здесь закономерностей определенные существенные выводы. Но он не ограничивается этим.

Подобные обобщения, пишет Богданов, являются чрезвычайно плодотворными. Так, например, если бы человечество поставило себе частную задачу определить расстояние от Земли до Луны, то вряд ли бы оно могло ее разрешить. Но поставив ту же задачу в обобщенном виде, как изучение расстояния до недостижимого предмета, оно эту задачу разрешило с полным успехом. (Тектология, т. 11, стр. 3).

Обобщенные формы решений являются в этом отношении общенаучным принципом, который, доведенный до высшей степени, заставляет сформулировать общие принципы организации систем, что является задачей всеобщей организационной науки (тектологии).

Обращаясь к истории науки, А. А. Богданов подчеркивает значение аналогий, которые позволили, перенеся принципы, открытые в одних науках, формулировать аналогичные принципы и в других, производить своего рода умственное моделирование, а в некоторых случаях и реально моделировать то или иное явление. Он приводит в качестве реальных моделей опыт Плато,

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

моделирующий происхождение колец вокруг Сатурна или планет вокруг звезды, опыты Бюкли, позволившие моделировать некоторые черты живых клеток на неживых объектах и т. д.

В наше время, конечно, эти конкретные опыты отошли в прошлое и вряд ли являются убедительной иллюстрацией идей Богданова, но сама идея о роли моделирования нашла позже полностью оправдание в кибернетике и в смежных с нею дисциплинах.

Пытаясь создать определенную стройную теорию, Богданов вводит свою, довольно ограниченную терминологию и затем рассматривает отдельно принципы формирования систем, проблемы их устойчивости, принципы регуляции систем и, в частности, задолго до развития кибернетики формулирует представление о биологических «бирегуляторах», то есть о таких системах, где два звена, взаимодействуя по типу, который мы теперь назвали бы, отрицательной обратной связью, определяют устойчивость системы в целом. В частности, он приводит как модель пример смеси снега и воды, которые при повышении температур благодаря таянию льда, приводят к охлаждению системы, а при понижении температуры, благодаря замерзанию, поглощают тепло и стабилизируют данную систему в целом.

Он дает определенную классификацию систем, выделяя так называемые слитную и неточную, централизованные и децентрализованные. В пределах централизованных систем он разделяет два противоположных типа. Собственно централизованный тип (эгрессия), где центральное звено определяет поведение зависящих от него периферических объектов. И дегрессия, где центральное звено ниже организовано, чем остальная часть системы, но является своего рода связующим или скелетным, образованием, как, например, скелет у животного, звуковой образ слова, объединяющий различные ассоциации вокруг себя и т. д.

Таким образом, А. А. Богдановым были заложены некоторые принципы классификации систем и приводились некоторые приложения их, как развитые другими, так и развитые им самим.

Им развито также представление, хотя еще и не совсем точное, о том, каким образом из элементов, не имеющих определенных качеств, могут возникать системы с новыми качествами (см. подробнее Малиновский, ежегодник «Системные исследования», 1973 г.). Ставя себе целью создать именно новую науку, А. А. Богданов гораздо более последовательно, чем М. Петрович развивает свои взгляды в трех частях «Всеобщей организационной науки» («Тектологии»), начиная с элементарных понятий и переходя ко все более сложным построениям. Чтобы дать известное представление об этой последовательности, мы приведем, как это сделали и в отношении труда М. Петровича, перечисление разделов «Тектологии» Богданова по последнему изданию (не включая детализацию на подглавы и исключив введенные туда чисто полемические статьи, ныне утратившие интерес).

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

В первом томе труда А. А. Богданова (3-е изд. 1925 г.), после ряда предисловий, не лишенных интереса, но не отражающих, естественно, в названии идей автора, идет:

I. Введение. Историческая необходимость и научная возможность тектологии

II. Основные понятия и методы

A. Организованность и дезорганизованность

B. Методы тектологии

C. Отношение тектологии к частным наукам и к философии

III. Основные организационные механизмы

1. Механизм формирующий (формирующий системы АМ)

2. Механизм регулирующий

IV. Устойчивость и организованность формы.

Во второй части, после краткого предисловия («От автора»), помещены следующие разделы.

V. Расхождение и схождение форм

VI. Формы централистические

VII. Пути и результаты подбора.

В третьей части, опубликованной в данном издании уже посмертно, даны разделы:

VIII. Кризисы форм

IX. Организационная диалектика.

Как видно, А. А. Богдановым уже более последовательно и полно, чем у М. Петровича (и, как справедливо считает А. Л. Тахтаджан, также полнее, чем впоследствии у Л. Фон Берталанфи), создаются в значительной степени упорядоченные основы новой науки о системах, структурах и их организации.

Вот что пишет о содержании «Всеобщей организационной науки» А. А. Богданова А. Л. Тахтаджан:

«В «Тектологии» Богданова мы имеем смелую попытку систематической разработки общей теории структур и систем, общего учения об организационных типах и закономерностях. Богданов использует для построения тектологии материал самых различных наук, в первую очередь наук естественных. Анализ этого материала приводит к выводу о существовании единых структурных связей и закономерностей, общих для самых разнородных явлений. «Мой исходный пункт, – пишет

А. А. Богданов (цитирует А. Л. Тахтаджан), – заключается в том, что структурные отношения могут быть обобщены до такой же степени формальной чистоты схем, как в математике отношения величин. На такой основе организационные задачи могут решаться способами, аналогичными математическим. Более того, отношения количественные я рассматриваю как особый тип структурных, и самую математику как раньше развивавшуюся, в силу особых причин, ветвь всеобщей организационной науки: этим объясняется гигантская практическая сила математики, как орудия организационной жизни». (Тектология ч. 3, стр. 209).

Несомненно, что в ряде отношений математика и тектология сходны, в первую очередь по степени абстрактности и приложимости в самых различных областях нашего знания. Но, прав ли Богданов, отождествляя эти две дисциплины, судить еще рано. Отношение теории систем к математике на настоящий момент мы рассмотрим ниже отдельно.

В дальнейшем изложении идей Богданова мы будем, в основном, следовать изложению их в статье А. Л. Тахтаджяна, сумевшего конспективно дать о них ясное представление. Богданов начинает изложение принципов тектологии с наиболее элементарных. Основой формирования любых комплексов (систем) он считает соприкосновение входящих в них частей, которое он обозначает биологическим термином «конъюгация», придавая этому понятию абстрактный всеобщий смысл (ч. 1, стр. 121).

При этом он пишет, что «научно организационные понятия также строго формальны, как и математические, которые, собственно к ним и принадлежат; «конъюгация» настолько же формальное понятие, насколько и сложение величин, которое есть ее частный случай». Со стороны формы получающихся систем результаты конъюгации весьма различны.

Объединение систем или элементов посредством общих звеньев обозначается термином «связка». Развитием связки определяется степень связи. Связь может иметь цепной характер, то есть состоять как из немногих, так и из целого ряда элементов (звеньев). Цепная связь бывает как симметричная, так и ассиметричная. В симметричной связи соединенные комплексы одинаковы, как, например, в цепи, составленной из круглых звеньев. При ассиметричной связи комплексы неодинаковы, и отношение одного к другому иное, чем обратное отношение. (Такова связь винта и гайки). Анализируя цепную связь, Богданов вводит понятие «ингрессии», то есть введения (вхождения) промежуточных звеньев для цепного соединения двух комплексов, лишенных прямого контакта.

Ингрессия является основным типом организационной связи. Основную форму дезорганизации, то есть распада или разложения комплексов, Богданов называет «дезингрессией», то есть отрицательной ингрессией.

При конъюгации любых образований происходит разрыв их тавтологической границы, то есть начало процесса, после которого они перестают быть отдельностями и образуют какую-то новую систему, с дальнейшим развитием их взаимодействия. Богданов называет это организационным кризисом данных комплексов и обозначает этот тип кризисов как «кризис С» (конъюгационный кризис»). Разрыв же комплекса с образованием тектологической границы, который создает из прежней системы новые отдельности, он также рассматривает, как кризис, но другого типа. Он называет его «кризис D» («дизъюнктивный кризис»). Первичными всегда являются кризисы С, так как всякое разделение обуславливается предшествующими конъюгациями. Таков в общих чертах формирующий тектологический механизм.

Далее Богданов рассматривает регулирующий тектологический механизм. Возникшие образования имеют разную судьбу. Основной и первый вопрос сводится к тому, сохранится оно или будет уничтожено. Закономерное сохранение или уничтожение – это и есть первый этап действия общего регулирующего механизма. Обозначать его лучше всего тем именем, которое он давно получил в биологии – «отбор» или «подбор».

Особое внимание Богданов уделяет дальнейшей устойчивости организационных форм. Он различает количественную и структурную устойчивость. Положительный отбор элементов системы, то есть их возрастание в числе, приводит к росту неоднородности внутренних связей системы и тем самым ведет к уменьшению ее структурной устойчивости. Напротив – отрицательный отбор, сопровождаемый увеличением их однородности связей, ведет к увеличению структурной устойчивости. Когда преобладает положительный отбор, растет количественная устойчивость. Но имеющиеся структурные противоречия в системе сохраняются, и к ним присоединяются со вступлением новых элементов еще новые; при отрицательном отборе последний отрывает от системы, прежде всего, наименее прочно связанные с ним элементы, разрывает наиболее противоречивые связи. Функция отрицательного отбора состоит в разрушении тех элементов и связей, которые наименее устойчивы, которые больше всего нарушают внутреннюю организованность целого. Происходит и укрепление системы, и возрастание ее стройности. Если отрицательный отбор, не производя слишком глубокого разрушения системы, вновь сменится положительным, то дальнейшее увеличение и развитие системы происходит уже при сохранении большей организованности.

Но при этом следует иметь в виду относительный характер всякой устойчивости. Говоря о ней, мы чаще всего учитываем некоторые средние условия среды, в которых существует данная система. Но это только усредненная «нормальная» высота устойчивости. Конкретная же реальная величина устойчивости зависит от конкретных, частных условий и изменяется вместе с ними.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Отрицательный отбор в разных условиях разрушает то, что менее устойчиво именно в данных условиях.

Общая устойчивость комплекса по отношению к данной его среде является сложным результатом частичных устойчивостей разных частей этого комплекса. Уже рассмотрение такой простой системы, как цепь, из звеньев неодинаковой прочности, показывает, что структурная устойчивость целого определяется наименьшей его частичной устойчивостью. Эта схема относится не только к механическим системам, но решительно ко всяким: физическим, биологическим, психологическим и т. д. Но, как увидим далее, эта закономерность приложима не ко всем типам систем.

Система, как правило, подвергается неравным и неравномерным воздействиям в разных своих частях, поэтому Богданов вводит понятие об «относительном сопротивлении». Если изменяется величина внешних воздействий или структурное состояние самой системы, то достаточно, чтобы в какой бы то ни было ее части, на какой бы то ни было краткий промежуток времени установилось относительное сопротивление ниже единицы – и произойдет разрушительный процесс. Поэтому в его обобщенной тектологической формулировке «закон минимума» означает, что устойчивость целого зависит от наименьших относительных сопротивлений всех его частей во всякий момент. Богданов этот закон называет «законом относительных сопротивлений» или, короче, «законом наименьших».

Как указывает автор «Тектологии», закон этот в механике, в физике, в технических и других науках сформулирован уже давно. Так в агрохимии Ю. Либихом был сформулирован так называемый «закон минимума» – основная формула урожайности, правда, лишь приблизительная. Сформулирован он также и в других науках. В книге Б. Робертсона «Химическая основа роста и старения» (1923), тот же принцип наименьших дается для системы химических реакций.

Устойчивость системы рассматривается в «Тектологии» и в другом аспекте. Среда воздействует на систему, а система на свою среду там, где обе они между собою соприкасаются, так сказать в «пограничной» области. Термин «пограничный» надо, конечно, понимать не только пространственно, а в смысле любой организационной границы между ними. В зависимости от типа системы граница будет больше или меньше, и, следовательно, будет больше или меньше соприкосновений. Две системы, равные в прочих отношениях, могут различаться именно в этом. Как же такие различия отразятся на структурной устойчивости? Конечно, любая форма отбора будет сильнее проявляться у систем с увеличенной поверхностью соприкосновения со средой. Богданов условно называл такие системы «четочными». Строение, более «ровное», менее разветвляющееся, противоположное «четочному», он назвал «слитным». Естественно, что в слитных системах связи

между собственными их элементами прочнее, чем в четочных. Это дает меньше возможностей для проникновения между ними элементов или комплексов внешней среды. Для слитных комплексов и отрицательный, и положительный отборы менее интенсивны. Поэтому эти направления отбора элементов системы средой не одинаково сказываются на системах. Для сохранения и развития систем при отрицательном отборе благоприятнее слитная структура. При положительном – четочная (стр. 348). Понятия «четочной» и «слитной» организации вполне применимы не только в пространственных, но и во временных структурных отношениях. Здесь, как мы видим, Богданов давая типологию систем, связывает ее с характером процессов в них.

Особой проблемой является структурная устойчивость в системах равновесия. Согласно закону Ле Шателье, сформулированному для физических и химических систем, если система равновесия подвергается воздействию, изменяющему какое-либо из условий равновесия, то в ней возникают процессы, направленные так, чтобы противодействовать этому изменению. Богданов считает этот закон тектологическим, то есть универсальным, в чем он следует Федорову и Банкрофту. Устойчивость систем равновесия, выраженная в законе Ле Шателье, объясняется все тем же механизмом отбора. Далее Богданов переходит к проблеме развития систем с другой стороны – к расхождению и схождению форм.

Как бы ни были сходны два комплекса, их дальнейшие изменения не будут вполне одинаковыми. Они должны быть различны и в силу первоначальной разности самих комплексов, и в силу разностей среды, воздействиями которой изменения вызываются. Различия возрастают, и в зависимости от этого дальнейшие изменения должны оказаться еще более несходными. Следовательно, расхождение исходных форм идет «лавинообразно». Процессы расхождения необратимы. Пример этому мы в биологии видим в принципе необратимости эволюции.

Когда в решении тектологической задачи данные включают одновременно и отдельность, и связь комплексов, то есть, когда требуется исследовать изменения системы, состоящей из отдельных частей, это можно обозначить как задачу на системное расхождение («системную дифференциацию»). Принцип относительных сопротивлений (закон наименьших) дал ответ на вопрос об условиях сохранения или разрушения таких систем. В каком же направлении должна изменяться система, если она сохраняется? Очевидно, в сторону наиболее устойчивых соотношений. Получается, следовательно, возрастание различий, ведущее к все более устойчивым структурным соотношениям. Какие же соотношения расходящихся частей будут наиболее устойчивыми? Такие, при которых эти части взаимно дополняют друг друга. Это – дополнительные соотношения. Развиваются такие различия, которые повышают связность и устойчивость системы, ее прочность

под внешними воздействиями, ее организацию. Типичными примерами дополнительных соотношений являются разделение функций в организме.

Вся область жизни на земле может рассматриваться как одна система расхождения. Она разветвляется на два «царства» – растительное и животное; между ними существуют во многом дополнительные соотношения. Иначе говоря, системное расхождение включает в себе тенденцию развития, направленную к дополнительным соотношениям (ч. 2, стр. 27). Системное расхождение направляется по линии дополнительных связей силою отбора.

Но оно включает в себе и другую тенденцию. Вместе с условием устойчивости дополнительными связями оно создает также и предпосылки для неустойчивости: то есть порождает «системные противоречия». Противоречия эти способны на известном уровне их развития перевешивать значение дополнительных связей. Системное расхождение означает возрастание организационных различий между частями целого, увеличение «тектологической разности».

Такие противоречия могут решаться или отрицательным путем, и тогда разрушается сама система, или положительным, то есть преобразованием системы, освобождением ее от противоречий. Ослабление или устранение системных противоречий достигается путем конъюгационных процессов, которые дают новый материал для перегруппировок и их отбора, то есть вообще для структурного преобразования всей системы. Это «контрдифференциация», которая широко распространена в природе. Она наблюдается на всех ступенях организованности. К ней, в сущности, должны быть отнесены и все случаи выравнивания напряжений. И во всякой контрдифференциации простое количественное выравнивание – только первый момент; всегда за ним выступает и второй момент – структурные изменения в отборе нового материала комбинаций.

В противоположность расхождению организационных форм возможно также их схождение. Схождение форм имеет иной смысл, чем контрдифференциация, и иное происхождение. Схождение является результатом сходно направленного отбора со стороны сходной среды. Разница с контрдифференциацией вполне ясна: там расхождение или его отрицательные последствия парализуются прямой конъюгацией самих разошедшихся форм; здесь же такой конъюгации нет. Нарастающее сходство комплексов определяется не их собственным общением, а их сходными отношениями к среде. Схождение форм хорошо иллюстрируется на техническом примере отливки. Роль «отливочной» формы, конечно, в разных смыслах и в равной мере может играть всякая определенная среда.

Разумеется, сближение форм возможно при некоторой, заранее имеющейся их организационной однородности: чем различнее сама их организация, тем менее вероятно одинаковое отношение к среде.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Всякая повторяемость форм, а, следовательно, всякая наблюдаемая закономерность, основывается, в конечном счете, на каком-нибудь схождении. Эта схема объясняет то, почему различный химический материал, получаемый живой протоплазмой, «отливается» под ее действием в специфические формы ее собственного сходства. Для объяснения процесса в ассимиляции Богданов считает необходимым принять, что поступающие материалы проходят в организме через какую-то химическую отливочную форму, откуда могут выйти только в виде специфических соединений (там же, стр. 120). Но как найти эту отливочную форму?

В этой связи Богдановым вводятся два организационных понятия. Первое из них – регулятор. Это приспособление, которое служит для того, чтобы поддержать какой-нибудь процесс на определенном уровне. Регулятор есть одна из разновидностей «отливочной» формы» в тектологическом смысле слова: при помощи его вызывается «схождение» разных фаз данного процесса на определенной высоте. Второе понятие производное от первого, но сложнее – бирегулятор, то есть двойной регулятор. Это такая комбинация, в которой два комплекса взаимно регулируют друг друга.

Другими словами, бирегулятор – это система двойного внутреннего регулирования. Например, в паровой машине дело обстоит таким образом, что скорость хода и давление пара взаимно регулируют друг друга: если давление поднимается выше определенного уровня, то возрастает и скорость, а зависящий от нее механизм тогда уменьшает давление и обратно. В природе бирегуляторы встречаются нередко: хотя бы система равновесия «вода-лед» при 0°C. Если вода нагревается выше нуля, то соприкасающийся с ней лед отнимает излишек теплоты, поглощая ее при своем таянии; если происходит охлаждение, часть воды замерзает, освобождая теплоту, которая и не дает температуре льда опуститься ниже нуля. В общественной организации бирегулятор очень распространен в виде систем «взаимного контроля» лиц или учреждений и т. п.

Бирегулятор есть такая система, для которой не нужен регулятор извне, поэтому она сама себя регулирует. Эта важная идея саморегулирования систем равновесия более подробно развита в книге А. Богданова «Борьба за жизнеспособность», посвященной проблемам геронтологии, и, как видно, является той формой взаимодействия частей, которую мы теперь называем «отрицательной обратной связью».

Рассматривая типологию систем, Богданов выделяет, в частности, два типа систем, играющих исключительно большую роль как по своей распространенности, так и по организационному смыслу. Если пользоваться обычными терминами, расширяя, однако, их значение, то первый тип можно было бы назвать «централистическим», второй – «скелетным». Но оба термина слишком тесно связываются для нашего сознания с определенными социальными и биологическими формами.

Поэтому Богданов вводит два новых обозначения – «эгрессия» и «дегрессия», точнее соответствующие общеорганизационной идее (там же, стр. 124).

Основную выше организованную часть эгрессивной (централистической) системы Богданов называет «центральной» для нее, или просто ее центром; прочие – «периферическими». При этом он имеет в виду только организационные отношения, совершенно не касаясь вопроса о пространственном положении. Например, в системе, состоящей из матери – беременной самки и ее еще не рожденных детенышей, центром эгрессии, конечно, является мать, а детеныши – «периферические» то есть структурно более зависимые комплексы, хотя в смысле места взаимоотношения как раз обратное.

Такая централизованная форма является частным случаем дифференциации, то есть организационного расхождения; чем она шире и дальше разворачивается, тем сильнее эта дифференциация со всеми ее последствиями; а одно из них, совершенно неизбежное, это – развитие системных противоречий. Способ разрешения системных противоречий для эгрессии принципиально тот же, как и для других форм расхождения, а именно контрдифференциация.

Но в эгрессивных системах возможны также противоречия, зависящие не столько от дифференциации, сколько от ее неполноты; они наблюдаются в случаях «многоцентрия». Стройно организованная центрированная система характеризуется одним общим центром. Но на деле нередко встречаются системы с двумя или более главными центрами, с параллелизмом связей каких-нибудь низших центров, словом, несоответствующие принципу едиоцентрия. В них проявляются неуравновешенность, противоречия, дезорганизация.

Чем пластичнее система, тем больше в ней образуется комбинаций при всяких изменяющих ее условиях; чем шире материал для отбора, тем быстрее и полнее ее приспособление к этим условиям. Если жизнь успешно борется с мертвой природой, если человеческий мозг господствует над огнем и сталью, то именно благодаря своей пластичности. Прогресс, основанный на пластичности, ведет к умножению организационных форм, ибо в них накапливаются приспособления к все новым изменяющимся условиям. Усложнение, в свою очередь, благоприятно для развития пластичности, считал А. Богданов. В этом отношении он не совсем прав, как мы увидим ниже. Все дело в типе усложнения.

Но в общем, по Богданову, чем выше организация, тем она сложнее и пластичнее. Но здесь есть и другая сторона: параллельно с этими положительными чертами возрастает одно, тоже весьма важное, отрицательное свойство – «нежность» или «уязвимость» организации. Подвижность элементов допускает относительно легкое разрушение связей между ними; а сложность внутренних равновесий системы означает также их сравнительную неустойчивость. Яркая иллюстрация –

человеческий мозг. Здесь перед нами одно из типичнейших тектологических противоречий: возрастание организованности по одним направлениям достигается за счет ее уменьшения по другим. Выходом из этого положения является возникновение депрессии, то есть скелетных структур.

Млекопитающие и человек имеют наружный скелет (из роговой ткани – эпидермы и лежащей под нею волокнистой ткани – кожи) и внутренний скелет из костей. Внутренний и наружный скелеты в известной степени заменяют друг друга у разных животных; например, у насекомых хитиновая оболочка, а у большинства моллюсков раковина, делают излишним центральный скелет, но у некоторых, например, каракатиц, он все же имеется. Вообще само разграничение центральной и периферической депрессии возможно только для систем пространственно-непрерывных и устойчивых по геометрической форме, каковы организмы; для систем же, например, социальных оно большей частью не может быть установлено или принимает характер переменного соотношения.

Скелетные формы не обязательно более прочны или тверды в механическом смысле. Когда преследуемая каракатица окружает себя облаком чернильной жидкости, делающей воду непрозрачной, это тоже временный наружный скелет каракатицы.

Особый и интересный случай депрессии представляют собой разного рода символы, в частности слово. Слова фиксируют, то есть скрепляют, удерживают и охраняют от распада живые ассоциации, пластическую ткань психических образов, совершенно также как скелет организма пассивно фиксирует живые пластичные ткани, активно функционирующие в нашем теле. И эгрессия, и депрессия представляют собой частный случай асимметричной связи, возникающей согласно принципу системных дифференциаций.

Говоря о кризисах форм, Богданов считает, что существует два основных типа кризисов. Одни кризисы возникают из нарушения полных дезингрессий, то есть из разрыва тектологических границ при образовании новых связей; другие, напротив, из разрывов связей, то есть путем создания новых границ там, где их не было. По Богданову, кризис всегда связан с нарушением равновесия и в то же время с процессом перехода к какому-то новому равновесию. Последнее может рассматриваться как предел происходящих при кризисе изменений. Если нам известны тенденции кризиса и те условия, в которых они разворачиваются, то возможно заранее предвидеть конечный результат кризиса: то новое (может быть, и временное) предельное равновесие, которое достигается в результате кризиса. Предельное равновесие всегда относительно, так как законченных форм и остановки на них в природе не бывает. Структура взрослого организма является предельным равновесием, к которому тяготеет развитие зародыша. Но и это равновесие – временное, его нарушение связано со старением, приводящим к новому предельному равновесию – к смерти.

Особый тип кризисов – взрывной, обладающий особыми чертами. Взрывные системы представляют собой ложные равновесия. Это значит, что те процессы, которые разворачиваются в виде взрыва, как правило, идут и до него, но чрезвычайно медленно и обычно не улавливаются нами. Например, смесь двух объемов водорода и одного объема кислорода (гремучий газ) от искры мгновенно превращается в водяной пар с выделением огромного количества теплоты. Но это превращение медленно происходит и без искры в обычных условиях, хотя для этого нужны многие миллионы лет. Таким образом, во взрывных системах толчок, вызывающий взрыв, только резко изменяет темпы уже идущих процессов. Нарастающий (лавинообразный) тип взрывных кризисов определяется тем, что активности, которые при нем освобождаются, сами освобождают такие же активности в системе и в большем количестве. Взорвавшаяся частица пикриновой кислоты взрывает соседнюю. При этом, поскольку освобождаемые активности превосходят энергию первоначального толчка, силы и размеры кризиса не зависят от размеров толчка, лишь бы он превосходил определенный порог.

Обратный тип кризиса – замирающий. Таковы, например, обратимые химические реакции. Иллюстрацией может быть соединение одного из спиртов с кислотой. Когда реакция начинается, она практически идет в одну сторону с образованием эфира. Но по мере того, как он накапливается, развивается противоположный процесс, который, накладываясь на первый, дает все большее его замедление. Наконец, оба процесса взаимно нейтрализуются, и система достигает предельного равновесия. Оно принадлежит к тем, которые принято называть истинными и к которым применим принцип Ле Шателье. Все случаи применимости этого принципа могут рассматриваться как кризисы С замирающего типа. Такой тип широко распространен в природе. К нему относятся все категории вибраций и задержанных реакций.

Сравнивая идеи Богданова с позднейшими идеями Винера и Бераланфи, мы можем сказать, что у них имеется много идей общих с тектологией. Но особенно близок к тектологии У. Росс Эшби, которого объединяет с Богдановым абстрактность подхода к предмету исследования, явное сходство вводимых понятий и даже способ изложения материала. Это может быть и не случайно – У. Росс Эшби – психиатр, каким в прошлом был и Богданов. Эшби придает особое значение отбору не только в плане эволюции, но и в поведении любой системы. Но у Богданова разнообразие форм отбора больше и им проведен более тщательный их анализ. Очень сходно обоснование Богдановым и Эшби изоморфизма систем как предпосылки для моделирования. М. И. Сетров подчеркивает также, что они одинаково широко понимают обратную связь. «Теорема вето» Эшби представляет собою по существу формализованный принцип наименьших. В. П. Боголепов пишет, что, говоря о труде Богданова, надо особо подчеркнуть: ряд утверждений автора не только перекликается с основными

идеями кибернетики, но прямо свидетельствует, что он частично заглядывал дальше, нежели впоследствии официальные зачинатели этой науки (Н. Винер и др.). Автор работы справедливо считает тектологию Богданова первой широкой попыткой системного подхода в науке. «Исследования, проведенные уже в наши дни, показали, что многие важные идеи и принцип кибернетики, сформулированные Н. Винером и особенно У. Росс Эшби, значительно раньше, хотя часто в несколько иной форме, были выражены А. Богдановым. В еще большей мере это относится к «общей теории систем» Л. фон Берталанфи, идейная часть которой во многом предвосхищена автором тектологии. В частности, именно А. А. Богданову принадлежит первая в истории науки формулировка всеобщего значения принципа организованности, опирающаяся на попытки его широкого обоснования данными естественных и общественных наук».

Общая теория систем Л. фон Берталанфи

Остановимся очень кратко на широко известной концепции Берталанфи, также в значительной степени следуя изложению академиком А. Л. Тахтаджяном. Он пишет, что, по-видимому, независимо от Богданова (несмотря на изданный в Берлине в 20-х годах немецкий перевод двух первых частей «Тектологии») к сходным мыслям пришел крупный биолог Людвиг фон Берталанфи. Основную идею своей «общей теории систем» он выдвинул еще в 1937 году (через 15 лет после выхода в свет третьей части «Тектологии» и через 24 года после выхода первого издания первой части) в лекциях, прочитанных на философском семинаре в Чикагском университете. Но его первые публикации по этой проблеме начинаются лишь с 1947 года, то есть еще на 10 лет позже. Берталанфи подчеркивает, что современная наука характеризуется замечательным явлением независимого появления сходных общих идей в самых различных ее областях. Помимо общих аспектов и сходных точек зрения, мы наблюдаем в разных областях науки также и формально идентичные или изоморфные законы. Как хорошо известно, одни и те же дифференциальные уравнения применимы, например, к движению жидкости, теплоты и электрического тока в проводниках. (Вспомним М. Петровича). Но, по мнению Берталанфи, значение этого факта и возможности, которые он открывает вне области физики, не учитывались в нужной мере. Мир в целом характеризуется структурным единством, которое выражается в существовании изоморфных черт порядка на разных его уровнях. Именно поэтому мы и находим изоморфные законы в самых разных научных областях.

Потребность в развитии науки, выделяющей единые принципы и модели, общие для разных областей, часто подчеркивалась за последние годы, пишет Берталанфи. Но он ссылается только на работы Винера по кибернетике, на общую семантику А. Кожибского, на идею Scientific Generalists,

выдвинутую Бодом, и др. и на «многие другие публикации». По мнению Берталанфи, ясная формулировка проблемы и систематическая ее разработка, по-видимому, никогда не были сделаны. Реально мы уже видели, что и формулировка проблем и систематическая разработка ее были проведены в работах М. Петровича и А. Богданова за десятки лет до Берталанфи.

Изложенные взгляды привели Берталанфи к развитию новой, как ему казалось, научной дисциплины, названной им «общей теорией систем». Он рассматривает ее как логико-математическую область, задачей которой является формулирование и дедукция принципов действительных для «систем вообще». Существуют общие законы систем, применимые к любым системам данного типа. То, что многие науки имеют дело с системами, приводит к формальному соответствию или логической гомологии в их общих принципах и даже в законах, считающихся специфическими для них.

Берталанфи называет системой комплекс элементов, находящихся во взаимодействии. Изучение общих принципов разнородных систем ведет к интеграции науки. По мнению Берталанфи, теория систем должна дать логическое определение понятий «система», «организация», классифицировать основные типы систем и разработать математические модели их описания. Он подчеркивает значение для современной науки понятия «организация» и стремится к созданию «общей теории организации», не зная, что уже существует «всеобщая организационная наука» А. Богданова. Тот факт, что в определенных аспектах соответствующие абстракции и концептуальные модели равно применимы к разным явлениям, не значит, по его разъяснению, что физические системы, организмы и т. д. вообще являются одним и тем же. Берталанфи говорит лишь о структурном сходстве теоретических моделей, применяемых в разных областях. Мы видели, что эта идея была прекрасно сформулирована автором «Всеобщей организационной науки», хотя и без употребления возникшей позже терминологии.

«Очень важной задачей общей теории систем, – пишет Тахтаджян, – Берталанфи считает обобщение таких физических принципов, как закон наименьшего действия, принцип Ле Шателье или условия сохранения стационарных состояний и периодических колебаний с целью их применения к системам вообще. «Как мы знаем, эта проблема разносторонне разработана уже в «Тектологии» Богданова. По мнению Берталанфи, для многих областей необходима также общая теория периодических процессов: проблемы затухания колебаний выступают в физике, неврологии, теории биоценозов. С другой стороны, такие понятия, как прогрессивная механизация, централизация, индивидуальность, ведущая часть еще чужды физике, но они уже являются основными для биологических и социологических областей и требуют тщательного изучения в обобщенном виде.

Общность законов для сходных структур в разных областях позволяет использовать лучше известные системы как модели для систем более сложных. Изоморфизм, говорит Берталанфи, является основой для использования моделей и модельной концепции в науке. Фактически научный прогресс в значительной степени обязан удачным модельным концепциям. Поэтому общая теория систем избавит нас от необходимости открывать несколько раз одни и те же принципы в разных научных областях. В то же время за счет точных критериев для установления изоморфизмов общая теория систем сможет отбросить поверхностные аналогии, которые бесполезны науке и вредны по своим практическим последствиям. Напомним, что Петрович также, может быть менее строго разрешал глубокие и поверхностные аналогии. Но он допускал научную ценность и менее глубоких аналогий, конечно, при учете степени их неточности.

Уже в первой части «Тектологии» А. Богданов подробно обосновывает «объединяющее» и «контролирующее» значение созданной им науки о структурных системах и подчеркивает значение сознательного перенесения принципов и методов одних наук в иные, часто далекие по своим объектам.

Рассматривая вопрос о кибернетике, Берталанфи считает ее лишь частью общей теории систем. Узость кибернетики по сравнению с теорией систем выражается принимаемой ею машинной моделью биологических явлений и в ограничении ее интересов замкнутыми системами. Общая теория систем, по его мнению, более революционна, так как она отвергает, во-первых, картезианскую машинную теорию организма, а во-вторых, основывается на концепции организма, как открытой системы. Если соображение об открытых системах надо признать правильным, то упрек в адрес кибернетики за принятие ею якобы машинной теории организма вряд ли справедлив.

Берталанфи указывает на особое значение общей теории систем, исходя из следующего: единство науки основывалось ранее через редукцию всех наук к физике. Но единая концепция мира может быть основана не на лапласовской надежде свести, в конце концов, все уровни реальности к уровню физики, но в большей степени на единстве принципов в различных дисциплинах. В этом отношении он, по существу, повторяет ранее высказывавшиеся и цитированные уже нами краткие замечания В. И. Ленина о значении тождества уравнений, описывающих разные явления. С точки зрения концептуального построения науки, это означает структурное единообразие применяемых нами схем. С точки зрения «материальной», это означает, что мир обнаруживает структурное единообразие, проявляющееся в изоморфизме структур разных уровней. Таким образом, синтез наук достигается, по Берталанфи, не путем сведения всех наук к физике («Редукционизм»), а на основе изоморфизма законов в различных областях («Перспективизм»). «Объединяющий принцип, – пишет Тахтаджян, – заключается в том, что мы находим организацию на всех уровнях». По выражению

экономиста Боулдинга, «общая теория систем есть скелет науки в том смысле, что ее целью является разработка основ или структур систем, на которые наращивается плоть и кровь отдельных дисциплин».

Идеи и принципы общей теории систем развиваются многими последователями Бераланфи.

Однако вряд ли можно указать на существенные достижения в биологии, основанные на закономерностях общей теории систем Бераланфи. Более того, Аптером в его книге было высказано мнение, что, правильно поставив проблему и сформулировав исходные принципы общей теории систем, Л. фон Бераланфи не сумел последовательно проводить свои идеи и фактически уклонился от общесистемного изучения явлений жизни в изучение термодинамики жизненных процессов.

Кибернетика и теория систем

Мы позволим себе не останавливаться подробнее на кибернетике, а лишь высказать несколько кратких положений, дополняющих высказывания Бераланфи, о связи кибернетики с теорией биологических систем. Рассматривая управляющие системы вне зависимости от субстрата, из которого они построены, и изучая их обобщенные особенности, кибернетика, бесспорно, входит как часть в теорию систем, о чем справедливо писал Бераланфи. Прав он и в том, что отстаивает необходимость более широкого, чем в кибернетике, изучения систем, включая все типы, а не только управляющие системы. Отличием кибернетики от теории систем является также большая математизированность, с одной стороны, а с другой – отчетливая направленность ее на технические задачи, что и открыло ей широкую дорогу к признанию. Но целый ряд закономерностей, сформулированных в кибернетике, входит в теорию систем, и многие из них уже много раньше были сформулированы зачинателями общей теории систем. В первую очередь, сюда относятся идеи о регуляции и принцип обратных связей, из которых наиболее популярна обратная отрицательная связь.

Н. Винером в книге, переведенной на русский язык под названием «Кибернетика и общества», в не прямой форме констатируется принцип слабого звена. Выше упоминалось формулировка Эшби по этому же поводу. Эшби, психиатр по исходной своей профессии, в своих работах придает особенно большое значение процессам отбора.

Короче говоря, целый ряд системных закономерностей заново сформулирован в кибернетике и широко в ней применяется. Некоторые видные кибернетики вообще чрезвычайно сближают эти две дисциплины. Так, член-корр. АН СССР А. А. Ляпунов в коротком введении к статье А. А. Малиновского (Наука об организации и организация науки. Природа, 1972, № 3), вообще

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

пишет, что теория систем это качественная кибернетика, формулирующая принципы, предшествующие применению математических методов, а кибернетика – теория систем, включающая применение математических методов. Это, может быть, и не вполне точно, но, несомненно, очень близко к истине.

Что касается отношения к биологии, то уже в книге Н. Винера («Кибернетика») сделаны две попытки решить биологические (медицинские) вопросы. Это вопросы о причинах возникновения шизофрении и о расстройствах движений при некоторых заболеваниях нервной системы. Если первая попытка не может быть признана удачной (См. А. А. Малиновский «Обратные связи и системные изменения в развитии аутистического мышления у шизофреников и шизоидов», 1977, Проблемы кибернетики, № 32), то вторая, напротив, вряд ли может быть поставлена под сомнение.

Подводя итоги настоящей главе, мы можем сказать, что работы рассмотренных четырех авторов имеют между собою много общего, а в различиях хорошо дополняют друг друга. Все авторы, кроме М. Петровича, или были биологами, или пользовались консультацией биологов. (Н. Винер) и внесли свой вклад в развитие теории биологических систем. Первые два автора, обнаружив общие тенденции в развитии науки, не были все же поняты современниками, так как выступили слишком рано.

Возникновение кибернетики, совпавшее по времени с научно-технической революцией, и сразу выявившаяся практическая значимость в военном деле и производстве пробили дорогу идеям системного характера, благодаря чему выступление Бераланфи сразу обратило на себя внимание, а затем были оценены ретроспективно и фундаментальные работы М. Петровича и А. А. Богданова.

Глава III

Системные закономерности в исследованиях биологов, не обобщавших их специально в теории систем

Прежде, чем перейти к настоящей теме, необходимо сделать одно существенное замечание. Во введении и далее мы приводили резкое различие между системным подходом, который рассматривали, как большой шаг к теории систем (и, в частности, биологических), и самой теорией систем, которая и составляет собственно новую дисциплину широкого общего значения. Системный же подход – лишь общий подход, применявшийся издавна, но оформленный в четкие, методологические принципы с определенными формулировками и методическими приемами лишь в последние десятилетия. Он еще не является новой дисциплиной.

В прошлом же он применялся лишь в зависимости от таланта и индивидуальности исследователя (и от поставленной научной задачи), то больше, то меньше. Но, рассматривая работы биологов, развивших те или иные представления, вошедшие в дальнейшем в теорию систем, как существенные закономерности и даже как разделы теории систем, мы должны сказать, что они основаны на системном подходе, на рассмотрении объекта исследования как системы или части, входящей в более широкую тему. И это не удивительно.

Системный подход, являясь менее определенным явлением, чем теория систем, тем не менее, предъявляет к исследователю требования жесткие, но необходимые в формулировании основных положений и закономерностей теории систем. Это – та почва, без которой не могут вырасти основные принципы теории систем. Именно исходя из не сформулированного, но реально применявшегося системного подхода, ряд талантливых ученых – каждый в своей области выявили системные закономерности, далее оказавшиеся широко применимыми за пределами их специальности.

В настоящем разделе мы коснемся, по существу, основной проблемы. Если четко и сознательно сформулированные теории систем, под каким бы названием они ни были известны, а именно работы А. Богданова, Н. Винера, Л. Бергаланфи (кроме М. Петровича), достаточно освещены в литературе, то тот вклад, который сделали в общую теорию систем крупные ученые-биологи, не ставившие целью развитие теории систем, но сформулировавшие важные закономерности в этой области, не был достаточно освещен в литературе, по крайней мере в систематическом порядке. Среди таких биологов надо назвать в первую Ч. Дарвина, Ю. Либиха, менее известного физиолога

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Н. А. Белова, академика ВАСХНИЛ М. М. Завадовского и некоторых других, которые будут упомянуты ниже.

Каждый из них внес свое оригинальное направление в биологическую науку, направление, которое в дальнейшем приобрело значение, выходящее за пределы биологии, но, все же, наиболее важное именно для науки о жизни. По этим, сравнительно немногим, направлениям мы и рассмотрим несколько наиболее выдающихся исследователей.

Но, чтобы объективно выбрать самые важные для теории систем направления, надо определить и некоторые критерии, позволяющие остановиться на той, а не на иной из развитых теорий, на той, а не на другой сформулированной исследователем закономерности.

Каковы же критерии, по которым мы должны подойти к закономерностям частных наук, чтобы иметь право сказать, что они являются, по существу, закономерностями системными? Это, в первую очередь, конечно, их универсальность, то есть их приложимость к различным областям науки за пределами той, где они были сформулированы. Но универсальность эта может констатироваться разными способами.

С одной стороны, это может быть уже использованное другими учеными применение той же закономерности, как мы это видим в принципе отбора в разных областях. С другой стороны, это может быть связано с потенциальной возможностью такого применения, которое еще не имело места. В-третьих, непрямым указанием на системный характер этих закономерностей может быть то, что они открываются или иллюстрируются с помощью моделирования, которое сам автор иногда рассматривает только как иллюстрацию, но которая косвенно указывает на то, что данная закономерность является не узкой, специфичной для одной дисциплины, а достаточно широкой и применимой в другие случаи.

Надо заметить, что один из двух первых авторов, систематически развивавших идеи того, что мы теперь называем общей теорией систем, М. Петрович, неслучайно одну свою работу назвал «Учением об аналогиях». А. Богданов в своей «Всеобщей организационной науке» также говорил о том, что она имеет свои форму эксперимента, а именно моделирование.

Они оба были правы, ибо, говоря достаточно точно, мы можем сказать, что аналогия – это естественная модель какого-либо явления в виде явления, взятого из другой области и, напротив, модель – это искусственная аналогия, привлеченная для анализа или уточнения представления о каком-либо явлении, исследуемом в данной области.

Мы здесь не будем говорить о различных формах моделирования. Но уже тот факт, что моделирование часто разделяют на техническое и мысленное, или математическое, в некоторых

случаях указывает на то, что этот метод является очень широким и, действительно, может служить для понимания явлений в определенной области с помощью другой области. Так же как и аналогия, которая подсказывает решение уже не чисто эмпирическое с помощью искусственного, специально развиваемого метода, а с помощью установления естественного изоморфизма систем или процессов в разных областях.

Именно эти критерии могут служить нам для выделения конкретных биологических закономерностей, как основы общих системных закономерностей.

В теорию биологических систем позже вошли как основные принципы: теория естественного отбора Ч. Дарвина и его последователей, со многими ее разветвлениями; эволюционный принцип, развитый еще до Ч. Дарвина Ж. Г. Ламарком, Жоффруа Сент-Илером и другими в биологии, но окончательно утвержденный все же Ч. Дарвином; принцип слабого звена, обоснованный и примененный Ю. Либихом в агрономической науке; принцип обратных связей, сформулированный в биологии Н. А. Беловым, М. М. Завадовским и развитый далее другими биологами и некоторые другие принципы, связанные с именами ряда ученых.

§ 1. Дарвинизм и принцип отбора естественного и общего

Несомненно, что первым среди них, как по времени, так по значению, является Чарльз Дарвин. Его работа не только преобразила почти все биологические науки, но и послужила образцом для применения ее принципов в других дисциплинах. А, как мы говорили выше, основным критерием системного характера закономерностей, открытых в каких-либо конкретных науках, является именно применение (или возможность применения) этих закономерностей в науках иного порядка, иногда весьма отдаленных от той области, где эти закономерности впервые были сформулированы.

С этой точки зрения, говоря о значении теории Ч. Дарвина, можно сослаться на целый ряд дисциплин, где два основных принципа, развитых им, а именно: эволюционный принцип, с одной стороны, и принцип отбора, являющийся основным объяснением механизмов эволюции – с другой, оказались чрезвычайно широко применимыми. Это относится и к астрономии, и к вопросам эволюционных изменений химических элементов, и к психологии, и к применению отбора в других различных областях.

Уже это одно заставило бы нас считать принципы Ч. Дарвина типично системными. Конечно, в ряде случаев системные принципы, сформулированные отдельными учеными, могут и не быть еще

применены в других областях, но их сравнительный анализ может позволить счесть их принципами системными, если мы увидим, что потенциально такое приложение их в других областях возможно.

По существу этого можно сказать, что таким примером в свое время была работа Н. А. Белова, сформулировавшего в 1911-1912 годах принцип обратных отрицательных связей, хотя и под другим названием. Этот принцип, с развитием кибернетики стал таким привычным в нашей науке, что ни у кого теперь уже не вызывает сомнения его универсальность.

Следует обратить особое внимание в теории Дарвина не только на то, что его основные положения нашли широкое применение в других областях (о чем подробнее будет сказано ниже), но и на то, что сам подход Дарвина к проблеме эволюции был основан на новом представлении о виде. Вероятно, впервые вид (а не только представитель вида) стал рассматриваться как система. Особенно ясно это при сравнении эволюционной теории Дарвина с предшествовавшей ей теорией Ж. Б. Ламарка.

Действительно, идея эволюции уже была сформулирована в достаточно полном виде Ж. Б. Ламарком и имела своих последователей. Однако она не приобрела такого всеобщего признания, какое получила теория Дарвина сразу же после выхода в свет его основного труда. Если мы посмотрим, почему это произошло, то станут ясными две причины. Одна, наиболее важная, заключается в том, что Ламарк не сумел привести единой и полно объясняющей проблему движущей силы эволюционного механизма в своих работах. С другой стороны, ряд его положений произвел весьма несерьезное впечатление. Это особенно относилось к тому, что стали называть психоламаркизмом. Более убедительным для его эпохи и даже для недавних наших современников было представление о наследовании приобретенных признаков, поскольку во время Ламарка даже неспециалистам в современной генетике наследование приобретенных признаков казалось само собой разумеющимся явлением.

Ниже мы остановимся на психологических причинах такого упорного признания недоказанного явления. Сейчас же нас будет интересовать другое. Ж. Б. Ламарк признавал эволюцию и выдвигал в качестве одного из основных механизмов именно наследование приобретенных признаков. По существу, он подошел к эволюции вида, даже в этом наименее уязвимом (для прошлого века) пункте, не как к сложному системному изменению, а как к изменению системы вида, но происходящему в результате лишь простого сложения того, что происходит в отдельных элементах системы.

Действительно, даже если взять именно эту сторону учения Ламарка, то, рассматривая ее с общих позиций, мы увидим, что, по его представлениям, эволюция вида слагалась просто из суммации последовательных эволюций отдельных организмов. Например, отдельное животное

развивало какое-то свое свойство, допустим просто мышечную силу. Его ближайший потомок получал то, что приобрел его родитель, и продолжал это развитие дальше. Следующий потомок, начиная с этапа, достигнутого первым потомком, развивал признак дальше и т. д. Короче говоря, вся линия изменений в виде слагалась просто из ряда отрезков, без каких-либо сложных взаимоотношений между одновременно живущими особями, которые, фактически, имеют место в любом реальном виде и отличают его систему от системы отдельного организма.

Ламарк свел эволюцию вида к закономерностям, которые наблюдались на отдельном организме. Он переносил закономерности элементов низшего порядка (особей) на систему более высокого порядка (вид). При этом он не учитывал важности того факта, что между поколениями имеются разрывы, когда один организм умирает, а другой снова развивается с самого начала из оплодотворенной яйцеклетки.

Эта ошибка нередка в науке. Другую ее яркую иллюстрацию мы находим в книге фрейдиста Абрахама «Сон и миф», где, основываясь на уже и без того малоубедительном представлении Фрейда о развитии образов сна, Абрахам, даже если временно мы примем это положение Фрейда, делает новую ошибку, ту же, что и Ламарк, предполагая, что образ в мифе, развивавшийся по типу образов сна у одного поколения, развивается далее без перерывов и под влиянием тех же факторов в следующем поколении. Между тем, новое поколение, получая от предыдущего миф, воплощенный уже в слова и образы, и не зная мотивов, приведших к их возникновению, могло связать их с совершенно иными влечениями и эмоциями, чем у их родителей, а тем более у предков, живших в иную эпоху и в иных условиях. Ошибка Абрахама, даже с фрейдистской точки зрения, вполне аналогична ошибке Ламарка в проблеме биологической эволюции – отсутствие учета разрыва поколений.

Таким образом, не останавливаясь далее на этом примере, мы можем констатировать, что если принцип эволюционного развития живых организмов был сформулирован Ламарком, в основном, правильно, и Ламарк сделал в этом отношении важный шаг вперед, то механизм развития, который он предложил для объяснения эволюции, исходя из общепринятых тогда взглядов, в дальнейшем, с возникновением генетики, оказался уже фактически неверным. С другой стороны, и это особенно важно, сам подход Ламарка в своей основе был антисистемным, основанным на простом перенесении закономерностей единичного организма на вид в целом. Принимая его взгляды, можно было ожидать, что эволюция единичной семьи пойдет также успешно, как обширного вида, так как механизм в обоих случаях предполагался одинаковый – простое сложение достижений предка и потомка. Ни о каких взаимоотношениях сосуществующих особей (размах изменчивости,

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

конкуренция и т. д.) в системе вида здесь речи не было. Сейчас мы знаем не только из жизни, но и из наблюдений, что это не так.

Конечно, теория Ламарка была существенным достижением биологии XIX века, и, вероятно, ее появление в начале века облегчило в дальнейшем восприятие идей Дарвина. Разумеется, нельзя поставить в упрек Ламарку и то, что он, не найдя истинного механизма эволюции вида, в качестве такового принял казавшееся тогда бесспорным наследование приобретенных признаков. Мы только должны констатировать, что наряду с фактической ошибочностью этого представления для Ламарка был характерен и методологически неверный перенос закономерностей одного уровня на другой и связанный с этим антисистемный, или несистемный, подход.

Чем же отличалась теория Дарвина от гипотезы Ламарка? В отличие от Ламарка Дарвин рассматривал не простую сумму последовательных, родившихся друг от друга организмов, а систему одновременно существующих организмов, безразлично, идет ли речь о более широкой системе вида или о наименьшей эволюционирующей системе популяции, которая теперь привлекает особое внимание эволюционистов-генетиков.

С общей точки зрения, в обоих случаях (вида и популяции) мы имеем дело с определенной системой сходных и в определенных пределах сходно взаимодействующих друг с другом организмов, независимо от того, максимальная ли эта система по объему (вид) или наиболее элементарная из систем, способных к эволюции (популяция). Важны те взаимоотношения, в которые вступают родственные и совместно живущие организмы. Дарвин выделил в них то существенное, что приводит к эволюции вида в целом. При этом им было выделено именно то, что является общим для всех самых разнообразных по своим особенностям видов – по морфологическим, физиологическим и любым другим признакам.

Если рассмотреть с общих позиций теорию Ч. Дарвина, то следует признать, что, вопреки мнению многих популяризаторов его теории, его основная заслуга состоит не в накоплении большого количества материала, подтверждающего наличие эволюции или, тем более, тех предпосылок, исходя из которых он дал объяснение общим механизмам этой эволюции. Эти предпосылки – геометрическая прогрессия размножения, изменчивость и наследственность были очевидны и до Дарвина. Дело в той железной логике, которую он, вероятно впервые, ввел в биологию и которая, связав воедино эти предпосылки, с неизбежностью привела его к представлению о естественном отборе и о его роли как двигателя эволюции.

В своей анкете Дарвин чрезвычайно скромно отзываясь о своих способностях и о своем образовании, считая его недостаточным, в частности, в связи с недостаточным знанием математики. Но на один вопрос он отвечает объективно, без излишней скромности: «Считаете ли вы свое

мышление оригинальным?» Ответ звучит приблизительно так: да, считаю, так как мне удавалось открыть новое в вещах известных. Но это и значит, что основой его открытия было не столько увеличение материала из области биологии, сколько принципиальное изменение точки зрения на по большей части уже известные факты. Иначе говоря, его открытие было чисто логическим по своей сущности.

В конце своего труда Дарвин говорит о том, что, наблюдая непосредственно жизнь с ее проявлениями в каком-нибудь уголке земли, с необычайным разнообразием и совершенством приспособлений многочисленных организмов, его населяющих, можно сделать вывод, что развитие всего этого богатства и разнообразия опирается на самые простые закономерности. На рост организмов, на то, что при размножении в потомстве имеется широкая изменчивость, отличающая потомков от предков, что эти отличия могут закрепляться наследственно, на то, что имеется геометрическая прогрессия в числе потомков, которая приводит с неизбежностью к невозможности сохранения всех этих потомков и к борьбе за существование между ними. А из этого всего, наконец, вытекает естественный отбор, в свою очередь, также неизбежно обуславливающий усовершенствование и эволюцию видов.

Таким образом, уже в пределах перехода от одного поколения к другому, в противоположность Ж. Б. Ламарку Ч. Дарвин проанализировал систему взаимоотношений, во-первых, между существующими одновременно родственными организмами в их конкуренции и, во-вторых, с организмами следующего поколения, с их отличиями в конструкции и функции как от предков, так и друг от друга, при этом многообразными и разнонаправленными, к тому же с их возросшей численностью. Здесь уже не просто перенесение особенностей отдельных организмов на весь вид в целом, как это было у Ламарка. Напротив, изменчивость – это свойство не одного организма, а целой организованной совокупности, в которой создаются различия между отдельными организмами. Также и геометрическая прогрессия численности потомков сказывается не на единичном организме, а отражает взаимоотношения между количеством предков и нарастающим количеством потомков.

Все эти моменты по отдельности были известны задолго до Дарвина. Но Ч. Дарвин сумел одновременно и правильно сопоставить их, рассмотрев сложные связи внутри вида, и сделать из этого сопоставления новые и строго логические выводы. Именно эта сторона и является ядром теории Дарвина. Это – абсолютно строгая логика, основанная на общеизвестных и неоспоримых фактах, и именно эта логика делает теорию Дарвина прочным фундаментом дальнейшего развития биологии.

Конечно, собранный Дарвином большой фактический материал произвел очень сильное впечатление на современников, убедил тех, кому не вполне была доступна чистая логика (а таких было большинство), позволил уточнить некоторые детали, которые не вытекали прямо из этой логики. Но теория естественного отбора, как движущая сила эволюции, была бы столь же неопровержима, если бы она была изложена всего на нескольких страницах, хотя возможно, без обширного фактического окружения, она не так легко была бы воспринята во времена Дарвина. Логика же была основой и основой непоколебимой. Поэтому и современные нам попытки в какой-то мере дискредитировать теорию Дарвина постоянно оказываются бесплодными. Те факты, на которых некоторые авторы строят эти попытки, являются или неверными или неверно истолкованными и при правильном их понимании могут лишь несколько дополнить или уточнить отдельные моменты дарвинизма.

В ряде же случаев эти факты интерпретируются совершенно произвольно и создают иногда благоприятное впечатление лишь своей новизной и модностью. Психологически понятно желание отдельных ученых, а иногда и широких кругов найти нечто новое. Но это – не та область понятий, где новым можно заменить старое. И как ни скучна, например таблица умножения, но с ней приходится считаться. Приходится считаться с тем, что $2 \times 2 = 4$; $5 \times 8 = 40$. Это не подлежит опровержению, хотя многие выводы, которые делались одними исследователями, опираясь на таблицу умножения, могут быть коренным образом пересмотрены другими исследователями, показавшими неправильность такого использования таблицы умножения. Но достоверности самой таблицы умножения эти пересмотры, конечно, не колеблют – дело в ее использовании. Точно так же и многие выводы, основанные на дарвинизме (например, в области социал-дарвинизма), могут быть пересмотрены, но сама логическая схема Ч. Дарвина в биологии остается прочной и непоколебимой.

Мы не будем особенно останавливаться на приложении теории Дарвина в небиологических областях. Следует сказать только об одном существенном отличии теории естественного отбора Дарвина от теории отбора вообще. Сейчас вполне законно можно говорить о том, что идет отбор звездных систем, из которых менее устойчивые разрушаются, более устойчивые сохраняются; идет отбор атомов химических элементов и их изотопов, когда неустойчивые атомы разрушаются и переходят в другое состояние, а устойчивые остаются. Можно говорить о целом ряде других приложений принципа отбора в неживой природе. Эти приложения, несомненно, были стимулированы теорией Дарвина и представляют собой ответвления его системного подхода к проблеме вида.

Но следует указать и на то, что между отбором в живой природе и отбором в неживой имеется одно коренное различие. В неживой природе неустойчивые элементы и системы так же

разрушаются, как и в живой, и так же сохраняются устойчивые. Однако в живой природе устойчивые и сохранившиеся организмы размножаясь, восполняют тот вакуум, который образовался благодаря гибели нежизнеспособных форм. Более того, с усовершенствованием организмов их число растет. Поэтому в живой природе возможно эволюционным путем постепенно нарастающее усложнение, усовершенствование и повышение организации, так как в каждом новом поколении число организмов оказывается не меньшим, чем в прошлом, до того, как оно прошло отбор. Это дает основание для дальнейшего приобретения путем нового акта отбора (и снова из большего числа особей) новых преимуществ, суммирующихся с приобретениями старого поколения.

В неживой природе отбор тоже идет. Но сохранившиеся формы не размножаются, и процесс эволюции идет иным путем и приводит к иным результатам, не создавая того усложнения и совершенствования, которое существует в биологических системах, а создавая лишь системы пассивно более устойчивые, но не более богатые приспособлениями и не более гибкими.

Но живые системы не ограничиваются только чисто физическим морфологическим совершенствованием. В них большую роль играют и другие стороны, в частности поведенческие реакции, которые в высшей форме, у человека, при переходе на социальный уровень, уже определяют характер интеллектуального и эстетического творчества.

В 40-х годах вышла чрезвычайно интересная статья В. И. Кремянского о самоустранении в живой природе естественного отбора, конечно, о самоустранении не полном (В. И. Кремянский. Переход от ведущей роли естественного отбора к ведущей роли труда. 1941. Успехи современной биологии. Т. 14. вып. 2). Автор развивает идею о том, что отбор реакций поведения в значительной степени уменьшает необходимость отбора между организмами, заменяя усовершенствованием поведения в течение жизни – морфологическую эволюцию. Это – бесспорно, плодотворная идея об отборе в области поведения, заслуживающая дальнейшего развития.

Но еще задолго до этого вышла близкая по идее статья К. А. Тимирязева, посвященная творчеству в природе и творчеству человека. Основная идея этой статьи связана с тем, что если в природе творчество новых форм основано на избыточной производительности, в смысле количества организмов и в смысле многообразия их форм (изменчивость), и на отборе, то и в человеческом творчестве его основой является избыточность творческих идей, которые потом подвергаются отбору в форме жесткой критики, будь то критика со стороны посторонних ученых (и художников) или со стороны самого творца в данной области.

Таким образом, К. А. Тимирязев, горячий поклонник Ч. Дарвина, сделал шаг в распространении идей Дарвина в ту область, которая уже стоит над простой морфологией организмов и в значительной степени связана с социальными явлениями. И тут нужно подчеркнуть,

что в отличие от мертвой природы развитие идей, действительно, идет согласно тому же принципу, что и развитие видов. А именно, укоренившись и показав свою жизнеспособность, идеи сначала распространяются, аналогично распространению полезных мутантов, и затем порождают новые, являются основанием для их возникновения. Поэтому, последовательная эволюция идей в значительной степени оказывается сходной с развитием видов по Дарвину. Здесь так же происходит не элементарный отбор, (который имеет место в мертвой природе), а отбор того же типа, что и естественный.

В недавнее время с интересным анализом выступил Б. М. Медников, который постарался показать и, по-видимому, убедительно, что развитие языка также идет очень сходно с процессами развития видов. Не останавливаясь на этой, пока еще не завершенной, но многообещающей попытке, следует указать, что и здесь принцип словотворчества в значительной степени похож на принцип развития организмов. Это верно в том отношении, что новые слова появляются как закрепляющиеся (по аналогии с наследственностью) «мутанты» и отклонения от исходных слов, существовавших на более ранних этапах развития языка, и хотя не всегда, но порой вытесняют последние. По крайней мере, развитие словарного запаса идет действительно во многом аналогично развитию живых форм.

В своей работе, задолго предшествующей теории систем Л. Берта LANFI, А. А. Богданов («Всеобщая организационная наука») также принимает принцип отбора психологических явлений, называя его гедоническим отбором (1922).

Известный кибернетик У. Р. Эшби в своей статье «Что такое мыслящая машина» рассматривает процесс «машинного мышления» как процесс отбора различных решений, возможных на основе введенной в машину информации, то есть, по существу, на ином примере, на примере машинного мышления, Эшби развивает идеи, изложенные в свое время К. А. Тимирязевым.

Таков далеко не полный круг широкого применения идей дарвинизма в разных областях науки о мертвой и живой материи.

Мы не будем подробно останавливаться на утверждении принципа эволюционного развития. С точки зрения системной, он является здесь, скорее, вторичным. Идея эволюции высказывалась (и не только в биологии) другими и ранее. Но принцип эволюционного развития только после Ч. Дарвина вошел в самые различные дисциплины, так как в теории Дарвина он уже имел прекрасную модель, иллюстрирующую возможность и даже необходимость изменения самых различных форм материи. Остановлюсь только на нескольких примерах, чтобы показать, что этот принцип эволюционного развития приложим и был введен в различные области науки, так как теория Дарвина, по существу, разрушила представление о неизменности раз сотворенного мира.

Конечно, какие-то изменения мира, окружающего человека, наблюдались и раньше. Наблюдались изменения форм общества, наблюдалось незначительное изменение географических форм, например, форм берегов, вулканов, расширение пустынь и т. д. Но все это казалось не существенным и не имеющим общего значения. И хотя ряд ученых придерживались и тогда мнения, что эволюционно меняется, по крайней мере, многое в живой природе или в географической среде и даже возможны отдельные локальные катаклизмы, (например, легенда о гибели Атлантиды), мир в целом в умах не только рядового представителя своего времени, но и выдающихся ученых сознательно или бессознательно представлялся стабильным даже после переворота, произведенного Дарвином.

Например, в области антропогенеза, где им тоже был показан, хотя первоначально с меньшей убедительностью и с большим сопротивлением со стороны ряда ученых, процесс эволюции предков человека, такие ученые как, например, высокообразованный профессор МГУ Минаков еще в двадцатые годы нашего столетия пытался доказать, что череп неандертальца не является принципиально отличающимся от современного, а те отличия, которые у него обнаружили, якобы, результат деформации, которую он претерпел после естественного захоронения в земле. И таких ученых было немало.

Но после Дарвина все же основная масса ученых, признавших теорию эволюции в биологии, стала применять ее в разных областях, с одной стороны связанных с неживой материей, а с другой – с некоторыми социальными явлениями. Здесь имели место и ошибочные взгляды. Это не только различные формы социал-дарвинизма, но и некоторые биологические ошибки ученых, переносивших принципы эволюции и механизмы отбора внутри отдельного организма (В. Ру, А. Вейсман). Но общая тенденция была, несомненно, правильная и сыграла большую роль в развитии целого ряда наук. Надо указать на еще ранее появившееся и связанное с именем Лайеля представление об эволюции геологических формаций и на более поздние, связанные с эволюцией звезд и химических элементов, с одной стороны, и эволюцией языка – с другой.

Мы не будем останавливаться на общеизвестных и не входящих в биологию проблемах развития звездных систем и галактик, до сих пор не до конца разрешенных, но всегда исходящих из идеи эволюции, хотя конкретные формы этой эволюции, согласно разным взглядам, неодинаковы. Следует только указать на два существенных момента, а именно на то, что само представление об эволюции звездных систем и галактик привело и к представлению об эволюции вселенной в целом. А это, несомненно хотя и имеет реальную основу в астрономических и космологических работах нашего века, все же с социально-психологической точки зрения исторически, несомненно, было отполировано принятием теории Дарвина.

С этим же связано представление об эволюции химических элементов как внутри звездных систем благодаря превращению, например, водорода в гелий с выделением огромного количества энергии (что, к сожалению, ускорило, вероятно, возникновение идеи о создании водородной бомбы). А также представление о самопроизвольной эволюции элементов благодаря радиоактивности, которая постепенно изменяет соотношение этих элементов, даже без тех специфических условий, которые свойственны звездам. Здесь мы уже указывали на очень важное отличие, а именно на то, что теория Дарвина, укрепив представление об эволюции, основывалась на принципе естественного отбора, как было сказано выше.

В эволюцию же звезд, химических элементов и других неживых систем хотя также вошла идея отбора, но между механизмами простого отбора и естественного отбора проходит та глубокая грань, на которой мы уже останавливались, но о которой необходимо сейчас сказать весьма существенное. Естественный отбор основан на том, что выжившие организмы воспроизводят себя в увеличенном количестве и вытесняют те организмы, которые оказались менее приспособленными. Здесь одну из двух основных ролей играет именно факт самовоспроизведения элементов вида в расширенном количестве. Напротив, отбор в неживых системах, сохраняя основной принцип «выживаемости» более устойчивых элементов и превращения неустойчивых в устойчивые, лишен этого второго существенного момента. Сохранившиеся или возникшие более устойчивые элементы не воспроизводят себя в увеличенном количестве, и эволюция в неживой природе идет иными путями, чем в живой природе.

Но не только в живой природе, а и в некоторых областях, являющихся производными от живой природы, второе условие «естественного» отбора, (а именно самовоспроизведение) также играет большую роль. Это относится наиболее ярко к приводившимся выше примерам: к проблеме эволюции языков, где вновь появившиеся слова являются основой для возникновения новых семейств слов. А переходя от слов в более высокий ранг языков, можно сказать, что новые появившиеся и получившие широкое распространение языковые единицы дают начало все новым и новым дочерним языкам. Здесь нет прямой эволюции вытянутых в одну линию последовательных звеньев временной цепи (как в значительной степени представил это Марр в области языков, а Вильямс – в области эволюции почв), а имеется сложная система, имеющая разветвленный характер языкового древа, так же как это имеет место в живой природе с эволюцией видов. Конечно, и здесь нет полного тождества.

В развитии видов, например, скрещивание играет небольшую роль и только у близко родственных видов. В развитии языков такого ограничения нет, и сближение, «гибридизация» может происходить между самыми отдаленными ветвями. Надо отметить также, что в эволюционной

теории Ж. Б. Ламарка процесс дивергенции хотя не отрицался, но освещен был недостаточно полно, и лишь эволюционная теория Ч. Дарвина не только объяснила возникновение дивергенции, но и дала объяснение вымиранию промежуточных форм, усиливающему и закрепляющему этот процесс.

Представление об эволюции общественных форм, хотя и не основано на отборе, но в значительной степени, если так можно сказать, конвергентно в признании смены формаций обнаружило явное родство с теорией эволюции, развитой Дарвином. И не случайно К. Маркс подчеркивал, что теория Дарвина в значительной степени поддерживает его взгляды, а Энгельс столь же не случайно в речи памяти Маркса сравнивал его роль в науке об обществе с ролью Дарвина в науке о жизни.

Упомянутую выше интересную мысль, выраженную впервые, по-видимому, К. А. Тимирязевым, о роли отбора в развитии идей, несомненно, было бы правильно развить полнее и на более низком уровне деятельности нервной системы как идею об отборе поведенческих реакций, что частично сделал В. И. Кремянский. Идея эта, сформулированная К. А. Тимирязевым для чисто интеллектуальной деятельности, неоднократно, впрочем, высказывалась, хотя и мимоходом, также и в области искусства.

Известно, как работал Л. Н. Толстой, многократно переписывая и отбрасывая отдельные эпизоды и даже фразы в своих произведениях, чем доводил до возмущения издателей. Его отдаленный родственник, поэт А. К. Толстой в одном из своих писем упоминает о том, что написать хорошие стихи может и плохой поэт, но только хороший поэт сделает необходимый отбор, уничтожив неудачные стихи и сохранив лишь хорошие. Сам он также неоднократно переписывал отдельные строчки более чем по 15 раз. Исключительное совершенство формы его стихов не случайно признается искусствоведами. Оно сказалось, в частности, в том, что вряд ли на чьи-либо стихи было написано столько русских романсов и песен, как на стихи А. К. Толстого.

Но эти и некоторые аналогичные высказывания представителей искусства, конечно, не создают еще общей теории. Более подробно на проблеме отбора в области мышления и эмоций в первом издании (Гржебина), в III части «Всеобщей организационной науки» (изд. 1922 г.) останавливался А. А. Богданов в главе под названием «Гедонический отбор». В последнем издании (1930 г.) эта глава была исключена, так как автор рассчитывал посвятить этой проблеме целую новую часть своего труда, но преждевременная смерть помешала осуществлению этого намерения.

Мы уже говорили о статье одного из наиболее крупных кибернетиков У. Р. Эшби «Что такое «мыслящая машина». Знаменательно, что в этой сравнительно небольшой статье слова «отбор» и «подбор» повторяются не менее 30 раз. Общеизвестно, что в изучении поведения принцип «проб и ошибок» также является, по существу, применением принципа отбора во внешнем поведении

животного. Известный психиатр З. Кречмер в своей работе об истерии сравнивает истерическую реакцию с поведением активного животного, например, шмеля, попавшего в замкнутое пространство, где он мечется, стучась о стены, пока не найдет в порядке случайности окна, через которое он может вылететь. И тогда он продолжает свой полет, получив путем отбора единственное удачное направление среди многих неудачных, которые он выбирал, не имея возможности разумно определить направление выхода. В чрезвычайно интересной работе В. И. Кремянского в конце 30-х годов о самоустранении естественного отбора проводится мысль о том, что внешний естественный отбор между организмами постоянно в ходе эволюции заменяется отбором реакций и затем мысленным отбором, то есть внутренним отбором реакций без внешнего их проявления, что, обеспечивая правильное поведение высших организмов, заменяет, по крайней мере в значительной степени, необходимость в естественном отборе организмов. Собственно говоря, та же мысль, в несколько менее ясной форме, выражена А. А. Северцовым, когда он говорит о том, что в ряде случаев морфологическое приспособление заменяется изменением поведения.

Здесь мы привели лишь немногие факты, указывающие на то, как широко идея отбора проникла в биологические и связанные с биологией (этология, мышление, психология и даже лингвистика) дисциплины и как продуктивно они были использованы.

Еще более широкое обобщение, включающее естественный отбор, было высказано крупнейшим отечественным эмбриологом Д. П. Филатовым, который уловил общность между действием естественного отбора и процессами индукции в развитии новых органов на ранних стадиях эмбриогенеза. Но эта идея, бесспорно плодотворная, лежит уже в несколько иной плоскости и заслуживает совершенно иного разбора.

§ 2. Принцип слабого звена Ю. Либиха (наименьших)

Другим крупным исследователем XIX века, сделавшим свой вклад в теорию систем, был если не биолог в точном смысле слова, то близкий к биологии агрохимик Ю. Либих. Не касаясь его биографии и других работ, хорошо изложенных в книге Вильгельма Освальда «Великие люди», остановимся на том, казавшемся тогда частным, вкладе в науку, который, однако, оказался и вкладом в общую теорию систем.

Рассматривая рост растений и закономерности его определяющие, Ю. Либих выдвинул «принцип минимума». Принцип этот заключается в том, что рост растения определяется тем необходимым ему веществом в почве, которого ему наиболее не хватает.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

В дальнейшем оказалось, что в приложении к растениям этот принцип является не вполне точным, и он был уточнен Митчерлихом, по книге которого мы его и цитируем.

Однако он излагался широко в сельскохозяйственных высших учебных учреждениях, где иллюстрировался, в частности, иногда определенной моделью. Это были бочки, скрепленные обручами. Но при этом доски были подобраны таким образом, что не были равны друг другу по высоте, и в то время, как одни достигали более высокого уровня, другие были короче. Естественно, что налить такую бочку можно было только до уровня, который определялся самой короткой доской.

Этот принцип, как и принцип отбора, был принят А. Богдановым в его «Всеобщей организационной науке» как универсальный организационный или, как мы теперь сказали бы, системный принцип. Его значение, бесспорно, очень велико, в связи с критикой А. Богданова, в частности со стороны лиц, считавших себя представителями диалектического материализма (Карев, Вайнштейн и др.), этот принцип особенно подвергался сомнению. В частности, врач и философ В. Н. Колбановский, когда писал об этом принципе, указывал на то, что он применим в механических системах (модель бочки, или прочность цепи, которая обусловлена прочностью самого слабого ее звена). Это применимо и к скорости эскадры, если более мощные суда не берут на буксир другие, и тогда эта скорость не может превышать скорости самого тихоходного корабля.

В. Н. Колбановский считал также, что в какой-то мере этот принцип может быть применим в биологии, но что он совершенно не применим в социальных науках. Однако это рассуждение было ошибочным, так же как, впрочем, и безоговорочное утверждение А. Богданова о всеобщей применимости закона минимума.

Забегая далеко вперед, можно сказать следующее: и принцип отбора, и принцип минимума являются в определенном смысле универсальными, но только в том смысле, что они могут оказаться решающими на любом уровне сложности материальной системы: как в неживой природе, так и в биологических системах, и даже в социальных.

Примером последнего является небольшая, но с этой точки зрения очень существенная статья В. И. Ленина 1917 года, посвященная прочности блока партий. Эта статья так и называется: «Крепость цепи определяется крепостью самого слабого звена ее». Как видно, система чисто социальная – блок партии, а социолог, один из крупнейших в мире, В. И. Ленин, который применил этот принцип к разъяснению данной задачи. Но применимость закона на любом уровне развития материи означает универсальность только в вертикальном, если можно так сказать, направлении, но не обязательно в горизонтальной, то есть не ко всем типам систем данного уровня.

Это сознавали все крупные ученые, которые применяли этот принцип, хотя подсознательно или сознательно по тем или иным причинам не формулировали подробнее.

Дело заключается в том, что принцип отбора применим в крайних системах одного определенного типа, которые встречаются на всех уровнях сложности организации, а принцип наименьших – в крайних же системах, но прямо противоположного типа. Принцип отбора, так же как принцип минимума, универсален по вертикали. Но по горизонтали, то есть на одном и том же уровне сложности, можно выделить, с одной стороны, системы, в которых полностью применим тип отбора и тогда там наверняка не применим принцип наименьших. И, наоборот, можно выделить системы, где полностью применим принцип наименьших, но тогда принцип отбора, в смысле формирования более прочных и приспособленных систем, оказывается неприменимым.

Первые системы можно назвать дискретными, **или** корпускулярными: это, в частности, система особей вида, на которых принцип отбора и был открыт Ч. Дарвином; отдельные атомы, корпускулы материи и многие другие единицы, не связанные между собой жестко или даже связанные жестко, как, например, могут быть связаны атомы в молекулах, но рассматриваемые сами по себе как некая категория единиц, эволюционирующая под влиянием отбора. Противоположные системы, где принцип отбора не имеет такого позитивного значения, но четко выступает значение принципа минимума, можно обозначить как жесткие. В них связь (необязательно механическая, а любая, вплоть до чисто организационной) оказывается действительно жесткой, и каждое звено системы является необходимым для ее нормального функционирования.

Простейший пример – любая машина, например автомобиль, в котором изъятие отдельной части, скажем колеса, делает его уже непригодным для выполнения функции. Это же относится к организму, в котором любая его полноценная целая специализированная система – сердечно-сосудистая, выделения, система химического превращения, (в основном связанная с печенью), центральная нервная система – является необходимой, и в случае выпадения этой системы организм погибает, а в случае снижения функции – снижается эффективность функций организма.

Эти элементарные вещи кажутся после их рассмотрения сами по себе понятными. Однако мы видим, как крупные ученые, достигавшие больших или меньших результатов в своей науке, не учитывали такого различия систем и применимости этих принципов в конкретных системах.

Так, например, Вильгельм Ру высказывал представление об отборе тканей и органов внутри организма. Такой отбор, конечно, возможен, но он отнюдь не совершенствует организм, по крайней мере, не совершенствует его автоматически. Скажем, если бы была возможна конкуренция между почками и сердцем, то победа любой системы, с разрушением (полным или частичным) другой,

отозвалась бы на всем организме в целом резко отрицательно и снизила бы его деятельность или вообще погубила организм, в том числе и победивший орган.

То же относится, конечно, и к конкуренции тканей между собой. Но внутри ткани в ряде случаев такая конкуренция возможна. Почему? Потому, что каждая ткань содержит эквивалентные и независимые друг от друга клетки, выпадение которых не приводит к таким катастрофическим последствиям для других клеток, а иногда может быть даже благоприятным, так же как и в конкуренции особей по Ч. Дарвину внутри вида.

Подобный отбор – правда, конечно, возникший не автоматически, а создавшийся в результате ранее протекавшего естественного отбора между отдельными целостными особями – имеет место в красной и белой крови. Длительно живущие клетки стареют или по другим причинам теряют какие-то свойства и погибают, захватываясь в селезенке или в других местах, где они разрушаются (для лейкоцитов, например, в очагах нагноения и т. д.). Эти клетки заменяются новыми, возникающими при кроветворении, и таким образом поддерживается определенное равновесие, в которое включается и ряд других механизмов, о которых мы здесь говорить не будем.

Но вот взаимоотношения внутри вида между полами – женским и мужским – оказываются в значительной степени подчиненными принципу минимума. Правда, здесь неодинаковую роль играют оба пола. Некоторое снижение численности мужского пола не отзывается обычно на судьбе вида, так как один самец или одно мужское растение может оплодотворить много женских организмов. Но и здесь есть пределы, ниже которых снижение численности организмов мужского пола будет лимитировать размножение.

Что же касается женского пола, то здесь снижение его численности будет сказываться практически с самого начала, в виде снижения размножаемости вида. Подробнее мы скажем об этом ниже.

Аналогично В. Ру, ошибочную позицию занял и такой крупный исследователь, как Август Вейсман. Являясь в ряде случаев, в частности в отношении признания роли хромосом как носителя наследственности, предшественником современной генетики и правильно аргументируя это, отрицая, как и современная научная генетика, наследование приобретенных признаков и верно признавая движущей силой эволюции только естественный отбор, Август Вейсман в то же время допустил ошибочное утверждение или, вернее, предположение. Оно заключалось в том, что якобы единицы наследственности – детерминанты и иды по его терминологии – могут подвергаться внутри клеток взаимному отбору, причем таким образом, что сохраняться могут лучшие из них для организма. В результате этого возможно улучшение организма на основе конкуренции не только

между целыми организмами, но и на основе такой конкуренции между наследственными задатками внутри организма.

Это положение имеет явно ошибочный характер, так как и клетка, взятая в отдельности, и организм в целом являются системами жесткого типа, и в них потеря одной из необходимых субсистем должна приводить не к улучшению, а к ухудшению целого, хотя бы эта субсистема была менее устойчивой, чем другая, ее разрушающая в конкуренции.

Здесь А. Вейсман допустил ошибку именно потому, что не понимал различия между жесткими и дискретными системами, так же как это было и у Вильгельма Ру, который рассматривал вопрос на ином, более высоком (органном и тканевом) уровне, но все же внутри организма.

При этом была допущена еще одна ошибка. Устойчивость внутри организма не имеет прямого отношения к пользе для организма в целом. Конечно, прочные клетки, например, трудно разрушающиеся эритроциты или лейкоциты для организма выгодны. Но это касается целой категории клеток и тканей в отношении организма к внешнему миру. Если же возникает конкуренция внутри организма, то она может быть, если она не проверена заранее естественным отбором между организмами на видовом уровне, как правило, только вредной. По принципу снижения уровня (или гибели) одного из необходимых звеньев.

Ярким примером этого является высокая конкурентоспособность внутри организма раковых клеток. Они являются крайне устойчивыми в борьбе с нормальными тканями, но, разрушая их, они приводят к гибели организм и самих себя.

Таким образом, мы видим, что универсальность системных закономерностей надо понимать не как абсолютную универсальность, а как универсальность относительную. Если о диалектических принципах мы говорим как об универсальных, то о системных принципах мы должны говорить как о принципах универсальных лишь в определенном смысле. В том смысле, что они применимы в самых разных областях, рассматриваемых наукой, но не в самых разных системах одинаково. Более того, имеется определенная несовместимость отдельных принципов. И там, где один принцип применим, неприменим другой (А. А. Малиновский, 1960 г.).

§ 3. Обратные связи в работах отечественных биологов

Проблемы онтогенеза неизбежно толкали исследователей к системной постановке вопроса, однако до определенного момента решение их было крайне затруднено. С развитием экспериментальной эмбриологии была обнаружена чрезвычайная сложность процессов развития

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

эмбриона у позвоночных и установлены некоторые виды взаимодействий между эмбриональными органами.

Основным из таких видов оказалась индукция, то есть воздействие одного органа на другой, приводящее к коренным изменениям в этом органе или ткани и к выделению из менее дифференцированного образования более дифференцированного и более высокоразвитого.

Однако первое время эти связи казались, как правило, односторонними. В то же время было обнаружено явление регуляции, когда, например, деление оплодотворенного яйца на два или четыре бластомера не приводило к тому, что организм погибал, и даже не приводило к тому, что из каждой половины или четверти зиготы развивалась только половина или четверть целого организма.

Напротив, у ряда видов, в том числе у человека, каждый бластомер приобретал способность, существуя отдельно, дать начало развитию целого организма. Эти явления регуляции, то есть способность отрегулировать развитие организма и направить свое развитие по нормальному пути, вопреки грубому вмешательству и нарушению целостности яйца, произвели впечатление чего-то чудесного и дали основание для виталистических представлений об управлении организмом.

Несомненно, что постановка этого вопроса виталистами была вполне законной, а игнорирование, хотя бы и временное, такой важной проблемы со стороны механистов могло бы быть им поставлено в упрек, если не учитывать взглядов большинства ученых о том, что раскрытие тех или иных явлений требует определенного времени и определенной последовательности в исследованиях.

М. М. Завадовский в своей статье «Памяти Пастера» отмечал, что, наряду с блестящей способностью к экспериментальному решению сложнейших проблем, Луи Пастер обладал и другой немаловажной для ученого способностью, а именно – выбирать для исследования проблемы, в настоящее время подготовленные для решения, и избегать проблем, время для решения которых еще не наступило.

Тем не менее, заслуга Дриша и других виталистов, несомненно, в том, что они обратили внимание на тот факт, что организм не является простой суммой частей в своем развитии и обладает целостностью и способностью к регуляции. Лишь синтез этих двух подходов, материалистического подхода к изучению всех механизмов и констатации виталистами особых закономерностей, характеризующих целостный организм, мог дать окончательное, правильное решение проблем онтогенеза.

Основатель отечественной экспериментальной эмбриологии Д. П. Филатов пришел теоретически к выводу о том, что индукционные воздействия или им подобные неизбежно должны

быть двусторонними, а не односторонними, как в большинстве случаев полагали до него. Самим им этот тезис не был достаточно доказан экспериментально, но в дальнейшем в ряде случаев он подтвердился.

Им же было приведено чрезвычайно интересное обобщение, которое еще, вероятно, ждет своего дальнейшего развития. В работе о ранних стадиях эмбрионального развития он проводит чрезвычайно интересную аналогию между явлениями естественного отбора и явлениями эмбриональной индукции. Он указывает на то, что в обоих случаях объектом воздействия является малодифференцированный материал. При отборе, как мы теперь бы сказали, популяция, включающая разнообразные мутантные формы; при воздействии индуцирующим фактором – малодифференцированная эмбриональная ткань.

Воздействующим фактором в эволюции является отбор, который приводит к дифференциации популяции за счет элиминации части популяции и сохранения для дальнейшей эволюции под влиянием отбора благоприятных вариантов. Такой процесс приводит к дифференциации видов, в том числе и к дивергенции. При индукционном же процессе индуктор изменяет более примитивную ткань в определенном направлении, причем также, под влиянием разных индукторов одна и та же ткань может претерпевать дифференциацию в весьма различных направлениях (аналогично тому, как в разных условиях отбор направляет эволюцию по разным путям).

Это обобщение чисто системного характера, как сказано, требует еще дальнейшего развития, но, несомненно, является плодотворным.

Что же касается синтеза механистических подходов к проблемам эмбриогенеза (и вообще онтогенеза) с представлениями о целостности организма, развивавшимися виталистами, то здесь крупные шаги к диалектико-материалистическим представлениям, сочетающим пленительные стороны обоих подходов, были сделаны благодаря развитию идей об обратных связях. Такие идеи были заложены различными учеными независимо друг от друга. Эти идеи позволили понять ряд регулирующих механизмов и подойти ближе к моделированию сложных биологических и небιологических процессов.

Фактически обратные связи давно использовались в технике, но они не были возведены в ранг всеобщего системного принципа, применимого всюду.

В биологии обратные связи можно считать сформулированными уже со времен Декарта с его представлением о рефлексах. Еще более четко они были сформулированы И. М. Сеченовым и, наконец, в XX веке И. П. Павловым. Но это – обратные связи, имеющие широкий и разнообразный характер.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

В теории систем и кибернетике особую роль сыграли и играют обратные связи особого рода, которые обычно называются отрицательными обратными связями. Их суть, как известно, заключается в том, что если одно звено системы стимулирует второе, а второе угнетает первое, то создается тенденция к некоторому подвижному равновесию, или очень устойчивому, если реакция обоих звеньев быстрая, или имеющему характер циклических колебаний вокруг некоторой средней, но во всех случаях с постоянной тенденцией к этой средней.

В работе академика А. Л. Тахтаджяна (1971 г.) показано, что обобщение этого принципа, по крайней мере в отечественной литературе, было впервые совершено кристаллографом Федоровым. Однако это обобщение осталось малоизвестным вообще, и для биологов в частности.

Академик П. К. Анохин в своих последних работах считал, что принцип обратных связей был в биологии впервые сформулирован им в 30-х гг. Однако задолго до него этот принцип был сформулирован тремя отечественными биологами.

Первая формулировка принадлежит физиологу Н. А. Белову, который, начиная с 1911-12 годов, развивал идею, что для организма характерен именно этот определенный тип связей между органами, и в первую очередь эндокринными. Позже он расширил это утверждение, считая, что такой тип связи характерен для самых разных органов и функций, и, наконец, пришел к выводу, что этот тип связи вообще объясняет любую систему (как биологическую, так и не биологическую), имеющую тенденцию к восстановлению равновесия после его нарушения.

Этот тип связи он обозначил как параллельно-перекрестное взаимодействие, что было обусловлено графическим изображением, которое иллюстрировало этот тип связей. Но, как мы увидим, под этим названием разумелась типичная и в настоящее время очень привычная форма отрицательной обратной связи.

Смысл ее заключается в том, что если один орган А стимулирует другой орган В к развитию функций, то, как правило, второй орган В будет тормозить А. В результате всякое усиление органа А будет стимулировать В и этим самым усиливать тормозящие импульсы, идущие обратно на А, то есть возвращать А полностью или отчасти к прежнему уровню.

Одним из первых примеров было соотношение гипофиза и половых желез. Гипофиз стимулирует развитие половых желез, а половые железы угнетают деятельность гипофиза.

Н. А. Белов пользовался, в основном, для аргументации своей идеи литературным материалом, который он собрал из обширной уже к тому времени эндокринологической литературы. Он подвел итоги своим работам в изданной в Орле в 1924 году книге «Физиология типов». Его

работы не встретили понимания и отклика, и это особенно ярко выразилось в нижеследующем эпизоде.

Автор настоящей работы указал философу Л. А. Петрушенко на исследования Н. А. Белова. Л. А. Петрушенко высоко оценил их и не только подробно исследовал, но и постарался отыскать современника Н. А. Белова среди физиологов, чтобы получить от него отзыв о Белове. По словам Петрушенко, такой физиолог им был обнаружен, имя его он не счел удобным называть, но отзыв был самый отрицательный. Пожилой физиолог оценил Н. А. Белова как человека бездарного и взбалмошного, занимавшегося какими-то заумными идеями.

Правда, надо сказать, что в отличие от этого физиолога В. М. Бехтерев оценил Н. А. Белова иначе и давал ему публиковаться в редактировавшемся им издании. Но и это не привело к тому, чтобы работы Н. А. Белова получили надлежащую оценку.

Несомненно, что тут сыграли роль два фактора:

Во-первых, преждевременность широких обобщений в биологии, которая не была подготовлена к ним, так же как это было, например, в свое время с еще более крупным открытием Грегора Менделя. С другой стороны, по-видимому, играло роль и то, что Н. А. Белов, в основном, пользовался для аргументации не своими исследованиями. Он здесь выступал как теоретик. А в биологии того времени (и отзвуки подобного отношения встречаются и теперь) теоретические работы, не основанные на собственных экспериментах или наблюдениях, рассматривались с пренебрежением, поскольку высоко ценились лишь эмпирические и экспериментальные исследования. Теория же рассматривалась как своего рода словесные упражнения.

Н. А. Белов, как сказано выше, расширил значение открытого им взаимодействия за пределы биологии и уже этим самым естественно и законно вошел в число основоположников системных подходов вообще, и в биологии в частности.

Другим биологом, о котором мы уже говорили подробнее, пришедшим к подобным же взглядам, был А. А. Богданов. Он развил те же взгляды на активно равновесные системы, называя их бирегуляторами, в частности приводя пример устойчивости температуры при смешении снега и воды, конечно, до тех пределов, когда один из этих компонентов не превратится полностью в другой. Но в его «Всеобщей организационной науке», а затем в 1927 году в книге «Борьба за жизнеспособность» понятие бирегуляторов не заняло достаточно заметного места, что, впрочем, естественно, учитывая, что «Всеобщая организационная наука», опубликованная им, включала огромное количество обобщений, каждое из которых не могло претендовать на ведущее место.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Интересно, что эти два автора (А. А. Богданов и Н. А. Белов) оказались сходными еще в одном отношении. Оба они интересовались проблемами геронтологии, и оба, хотя несколько по-разному, (но если рассматривать с более широкой точки зрения, с единых в известной мере позиций) подошли к причинам старения.

В геронтологии можно выделить два направления (если оставить в стороне лежащие в иной плоскости эволюционные подходы), а именно: по одним воззрениям, старение обязано какому-то непрерывно идущему необратимому процессу, который приводит к снижению жизнеспособности и к деградации за счет явлений, имеющих лишь одно направление и характеризующихся своего рода распадом или потерей активности какого-то существенного, компонента организма. По И. И. Мечникову, это постепенная деградация благородных тканей под влиянием токсинов и преобладание, в конечном счете, соединительной ткани над более благородными элементами. По А. А. Богомольцу, это старение коллоидов клетки. По многим современным воззрениям, это результат накопления мутационных изменений в соматических клетках и т. д.

Короче говоря, это – постепенная и неумолимая деградация какого-то существенного показателя, который влечет за собой деградацию всех остальных.

Иначе к этому подошли указанные два автора; со свойственным им системным подходом они придавали преимущественное значение не какому-либо одному показателю, а взаимоотношению систем внутри организма.

В частности, Н. А. Белов пытался, на наш взгляд не совсем удачно (не по ошибочности выводов, а по примитивности аргументации) показать, что длинные цепи органов, связанных каждый с соседними органами параллельно-перекрестной (то есть обратной отрицательной) связью, рано или поздно должны приводить, по крайней мере на незамкнутых цепях, к нарушению регуляции и к сдвигу правильных взаимоотношений между органами. Короче говоря, он считал старение не результатом направленной деградации какого-то одного элемента, а результатом постепенно нарушающейся регуляции внутри организма в целом.

А. Богданов также стоял на сходной точке зрения, однако системные нарушения видел в ином. Он считал, что связи органов в значительной степени определяются по принципу слабого звена и постепенно нарастающие отклонения различных звеньев в организме приводят к тому, что органы, отклоняющиеся в негативную сторону, оказываются более существенными в определении жизнеспособности организма. Они снижают этим активность и устойчивость тех, которые находятся в норме или в избытке. На дальнейших этапах случайное новое отклонение этих же или других органов (уже на фоне первичного упадка) опять снижает общий уровень активности всех органов, и, таким образом, организм стареет.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Рассматривая вкратце предложенное Беловым объяснение, надо сказать, что проведенный им чисто арифметический модельный анализ этой проблемы не выглядит достаточно убедительно и, во всяком случае, нуждается в проверке. Расчеты его были грубы, но идеи, бесспорно, интересны и имели чисто системный характер.

Что касается представлений А. Богданова в этом отношении, то они являются, вероятно, более убедительными, но ни взгляды Белова, ни взгляды Богданова не снимают возможности того, что все же, как правило, какой-то фактор является ведущим, а на него лишь накладывается дальнейшее нарушение регуляции. Этот вопрос заслуживает особого обсуждения. Но если говорить кратко, можно предположить следующее: один из факторов, (вероятно, не одинаковый у разных видов животных и растений), является ведущим, однако наряду с этим и отчасти под его влиянием происходит нарушение системной регуляции, которое ускоряет процесс старения.

Не останавливаясь далее на геронтологических приложениях взглядов Н. А. Белова, следует сказать, что уже вскоре после его смерти очень близкие взгляды стал развивать крупный исследователь, профессор МГУ и академик ВАСХНИЛ М. М. Завадовский.

Будучи экспериментатором, работавшим в области позднего онтогенеза, он исследовал в основном функцию половых желез, в частности занимался пересадкой желез у ряда птиц и животных с тем, чтобы менять вторичные половые признаки организма – мужского на женский, а женского на мужской.

Увлечшись этой идеей, он, видимо, независимо от Белова и Богданова (которые также, очевидно, не знали друг о друге), пришел к выводу, что ведущей в организме является обратная отрицательная связь, которую он, называл уже иначе, чем Белов, плюс-минус взаимодействием, изображая эту связь графически проще:

$$A + B$$

$$B - A$$

Отсюда и произошло принятое им название этого взаимоотношения.

В отличие от Н. А. Белова, М. М. Завадовский был крупным экспериментатором, проверял наличие этой связи в многочисленных проведенных им опытах. Он ошибочно полагал, что никакой другой тип связи в организме существовать не может, так как взаимное усиление двух органов, по его представлению, привело бы к непрерывному росту и усилению функций и нарушило бы гармонические взаимоотношения организма со средой. Также невозможен был бы, по его мнению, и на том же основании другой тип связи – взаимное угнетение двух органов. Поэтому он считал, что

возможно только «± взаимодействие» и что оно является обязательным в любых системах органов. Для проверки он, например, произвел следующий любопытный опыт.

Как известно, у петуха гребень, гораздо большего размера, чем у кур, и развивается сильнее под влиянием половой железы; следовательно, рассудил М. М. Завадовский, гребень, стимулируемый половой железой, должен угнетать половую железу. Он полностью срезал гребень и обнаружил при этом, действительно, стимуляцию половой железы – явление, предсказанное им и никем раньше не отмечавшееся и неожиданное. Надо, правда, отметить, к чести М. М. Завадовского, что все же им был обнаружен один случай, который он не взялся толковать с этой точки зрения, а именно взаимоотношения зубной железы и половой, где, по-видимому, имеется взаимное угнетение. Он упоминает об этом, но не останавливается на нем подробнее.

Взгляды М. М. Завадовского получили признание у многих биологов и были ими приняты по тем же причинам (конечно, с обратным знаком), по которым не были приняты взгляды Белова. Он был экспериментатор, построивший свои взгляды на собственных данных, с одной стороны, и, с другой стороны, его работы уже относились к эпохе более поздней, преимущественно к 30-м годам (последняя работа – 1941 г.), когда теоретические подходы в биологии начали постепенно пробивать себе дорогу. Указанные работы относятся не ко всем типам обратных связей, а к категориям тех обратных связей, где устанавливаются определенные количественные взаимоотношения.

Принципиально возникал вопрос о том, могут ли все же быть в организме количественные взаимоотношения между органами и с другими знаками, то есть, выражаясь терминологией Завадовского, «++ взаимодействие» и «← – взаимодействие» (то есть взаимная стимуляция или взаимное угнетение).

Так, к этому подошел А. А. Малиновский. В конце 1930-х годов, выступая на одном из семинаров у М. М. Завадовского, он указал на то, что в ряде случаев обнаруживаются и эти взаимодействия. Однако они, конечно, не ведут к равновесию и имеют совершенно другое значение, а именно, в основном, играют роль в период раннего онтогенеза, начиная с эмбрионального развития, и существуют лишь временно. Действительно, и М. М. Завадовский, и Н. А. Белов были правы: постоянное существование таких связей привело бы к неограниченному изменению организма и к его дисгармонизации.

Работа эта была опубликована в чрезвычайно кратком виде – в виде реферата в сборнике рефератов работ Отделения биологии Академии наук СССР за 1941-1943 гг. (опубликована в 1945 г.). Но, естественно, благодаря как краткости и теоретичности, так и послевоенной ситуации не привлекла к себе никакого внимания. Лишь в 1960 году, уже после того, как принцип обратных связей был сформулирован Норбертом Винером в его работе «Кибернетика», вышла большая работа

А. А. Малиновского в «Проблемах кибернетики» (№ 4), где, наряду с классификацией систем (корпускулярные, жесткие, коррелированные), он дал также более развернутое изложение этих двух типов обратных связей и их сочетаний, объясняя ++ взаимодействием процессы развития, -- взаимодействием -- процессы дифференциации (пола, тканей и т. д.), а комбинацией ++ взаимодействия и $\pm$ взаимодействия -- течение выделенных им в особую категорию «альтернативных» физиологических процессов, то есть процессов, в которых начавшийся ход какого-то явления обязательно достигает полного исчерпания, а затем начинается обратный процесс с таким же полным исчерпанием.

К ним он отнес смену сна и бодрствования, смену накопления мочи и мочеиспускания и т. д.

С другой стороны, на основании рассмотрения типа этих процессов он предложил классификацию развития патологических явлений, основанную в одних случаях на искаженной количественной отрицательной обратной связи, что ведет к отклонению от нормы, но сравнительно устойчивому и не развивающемуся дальше некоего предела; в других случаях -- основанных на патологической положительной обратной связи. Причем, процессы последнего типа ведут к нарастающему развитию болезни. В третьих случаях -- процессы тоже с отрицательной обратной связью, но с запозданием реакции одного или обоих компонентов, лежащих в основе данного явления, что характеризуется циклической кривой; и, наконец, он выделил и четвертую категорию -- взрывные процессы, основанные на сочетании обратной отрицательной и положительной связи.

Эти принципы были позже приложены для анализа некоторых патологических процессов.

Указанные взгляды М. М. Завадовского и А. А. Малиновского были охарактеризованы в брошюре известного эмбриолога Г. В. Лопашова («Что лежит в основе развития организма». М., 1968 г., стр. 22-23).

«Значение обратных связей для развития было впервые понято советскими исследователями (которые тогда, однако, не сформулировали этого термина). М. М. Завадовский в 1941 году показал, что ряд эндокринных органов связан в своей функции таким образом, что если один из них стимулирует другой, то второй -- подавляет первый ($\pm$ взаимодействие). Но это типичный случай гомеостаза, то есть отрицательных обратных связей, поддерживающих устойчивое состояние, характерное для уже развившихся животных. А. А. Малиновский четырьмя годами позже придал этой теории обобщенный вид: если для устойчивости нужно $\pm$ взаимодействие, то для развития необходимы взаимодействия не $\pm$ типа, а ++ (взаимостимуляции) или -- (взаимоподавление) типа. Теперь, после формулировки общей теории обратных связей Н. Винером в 1948 году, их называли бы положительными обратными связями (а $\pm$ отрицательными). Позже автор брошюры (1960, 1961, 1965) показал путем детального экспериментального анализа совокупности зависимостей,

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

участвующих в развитии глаза, что все они действительно построены по типу взаимостимуляции и взаимоподавления, как это было показано выше.

Очевидно, индукционные процессы – не «переключения», триггеры или раздражения, направляющие развитие на тот или иной готовый путь. Это распространенное ранее мнение по мере более детального анализа развития уступает место точке зрения, находящейся в соответствии с представлениями, развитыми Малиновским. Она состоит в том, что индукционные взаимодействия ведут, посредством обратных связей, к постепенному убыванию и нарастанию тех индуцирующих агентов, которые переходят в клетки или образуются ими же».

Указанные здесь типы обратных связей, разумеется, являются не исчерпывающими, а наиболее простыми и имеют в основном качественно-количественный характер, поскольку не всегда можно точно охарактеризовать количественное взаимодействие и можно указывать лишь тенденцию изменения в органе, которое вызывается воздействием другого органа.

При этом здесь учитываются взаимодействия наиболее простые, имеющие характер, близкий к линейным зависимостям. Тем не менее, это было большим шагом вперед в понимании ряда биологических явлений, начиная от указанных эмбриональных и постэмбриональных зависимостей, физиологических процессов и кончая такими явлениями, как взаимоотношения между хищником и жертвой, изученными в Италии математиком Витто Вольтерра и в более обобщенной форме советским математиком А. Н. Колмогоровым.

Глава IV

Некоторые практические приложения теории систем в биологических науках

В тезисах к Фейербаху Маркс пишет, что «практикой человек должен доказать истинность своего мышления, его посюсторонность». И одно из основных положений марксизма заключается в том, что критерием истины является практика. Конечно, здесь речь идет о практике не обязательно в узком смысле. Если для техники или для медицины практика может еще пониматься буквально с чисто утилитарных позиций, то для широких научных концепций такое утилитарное понимание не обязательно. Концепция, позволяющая решать важные теоретические задачи в более частных областях, уже этим самым именно на практике подтверждает свою истинность. И именно этот критерий истинности должен прилагаться к таким абстрактным разделам науки, как математика или теория систем.

Следует остановиться на том, что же дает применение системного метода в биологии и сопредельных областях (медицина, психология и т. д.). Есть и еще одна причина, по которой следует дать иллюстрации такого рода. Дело в том, что некоторые представители теории систем, и в частности М. Месарович, как говорилось выше, высказывались в том смысле, что общая теория систем пока дала очень мало в биологии. Это фактически неверно, и, вероятно, такое мнение обусловлено тем, что сам Месарович относится к тому направлению, которое сводит системные методы почти исключительно к математическим. Этим самым он практически отказывается от поисков использования новых принципов и закономерностей чисто системно-структурного типа, о которых говорили основоположники теории систем М. Петрович, А. Богданов и Л. Берталанфи. Между тем, именно эти принципы и закономерности, составляя новое течение в науке, и представляют основную ценность. Они освещают научные факты с иной стороны и позволяют увидеть ранее неясный смысл этих фактов.

Мы здесь остановимся лишь на немногих простых иллюстрациях, которые показывают, как системно-структурный метод способен помочь в решении тех или иных научных задач. В каких же разделах биологических теорий (соответствующих для системного метода приложению на практике) в настоящее время может применяться и уже применяется системно-структурный метод? Первая большая категория научных задач, где имеет большое значение системно-структурный метод это – решение ряда до сих пор не решенных научных проблем. Не перечисляя сейчас иллюстрации к ним, мы остановимся на них немного позже, так же как на иллюстрациях к последующим разделам.

Вторая категория, очень близка к первой, но отличается от нее тем, что задача, которая разрешается системно-структурным методом, зачастую даже не возникала до его развития, и

системно-структурный метод проявляет здесь себя не только в самом разрешении задачи или в новой ее постановке, а в самом факте констатации данной проблемы.

Особое значение имеет третья категория, где примеров сравнительно много, и которые интересны тем, что именно только системно-структурный метод, по существу, позволяет последовательно, (а не в виде исключения) решать эти проблемы. Это – разрешение противоречивых положений, когда имеются данные в одной науке (например, в генетике), говорящие об одном решении проблемы, а в другой – (например, в социологии) о противоположном.

Наконец, довольно существенной является еще одна, четвертая, категория, где системно-структурный метод может играть существенную роль. Это – раскрытие теоретических ошибок в тех или иных концепциях, нередко в целом интересных и развитых крупными учеными. В некоторых случаях это касается уже отброшенных представлений, хотя подлинной критике они не были подвергнуты. К ним относятся, например, некоторые установки, развитые в свое время такими учеными, как В. Ру, А. Вейсман и Х. Б. Ламарк. С другой стороны, это касается концепций, которые в настоящее время еще имеют хождение и частично сохраняют позитивное значение, но включают ряд положений, явно необъясненных, но и не подвергшихся критике. К этой категории, например, относится ряд положений фрейдизма. Сам фрейдизм в целом неоднократно был объектом дискуссий и серьезных возражений, иногда справедливых, а иногда не совсем справедливых. Однако, многие стороны этого направления не обратили на себя внимания критиков и остались не рассмотренными и не проанализированными, хотя именно эти стороны в гораздо большей степени вызывают сомнение, чем те, которые уже послужили объектом критических замечаний и опровержений.

Остановимся сначала на первой категории – решении ранее не решенных задач. Здесь хочется, в первую очередь, указать на интересную новую концепцию, развитую В. А. Геодакяном и основанную на применении системных представлений. Это – проблема возникновения раздельнополости у животных и растений. В биологии давно уже объяснено возникновение полового размножения. Половое размножение дает виду огромное преимущество, так как полезные мутации, возникающие у различных представителей того же вида, только за счет полового размножения могут совместиться в одной особи. Без полового размножения накопление положительных мутаций могло бы идти только путем их последовательного возникновения в той или иной линии, что неизмеримо растянуло бы процесс такого накопления. Половое размножение, поэтому является основной формой, по крайней мере, у большинства многоклеточных и в определенных формах у одноклеточных. В некоторые эволюционные моменты оно может заменяться размножением аналогичным бесполому, точнее говоря, без обмена наследственной информацией между особями, безразлично, будет ли это в форме партеногенеза, самоопыления, апомиксиса, почкования и т. д.

Однако в те эпохи жизни вида, когда требуется особенно интенсивное эволюционное преобразование, на первый план всегда неизбежно должно выступать размножение половое. В виде примера можно привести судьбу двух сельскохозяйственных растений – пшеницы и ржи. Происходя из одной области, (в которой, по мнению ряда авторов, рожь являлась сорняком культурной пшеницы), рожь и пшеница по мере продвижения на север, оказались сначала в равном положении (как сельскохозяйственные культуры), а затем рожь приобрела преимущество в том смысле, что ее продвижение на север не встретило такого препятствия в виде климатических условий, как продвижение пшеницы. Возможным объяснением такого явления можно считать именно различие характера размножения: самоопыления у пшеницы и перекрестного опыления у ржи, из которых последний вид размножения обеспечивает гораздо большую эволюционную пластичность и эффективность отбора. Самоопыление, хотя и сохраняет механизм полового размножения, но является аналогичным бесполому в отношении отсутствия возможности совмещения раздельно возникших мутаций (то есть обмена информацией).

Но такое понимание значения перекрестного оплодотворения, то есть, по сути, вообще полового перекрестного оплодотворения, отнюдь не объясняло еще, почему произошла специализация на два пола; мужской и женский (особенно у животных)? Казалось бы, гермафродитизм, с точки зрения приспособления, выгоднее, так как количество размножающихся особей в популяции того же размера вдвое больше. Это – зрелые особи, составляющие популяцию. Напротив, там, где имеется раздельнополость, функцию размножения несет обязательно не одна особь, а две. Иначе говоря, количество размножающихся элементов сокращается вдвое. Логически преобладание этого вида размножения казалось необъяснимым.

В. А. Геодакян, подойдя к данной проблеме с системной точки зрения, показал, в чем состоит преимущество раздельнополости. Разделение функций мужского и женского пола по разным особям приводит к разделению популяции на две подсистемы: женскую, численность которой определяет в свою очередь количество потомства, и мужскую, которая может, даже при существенном уменьшении ее численности, обеспечить оплодотворение всех женских особей данной популяции. И в то же время мужская подсистема, благодаря большей изменчивости, обеспечивает более эффективный отбор, который, отрезая часть мужской популяции, может почти не затрагивать менее изменчивую (теснее группирующуюся к среднему оптимальному положению признаков) женскую популяцию. Таким образом происходит эволюционное «разделение труда» у двух полов.

Женская часть определяет сохранение численности на стабильном уровне, оптимальном для данного ареала, так как меньше подвергается уничтожению отбором, а мужская, не влияя до определенных пределов существенно на численность потомства, полнее отражает влияние внешних

условий через отбор. После действия отбора часть мужских особей погибает, но зато те, которым отбор покровительствует, могут, благодаря особенностям мужского организма (большое число гамет), передать свои признаки, через оплодотворение всех женских особей, следующему поколению. Здесь мы видим типичный пример применения общей теории систем и общесистемных закономерностей, касающихся дифференциации подсистем, с разными задачами – стабилизации численности и интенсивности отбора.

Другим примером применения системных принципов (в данном случае совпадающим с кибернетическим) является предложение использовать качественные кривые развития неинфекционных болезней для облегчения поисков их этиологических моментов и патогенеза (Малиновский, 1960). Предложение основано на том, что большинство таких заболеваний, (а практически, может быть, и все), является результатом нарушения обратных связей в организме. Однако нарушение может иметь разный характер. Если создается ситуация, при которой два органа (или две функции), отклоняющие состояние организма от нормы, стимулируют друг друга, то кривая заболевания имеет нарастающий характер. К таким болезням относятся, по-видимому, гипертония, глаукома, злокачественная близорукость, злокачественные новообразования, определенная категория шизофрений и ряд других заболеваний. При этих заболеваниях любая гипотеза, не включающая фактор обратной положительной связи, или, тем более, включающая как наиболее существенные звенья обратную отрицательную связь, не может быть признана пригодной для объяснения механизмов болезни. Поэтому подход, основанный на изучении типа кривой, чрезвычайно сужает область поисков механизмов этиологии и патогенеза, хотя еще и не дает, разумеется, сразу окончательного частного решения вопроса. Оно может быть отнесено к определенной категории, что чрезвычайно облегчает дальнейшее исследование. Но в пределах этой категории может быть еще весьма различным.

Другая категория заболеваний характеризуется отрицательной обратной связью при таком количественном изменении какого-то фактора, который создает равновесное состояние, но не на норме, а на каком-то патологическом отклонении. Здесь нарастание заболевания будет временным и дальше можно ожидать некоего стабильного состояния, отклоняющегося от нормы, но если нет внешних толчков, то не имеющего тенденции к дальнейшему развитию. Здесь кривую можно охарактеризовать как асимптотически приближающуюся во времени к некой горизонтальной прямой, но не совпадающей с той прямой, которая характеризует нормальное состояние. Сюда относятся такие заболевания, как многие, хотя и не все, трофические язвы (в том числе язва желудка и 12-перстной кишки), экземы, а, из психических заболеваний – ряд случаев неврозов навязчивых состояний и психастений.

Волнообразно текущие заболевания, из которых наиболее ярким примером может быть ряд случаев маниакально-депрессивного психоза, должны быть объяснены также отрицательной обратной связью, но с дополнительным условием: с запозданием реакции в одном из звеньев этой связи. Системный и математический механизм здесь тот же, как и в отношении колебаний численности хищника и поедаемой им жертвы: избыток жертвы не сразу приводит к размножению хищника, и недостаток – не сразу к вымиранию.

Наконец, эпилепсия и подобные ей заболевания объясняются обратной положительной связью в момент припадка при условии, что какой-то фактор в организме играет роль спускового механизма перед данным припадком. Истощение ресурсов данного механизма прекращает припадок, и организм постепенно возвращается к норме. Идущие в ряде случаев при этом процессы деградации связаны уже со вторичным действием нарушений во время припадка, которые могут иметь место не у всех больных. Предложенные схемы, как сказано, могут иметь конкретное значение в области поиска этиологических факторов и патогенетических механизмов, что, несомненно, значительно сократит необходимые в данном случае исследования.

Третий, вытекающий из второго, пример данного типа относится уже к предполагаемому анализу развития конкретного заболевания – шизофрении средней и малой тяжести. Не вдаваясь в ряд деталей, изложенных в другом месте (см. А. А. Малиновский «Роль обратных связей и системных изменений в развитии аутистического мышления у шизофреников и шизоидов». Проблемы кибернетики № 32, 1977), можно указать на то, что в данном случае (относящемся как раз к первой категории примеров, то есть в основном с нарастающей кривой), наряду с другими факторами, бесспорно можно и нужно выделить два звена. Одно – физиологическое и другое – социальное. Физиологические нарушения, в согласии с представлениями И. П. Павлова, подтвержденными рядом других данных, на которых мы также не будем останавливаться здесь, заключаются в истощаемости структурно правильно построенной нервной системы и в развитии охранительного торможения. Последнее, согласно системным закономерностям, связано с гипертрофированным отбором реакций (мы также опускаем их изложение), что ведет к нарушению нормальных представлений и нормального поведения больного. Эта форма психических нарушений известна как аутистическое мышление. Но такие изменения психики неизбежно приводят к неадекватной реакции и к определенным конфликтам с внешней средой, травмирующим больного. А это, в свою очередь, стимулирует дальнейшее физиологическое нарушение (истощение нервной системы). Получается, в согласии с характером нарастающей кривой, типичный случай обратной положительной связи. Отсюда вытекает целый ряд рекомендаций терапевтического характера.

При этом, однако, и в данном случае, и в ряде других заболеваний, конечно, не следует думать, что наиболее характерная кривая для данной нозологической единицы не может иногда претерпевать изменений. В организме имеются и компенсаторные механизмы, способные в определенных случаях оборвать нарастающий ход заболевания и стабилизировать его, а во внешней среде, наряду с неблагоприятными факторами, возможно вмешательство факторов, ослабляющих болезнетворное действие исходных этиологических факторов. Однако для анализа заболеваний, в том числе указанного нами случая шизофрении, основное значение все же имеет типичная кривая нелеченного заболевания, которая и позволяет делать определенные выводы.

Иной характер имеет разрешение некоторых генетико-эволюционных проблем. Так, на границе между первой упомянутой нами категорией (решение нерешенных задач) и второй (постановка неставившихся задач) — возник вопрос о корпускулярной форме генетических механизмов. Под таким названием (преимущественно противниками классической генетики) разумелось три особенности генетических механизмов: 1. действие отдельных мутаций на небольшое количество признаков (а, как раньше предполагалось, только на один), то есть локальное влияние мутации, в отличие от характера влияния большинства физиологических факторов, влияющих на весь организм в целом или на большее число его систем. 2. редкость взаимодействия мутаций, то есть тот факт, что две мутации, которые в разных организмах влияют на разные признаки, при совместном введении их в один организм, сохраняют свое действие, как и по отдельности, лишь суммируясь и, чаще всего, не давая совместно принципиально нового эффекта. 3. линейное расположение генов в хромосоме как отдельных независимых друг от друга частей. (как бусы на нитке). Не разбирая подробнее все эти вопросы, коротко остановимся на первой и третьей из упомянутых здесь особенностях.

Споры в этом отношении (особенно со стороны группы Т. Д. Лысенко усугублялись тем обстоятельством, что экспериментаторы в области генетики не считали нужным объяснять эти особенности, поскольку они были бесспорно подтверждены в опыте и не вызывают у них сомнений. А противники генетики (ламарки, группа Лысенко), не опровергая данные этих опытов в эксперименте, априорно считали, тем не менее, такие особенности противоречащими свойствам, типичным для биологических объектов, что в известной степени казалось правдоподобным, исходя преимущественно из физиологии.

Однако, проведенный элементарный логический анализ, первоначально преимущественно математический, а затем, как оказалось, еще более простой и убедительный системный, показали, что именно эти свойства (корпускулярность) являются наиболее благоприятными в том смысле, что максимально облегчают действие естественного отбора, так как позволяют ему легко отделить

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

сравнительно немногочисленные полезные мутационные признаки от многочисленных вредных, связь с которыми нейтрализовала бы пользу первых. Такое успешное действие отбора было бы невозможно, если бы одна мутация определяла бы сразу целый спектр признаков, включающих как полезные, так и вредные. Сказанное особенно легко понять в отношении узкого действия одной мутации, но не трудно показать, что такое же значение имеет и линейное расположение генов в хромосоме. Дело в том, что даже мутация, действующая на один признак, если бы она оказалась прочно связанной в хромосоме с соседними мутациями, в том числе обязательно и с вредными (так как они многочисленны), лишь редко могла бы быть включенной в полезный для вида фонд наследственности.

Между тем связь генов между собой в составе отдельных образований, которые мы называем хромосомами, необходима, так как облегчает процессы мейоза и митоза, которые были бы необычайно усложнены, если бы десятки и сотни тысяч генов должны были расходиться в дочерние клетки по отдельности друг от друга. К тому же это неизбежно приводило бы к большому проценту нерасхождений, которые, как известно, наблюдаются даже при реально имеющихся небольших числах хромосом. А нерасхождение даже по небольшим хромосомам (или, аналогичные нерасхождения, дупликации или выпадения небольших участков хромосом) приводит к летальности или высокой степени нежизнеспособности потомства. Поэтому независимая передача и расхождение каждой пары генов вела бы к гибели большей части потомства, не говоря о том, что такой путь передачи чрезвычайно усложнил бы клеточные структуры. Но объединение генов в хромосомы, чтобы не повредить приспособляемости вида, должно в целом сохранять эволюционную гибкость, то есть минимально мешать свободной комбинаторике генов и, следовательно, комбинаторике признаков, которые в разных условиях должны вступать в различные сочетания для быстрого приспособления вида в ходе эволюции.

Как нетрудно показать в данном случае (уже исходя из элементарных математических соображений), единственным эффективным в этом отношении типом расположения может быть лишь незамкнутое линейное расположение в хромосоме, обеспечившее кроссинговер. А это именно то расположение, которое реально наблюдается в природе и которое вызывало априорные возражения противников генетики (Малиновский, 1939, 1940). Лишь системные принципы в соединении с эволюционным подходом позволили объяснить эти особенности и разрешить вовсе не такой уж на первый взгляд необоснованный спор с противниками генетики. Не будем останавливаться на взаимодействии генов, ибо в принципе там задача решается также, хотя требует некоторых дополнительных объяснений.

Следует заметить, что подобные же возражения против идеи «корпускулярности» выдвигались некоторыми иностранными физиологами по поводу учения И. П. Павлова об условных и безусловных рефлексах. На русском языке были опубликованы переводы двух работ, в которых была произведена попытка доказать нерасчлененность поведенческих реакций у животных (Когхил, Лешли). Но, уже имея в виду приведенное выше решение задачи о генетической «корпускулярности», нетрудно было с системной точки зрения ответить на вопросы о «корпускулярности» поведенческих реакций. Они также должны свободно комбинироваться, поскольку заранее не предсказуемые условия среды могут предъявить самые неожиданные требования к их сочетаниям. И только расчленение поведения на отдельные, свободно сочетающиеся реакции позволяет животному в своем поведении адекватно приспособиться к самым разнообразным условиям обитания и к самым различным ситуациям. Это же расчленение элементов поведения позволяет высшим интегрирующим механизмам создавать сложные (временные или постоянные) функциональные системы поведения.

С точки зрения другого системного принципа – анализа обратных связей, удалось выяснить и механизм образования у низших беспозвоночных градиентных систем, которые первоначально могут возникать в разных направлениях, причем направление градиента сначала неустойчиво, а затем окончательно закрепляется. Эти же механизмы объясняют и парадоксальное, на первый взгляд, явление, при котором, например, у планарии при поперечных разрезах ее на разных уровнях из одного и того же участка могут образоваться то хвостовой конец, то головной, и при этом именно так, как это нужно для регенерирующей половины червя.

Вторая категория задач, где была проявлена научная значимость системного метода, относится к таким проблемам, которые до возникновения этого метода обычно даже не ставились. Один из элементарных вопросов здесь связан с альтернативными процессами в организме, то есть с такими процессами, которые идут сначала только в одну сторону, как бы проявляя большую инерцию, затем, повернув в обратную сторону, также, как бы по инерции, доходят до нулевой точки. По каким-то причинам даже не ставился вопрос о механизмах подобных явлений. Между тем они в организме не так редки. Так, например, к этой категории явлений относится такой на вид простой процесс, как мочеиспускание. Сначала происходит накопление мочи до полного заполнения мочевого пузыря, хотя в принципе он мог бы освободиться от части мочи и раньше. Это особенно ясно у детей младшего возраста, где этот процесс не регулируется сознательно, а происходит автоматически. После определенного предела начинается мочеиспускание, которое продолжается тоже до практически полного опорожнения пузыря, хотя это опорожнение проходит через все стадии наполнения, которые имели место при накоплении мочи, но не вызывали тогда ее выхода.

Эволюционное значение этого понятно, так как было бы крайне невыгодно непрерывное истечение мочи в любых условиях. Механизм же оказался легко расшифровать с точки зрения обратных связей: все элементы, нужные для объяснения, были уже известны в физиологии, но не рассмотрены в виде системы. Накопление мочи доходит до критического уровня, когда раздражение мочевого пузыря растяжением приводит к растяжению сфинктера. Если бы не было дополнительных моментов, то после небольшого истечения жидкости и уменьшения растяжения пузыря сфинктер замыкался бы. Однако оказалось, что раздражение мочеиспускательного канала истекающей жидкостью стимулирует сокращение пузыря и дальнейшее открытие сфинктера (обратная положительная связь). Поэтому, пока не вытечет вся моча, механизм действует безотказно, обеспечивая ее полное удаление. После удаления мочи раздражение мочеиспускательного канала естественно прекращается, сфинктер замыкается, и начинается новый цикл, пока растяжение мочевого пузыря не дойдет опять до критического пункта. При произвольном прекращении мочеиспускания после замыкания сфинктера, у человека уже через несколько секунд прекращаются позывы к мочеиспусканию, поскольку прекращается раздражение уретры, а уровень мочи в мочевом пузыре уже ниже критической точки. Аналогичное взаимоотношение имеет место при смене сна и бодрствования.

Вопрос о смене сна и бодрствования может быть поставлен так. В течение дня человек бодрствует, например, с 8 до 24 часов. За это время у него накапливается утомление (здесь не рассматриваем вопрос о причинах и механизме утомления, так как, с системной точки зрения, он не имеет значения) и возрастают предпосылки ко сну. В результате человек в 24 часа ложится спать и спит до 8 часов утра. Далее цикл повторяется. Но, несомненно, что, например, к 23 часам предпосылки, вызывающие сон, находятся на более высоком уровне, чем в 7 часов утра. И, тем не менее, после 23 часов, человек еще целый час бодрствует, а после 7 часов утра еще целый час спит. Создается впечатление, что и процесс сна, и процесс бодрствования обладают какой-то инерцией, но на чем она основана, обычно не исследуется. Между тем все предпосылки для понимания здесь уже имеются.

Известен случай Штрюмпеля, где больной был лишен всех рецепторов за исключением одного глаза. Если этот глаз закрывали, то больной, как правило, засыпал. Аналогичный случай наблюдал Боткин. И здесь, исходя из этих наблюдений и некоторых специальных экспериментов, стало возможным дать системное объяснение механизму такой смены сна и бодрствования: раздражения, падающие извне на нервную систему, повышают ее тонус и препятствуют разлитому торможению, связанному со сном. Поэтому, даже когда накопилось утомление, торможение еще

долго не наступает. Наконец достигается достаточно высокий уровень утомления и человек все же, вопреки возбуждающему действию внешних раздражений, впадает в сон.

Мы здесь оставляем в стороне такие дополнительные условия, как привычка к определенному ритму, искусственное выключение раздражителей путем потушенного света, изоляцию от других раздражителей в постели, волевые усилия и т. д. Эти условия являются лишь модифицирующими, ускоряющими или замедляющими наступление сна. В период сна автоматически выключаются в той или иной мере различные рецепторы. Зрение выключается механически закрытием век, а все остальные рецепторы, как, впрочем, дополнительно и зрение, выключаются путем наступившего торможения, препятствующего восприятию внешних раздражителей. Благодаря этому, даже когда процесс утомления в значительной степени снят, пробуждение еще не наступает, так как выключение рецепторов повысило порог, после которого нервная система автоматически переходит в деятельное состояние. Но, когда этот новый порог, наконец, достигнут, рецепторы снова начинают свою работу, поддерживая процесс возбуждения, и порог изменяется вновь, но уже в обратную сторону. Он становится ниже, для деятельного состояния он снижается, а для утомления, ведущего ко сну, естественно повышается. Здесь мы видим ту же картину, что и при мочеиспускании.

Имеется обратная положительная связь: сон ведет к выключению рецепторов, а выключение рецепторов поддерживает сон. Но, когда процесс сна все же приводит к достаточно полному снятию утомления, происходит переход в другую фазу (бодрствование), где также начинает работать обратная положительная связь. Но уже иная. Активное восприятие рецепторами внешних раздражителей будет способствовать бодрствованию, а бодрствование поддерживает деятельность рецепторов. Таким образом оба альтернативных процесса, которые мы здесь рассматривали, сон и мочеиспускание, имеют один и тот же системный характер – включение обратной положительной связи.

Примером проблем, которые, как правило, также не ставились, является проблема, уже отчасти затронутая в предыдущем разделе. Мы говорили, что дискретные (корпускулярные) механизмы передачи генов и проявления признаков наиболее выгодны для отбора. Но полезность этих механизмов ограничена необходимостью связи в развитии организма. Взаимная независимость признаков при их передаче по наследству, облегчает эволюцию, но необходимая для этого корпускулярность в развитии препятствует координации развития. В разных системах организма те и другие моменты (независимость и координация) проявляются по-разному. Однако во всех случаях имеется противоречие между этими двумя тенденциями. Может быть, наиболее интересной с этой точки зрения является проблема эволюции некоторых эндокринных органов. Здесь указанное противоречие разрешается, вероятно, наиболее совершенно.

Как пример, можно взять такие железы, как половая, щитовидная, гипофиз. Наиболее иллюстративным примером является функция половой железы. В отличие от ряда необходимых для тех или иных функций веществ экзогенного происхождения (витамины, микроэлементы) гормоны для ряда зависящих от них явлений иногда не являются физиологически необходимыми, но становятся в ходе эволюции как бы центрами, организующими определенные сложные функции, которые они для этого подчиняют себе. Различие витаминов и гормонов можно понять из следующих примеров. В отличие от гормонов витамин А не производится в организме. Но он необходим для нескольких функций: для зрения, для нормального состояния эпителия, для повышения сопротивляемости инфекциям и т.д. Однако, как ясно видно, эти функции прямо между собою не связаны и весьма различны, хотя, разумеется, все они необходимы для организма. Но в прямой координации между ними нет необходимости. Напротив, половая железа, например у самок млекопитающих, организует и связывает между собой целый ряд частных функций, имеющих отношение к одной и той же более общей функции (образно говоря, «цели») к воспроизведению потомства. Необходимыми условиями для этого являются развитие системы половых органов данного пола, наличие инстинкта, приводящего к спариванию, и реакций как специальных органов, так и всего организма, нужных для развития плода и заканчивающихся родами. Кроме того, столь же необходимо развитие млечных желез и включение их в нужный момент в действие, а также проявление с этого же момента родительского инстинкта.

Весь этот комплекс служит, как сказано, одной «сверхцели», но весь он пускается в ход одной и той же железой, органом со сравнительно небольшим набором химических факторов. Аналогичное положение имеет место и у мужского пола, где половая железа также определяет характер и структуры всего организма и специальных органов и развитие соответствующих поведенческих реакций. Если изобразить структурно эти связи, то получится картина, напоминающая звезду: в центре эндокринный орган, от которого идут стимулы к различным другим органам, влияющие на них морфологически или физиологически. При таком положении все эти органы, находящиеся на конечных «лучах» звезды, оказываются тесно связанными между собой – всего через один эндокринный орган, что создает необходимую их координацию.

С другой стороны, все эти органы и функции являются конечными в цепи онтогенетического развития. Поэтому они могут под влиянием мутаций изменяться и совершенствоваться независимо друг от друга, не отражаясь на других органах, находящихся под влиянием системы этой же железы. Благодаря этому удовлетворяется и эволюционное требование, предъявляемое к корпускулярным системам, а именно свобода комбинаторики в изменениях различных органов. Таким образом достигаются максимально обе цели: эволюционная комбинаторика и координация функций. Потери

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

при этом минимальные, они касаются только самой эндокринной железы, так как именно лишь ее изменение, даже положительное в каком-то одном отношении, имеет много шансов, в порядке побочного действия, нарушить ее благоприятно отрегулированное стимулирующее влияние на зависимые от нее органы (хотя бы на один из них).

Это приводит к затруднениям ее эволюции, так как вред побочных нарушений мешает такой эволюции. И, действительно, мы видим, что в то время, как зависимые признаки пола, например, мужского, резко различаются у различных видов, и, тем более, классов позвоночных, гормональная система, напротив оказывается весьма стабильной. Зависимыми от половой железы характерными признаками для мужского пола у петуха являются наличие гребня, шпор, специфического оперения и размеров организма, а также ряда поведенческих реакций. Для оленя поведенческие реакции в определенных отношениях уже иные, а морфологически мужской пол характеризуется у некоторых видов оленей наличием рогов, отсутствующих у самок этих видов. Для льва характерна грива, для самцов лягушек характерно развитие специфических мозолей на конечностях и специфического же рефлекса обхватывания самки (с использованием этих мозолей) в момент спаривания. Но характер спаривания здесь совершенно иной, чем у млекопитающих, птиц и т. д.

Как видно, разнообразие и внешних признаков мужского пола, и поведенческих реакций здесь очень велико, и признаки очень несходны. А мы привели лишь немногие примеры этого разнообразия. В то же время оказывается, что регулирующие все эти признаки гормональные факторы очень мало различаются даже у разных классов. Известно, что половым гормоном млекопитающих можно стимулировать развитие признаков пола у рыб или птиц, а гормоном щитовидной железы – метаморфоз головастика. Это указывает на справедливость вышеописанного неизбежного консерватизма в развитии эндокринных органов. Задержка эволюции желез внутренней секреции является той жертвой, которую приходится принести индивиду и виду в своем развитии ради успешного сочетания эволюционной комбинаторики с достигнутой за ее счет координацией признаков пола.

Совершенно такое же положение имеет место и с другими железами, например, с щитовидной. Щитовидная железа млекопитающих также годится для стимуляции превращения головастика и для стимуляции соответствующих признаков у самих млекопитающих, хотя метаморфоз головастика не имеет явных аналогий с признаками, которые вызывает щитовидная железа у млекопитающих или птиц. Здесь опять обнаруживается эволюционная гибкость зависимых признаков, скоординированных функцией железы, и относительный эволюционный консерватизм гормона. Таким образом в развитии ряда эндокринных систем успешно, с малыми потерями эволюционной гибкости, разрешается противоречие между требованиями естественного отбора и

требованиями онтогенетической координации. С системной точки зрения, мы здесь имеем весьма эффективный синтез системы корпускулярной и жесткой.

С проблемой эволюции проявления пола связан и вопрос о взаимодействии половых желез разных полов. В этом отношении интересны опыты Витчи. Он сращивал боками двух тритонов разного пола – мужского и женского и далее наблюдал изменение половых желез. Оказалось, что в ближайший период после операции и у самца, и у самки происходило угнетение половых желез. Процесс этот продолжался некоторое время, а затем у одного из животных (обычно у самца) начинались вновь положительные изменения в железах, в то время, как у другого (обычно у самки) процесс угнетения продолжался дальше. С системной точки зрения это явление легко расшифровывается. Здесь мы имеем двойную отрицательную связь, когда оба органа (мужская и женская половая железа) действуют угнетающе друг на друга. В результате происходит то самое угнетение железы у обоих животных, которое отмечал Витчи. Но при взаимном угнетении создается неустойчивое равновесие.

Если первая железа окажется немного более угнетенной, чем другая, антагонистичная ей, то она начинает уже меньше угнетать эту антагонистичную и последняя будет иметь возможность снова выправиться, а выправившись, она будет все больше угнетать первую. В результате одна из желез вернется в нормальное состояние, а железа другого типа подвергнется максимальному угнетению. Это соотношение типично, как сказано, для двойной обратной отрицательной связи. С точки зрения приспособления животных, этот механизм является чрезвычайно рациональным. Действительно, если не в эксперименте, как было у Витчи, а в природе и при этом в одном организме по каким-то причинам разовьются две железы, относящиеся к разному полу, то организм окажется гермафродитным, то есть промежуточным между женским и мужским полом, и его структура не будет приспособлена к размножению ни в качестве самца, ни в качестве самки.

Это крайне невыгодная форма, которая не может иметь потомства. В природе такие случаи почти не встречаются, по крайней мере у высших позвоночных. И именно указанный механизм препятствует появлению гермафродитов. Он обеспечивает переход от гермафродитизма к одному из выраженных половых типов - мужскому или женскому, то есть к типу, вполне приспособленному к функции размножения.

Здесь именно неустойчивое равновесие среднего положения ведет к одному из двух крайних, что и является задачей этого механизма. В приведенных опытах некоторое преобладание обычно имеет мужской пол, но по первым этапам опыта можно думать, что, в принципе, возможно отклонение и в сторону женского пола. В этом отношении были бы интересны эксперименты, где проводилось бы скрещивание одного самца с двумя самками, что обеспечило бы более интенсивное

воздействие женских гормонов на мужскую железу и, вероятно, привело бы к ее подавлению. К сожалению, такие опыты, по-видимому, не были проведены. Во всяком случае данный пример показывает значение двойных обратных связей. Не останавливаясь на других примерах, связанных с дифференцировкой тканей и с градиентными системами, которые также подтверждают изложенное положение, на основе рассмотрения ряда данных можно сказать в общей форме, что двойная обратная отрицательная связь способствует дифференцировке различных тканей и органов, препятствуя любым промежуточным состояниям, будь то смешанные ткани, состоящие из разнокачественных клеток, или совмещение разных половых желез в одном организме, как мы видели в последнем примере, или, наконец, какие-либо другие случаи, как в примере с градиентными системами. В то время, как в генетике, в простейших примерах в кибернетике рассматриваются преимущественно отрицательные обратные связи (из простых форм обратных связей), в теории систем, как мы видим на последнем примере (а, впрочем, и на более раннем примере кривых патологических состояний), приходится сначала учитывать обратные связи разных типов.

Представления об обратных связях в биологии возникли за год до открытия кибернетики. Обратная отрицательная связь была сформулирована в 1912 году Н. А. Беловым, а через несколько лет, независимо от него, А. А. Богдановым и привлечена ими для объяснения ряда явления. С 30-х годов эту проблему экспериментально исследовал М. М. Завадовский, показавший широкое распространение отрицательных обратных связей в различных процессах в организме. Но положительные обратные связи, как и двойные отрицательные, и их значение в биологии были рассмотрены только в конце 1930-х годов (публикация 1945 г. А. А. Малиновского).

Было показано, как мы видели на только что приведенных примерах, что обратная положительная и двойные отрицательные связи имеют существенное значение, как в развитии нормального организма, так и в развитии патологических процессов. Однако, исследуя взрослые, уже стабильные организмы, Н. А. Белов и М. М. Завадовский преимущественно встречались с обратной отрицательной связью, способствующей стабилизации процессов. В онтогенезе, напротив, при росте и дифференциации тканей особенно выступают на первый план двойные положительные и двойные отрицательные обратные связи, нарушающие равновесие, так как все развитие основано именно на нарушении равновесия. Это мы видим в примерах, связанных с дифференцировкой тканей и пола, в градиентных системах и т.д.

Интересно то, что те же органы, которые у взрослых организмов подчиняются принципу обратной отрицательной связи, в развитии могут реагировать согласно принципу обратной положительной связи. Так Алешин обнаружил, что у головастиков в определенном возрасте введение через пищу гормона щитовидной железы действует не так как у взрослых животных, у

которых он через взаимодействие с другими органами подавляет активность собственной железы. Напротив, при введении на ранних стадиях, гормон щитовидной железы, действуя, очевидно, тоже через взаимодействие с какими-то другими звеньями, не понижает, а повышает активность и развитие щитовидной железы головастиков. Таким образом, на этом примере ярко демонстрируется преобладание различных типов связей на разных этапах онтогенеза.

В опытах Витчи взаимное подавление половых желез было простой констатацией факта, и лишь с системной точки зрения оно получило освещение в двух отношениях. Во-первых, как пример типичной взаимной двойной отрицательной связи и, во-вторых, в разрезе его приспособительного значения как выработанный в эволюции механизм предотвращающий гермафродитизм. Приспособительное значение различных системных механизмов сказывается не только при изучении обратных связей, но, как мы видели уже на примере гипотезы В. А. Геодакяна, во взаимоотношении отдельных подсистем, при их адаптивной специализации.

То же видно и при изучении иерархических связей. Последнее было отмечено А. А. Малиновским в 1960 году при рассмотрении изложенного выше примера альтернативного течения процессов при сне и мочеиспускании. Здесь мы видим два типа вмешательства в ход процесса. Одно и наиболее очевидное связано с произвольным изменением того или другого направления процесса (то есть здесь возможен произвольный запуск сна и мочеиспускания, когда еще не достигнут порог, после которого автоматически начинается этот процесс и, в обратном случае, тоже произвольное (например, будильником) прекращение сна и мочеиспускания сознательным усилием, когда центральная нервная система восстановила свое состояние еще не до конца и, соответственно, когда удаление мочи еще не окончено). Это обусловлено тем, что сознательно прерывается одна из связей между взаимодействующими по принципу положительной обратной связи органами, и самостимуляция процесса прекращается.

Другой путь, связанный уже с чисто физиологическими или патологическими процессами, заключается в изменении самих порогов, чем меняется длительность той или иной ветви процесса. Здесь характерно то, что центральная или вегетативная нервная система не вмешивается прямо (как в случае сознательного вмешательства) в определенный момент, чтобы изменить ход процесса непосредственно на каком-то конкретном этапе, а меняет его общий ритм путем изменения каких-то параметров, характеризующих реакцию взаимодействующих органов. Информация, поступающая от органа в более высокую инстанцию, является как бы специально сокращенной и компактной, и в свою очередь сигналы из высших инстанций, не влияя на детали процесса и не меняя принципов регуляции, тем не менее, оказывают регулирующее действие путем использования имеющихся механизмов, лишь количественно изменяя тот или иной порог.

Так, при воспалительных процессах и при холоде снижается порог, после которого начинается мочеиспускание, и оно учащается. Напротив, в моменты стресса порог повышается, и животное или человек, не замечая, переносит гораздо больший уровень накопления мочи. В отношении смены сна и бодрствования мы видим те же сдвиги порогов при разном состоянии вегетативной нервной системы.

Интересно, что к таким же в принципе выводам независимо пришли Гельфанд и М. Цетлин, сформулировавшие принцип «наименьшей связи», который также сводится к доказательству рациональности относительно сокращенных компактных форм взаимодействия между высшими управляющими системами и подчиненными. Ярким конкретным примером в этом смысле является появившаяся позже работа Г. И. Косицкого и И. В. Червой, в которой показано, что изменение ритмов сердца также определяется со стороны ЦНС не прямым воздействием на начало или окончание какой-то фазы, а общим влиянием на ритм, путем изменения общего состояния автоматического местного механизма, расположенного в самом исполнительном органе. Этот автоматический механизм не меняет принципов своего действия, но под воздействием высших центров изменяет некоторые параметры, что и ведет при том же механизме к иным темпам и силе сокращений сердца.

Интересен другой важный принцип соотношения биологических управляющих систем разного уровня, который был выдвинут А. А. Ляпуновым. Он заключается в том, что в случае связи между медленно действующими системами и быстро действующими первые определяют работу вторых. Ляпунов указывает на то, что две системы, приспособлявшие организм к внешнему миру, а именно генетическая и нервная, отличаются между собой в темпе своего изменения. Обе системы приспособляют: одна вид, а другая – организм ко все новым условиям. Но генетическая система меняется эволюционно, под влиянием отбора, то есть весьма медленно. Нервная система реагирует в каждом организме быстро и непрерывно на изменения внешних условий. При этом изменение генотипа сказывается на нервной системе, в то время как влияние нервной системы на генотип может быть лишь сравнительно несущественным и опосредованным через взаимодействие с внешней средой (то есть через выживаемость организма, имеющего те или иные реакции).

Рассмотрение проявлений этого принципа можно продолжить и указать на то, что среди систем, регулирующих поведение отдельного индивидуума (эндокринная, вегетативная нервная система и центральная нервная система), общие темпы поведения центральной нервной системы определяются более медленно действующими первыми двумя системами. Однако здесь все же имеется и некоторая обратная связь. Сильный раздражитель центральной нервной системы может

послужить спусковым механизмом для влияния, например, на эндокринные или вегетативные факторы.

Рассматривая систему в целом, мы упоминали принцип слабого звена: в жестких системах оно, как правило, ограничивает общую эффективность всей системы. Жизнеспособность организма и возможности его развития также определяются, как правило, наиболее слабым звеном. Самый сильный хищник, если он не способен догнать жертву, не может существовать. То же относится и к любому другому показателю, жестко связанному с другими элементами системы, необходимой для жизни. Поэтому жизнеспособность, с одной стороны, определяется именно этим фактором. Но этому противоречат, на первый взгляд, некоторые случаи, когда отдельные показатели (ядовитые животные, иглы ежа, щит черепахи) в значительной степени определяют успех данного вида в борьбе за существование. Получается здесь как будто бы не «равнение по слабому звену», а, напротив – по наиболее сильному. На самом деле этого противоречия нет.

Действительно, сильное звено в ряде случаев определяет жизнеспособность и возможности живого организма или другой живой системы. Но в приведенных примерах отчетливо виден механизм такой определяющей его роли. Он объясняется фактически тем же принципом слабого звена. В каждом из приведенных случаев сильное звено ценно для организма именно тем, что оно разрушает конкурирующие или противостоящие системы. Иглы ежа и щит черепахи не дают возможности мелким хищникам справляться с этими животными, так как из системы нападения хищника на ежа или черепаху оказывается вырвано необходимое звено – непосредственное соприкосновение с уязвимыми частями тела жертв. Яд змеи или каракурта разрушает системы противостоящих им врагов, и это само по себе защищает змею и паука, несмотря на их физическую слабость, от более мощного противника.

То же относится и к части ароморфозов, как, например, в определенном разрезе к развитию высшей нервной деятельности предков человека и других высших млекопитающих. Этот пример хорошо иллюстрирует значение принципов слабого и сильного звена и, вероятно, является интересным в разрешении одного из кардинальных вопросов антропогенеза. Данный вопрос можно сформулировать так: почему высшие формы жизни, связанные с переходом на социальный уровень, произошли от обезьяноподобных предков, а не от других высших млекопитающих, в частности, не от дельфинов, центральная нервная система которых, по-видимому, не уступала в прошлые эпохи центральной нервной системе предков человека, с их меньшим тогда, чем у современного человека, мозгом и, соответственно, с более примитивными интеллектуальными возможностями. Коротко говоря, ответ на это сводится к тому, что в развитии человека, как было указано еще Энгельсом, огромную роль сыграл орган труда – рука.

В развитие идей Ф. Энгельса следует сказать, что для возникновения социальных организаций недостаточно было высокого интеллектуального развития каждой особи, входящей в сообщество. Хотя зачатки социальной жизни имеются у ряда животных, но настоящее социальное развитие в том смысле, как оно имеет место у человека, связано с таким важным для общества приспособлением, как коллективная память, позволяющая обществу накапливать информацию в размерах, значительно больших, чем может вместить центральная нервная система отдельной особи. В настоящее время у человечества это видно особенно ярко. Ни один человек в мире не обладает полной информацией, которой обладает человечество в целом. Но и на ранних стадиях развития эта особенность уже в какой-то мере присутствовала у человека.

Между тем, у животных, лишенных органа труда и не создающих материальных объектов, переходящих от одного поколения к другому, общая сумма знаний не может существенно превзойти тот объем, который доступен каждой отдельной особи, хотя бы и наиболее развитой. Вся цивилизация (как нам на это указывает независимо от автора настоящей работы И. М. Крейн) построена на развитии и на наличии внешней памяти, то есть памяти локализованной не внутри организма, а во внешних объектах. В настоящее время она представлена в виде многочисленных записей, книг, символов, моделей и т. д. Но и на первых порах развития человечества эти «записи» уже возникли в виде произведенных нашими предками элементарных орудий, одежд и жилищ. Сам факт существования того или иного орудия, перешедшего от предков к потомкам, давал указание на его применение и в какой-то мере на метод производства этого орудия. Это были первые аналоги записей, которые позволяли передавать опыт от одного поколения к другим. Не останавливаясь подробнее на этом вопросе, освещенном в другом месте (Малиновский), укажем лишь на то, что именно это дало преимущество человеку и возможность полностью использовать в социальном развитии высокий интеллектуальный уровень, достигнутый на основе биологических особенностей его нервной системы.

Дельфины, как и другие высшие животные, не обладали необходимыми органами труда и не могли поэтому в совершенстве использовать преимущество своей центральной нервной системы для развития коллективных знаний, как это мог использовать человек, создавший нужные ему предметы. Здесь мы видим, как наиболее сильные биологические особенности вида, присутствовавшие, по крайней мере, у предков человека и дельфинов, а возможно, у некоторых других животных, давали им преимущество в борьбе за существование. Но, в то же самое время слабое звено (отсутствие орудия труда у дельфинов) ограничило возможность полноценного использования этого преимущества в развитии дельфинов и других форм, а наличие у человека органа труда создало в результате такую целостную биологическую систему, которая позволила ему перейти на высший,

уже социальный уровень. Здесь системное рассмотрение вопроса позволяет выяснить, хотя и наиболее общие, но важные условия, сыгравшие решающую роль в социальном развитии человека.

Рассмотрим один из наиболее ярких примеров из области психологии, который хорошо иллюстрирует роль системных методов при разрешении противоречий, возникающих в разных областях при анализе одного и того же вопроса. Это – проблема преступности, а именно – роль наследственности и социальных факторов в развитии личности преступника. По данной проблеме специалистами разных областей были собраны факты, на первый взгляд, совершенно несовместимые. В свое время Ломброзо в одной из двух своих наиболее известных работ пришел к выводу, что существует особый тип преступника, характеризующийся якобы некоторыми внешними морфологическими чертами. Представления о биологически предрасположенном к преступлениям типе впоследствии неоднократно поддерживались. В пользу этого представления приводились генеалогические данные.

Например, обнаружена была одна обширная семья, имевшая в ряде поколений большое количество опасных преступников, мошенников, проституток, просто опустившихся людей и т. д. Социологи, особенно марксистские, напротив, указывали на огромную роль социальных условий и на невозможность того, чтобы по наследству передавалась такая социальная, по существу, особенность, как склонность к преступлениям.

Против наследственной природы преступности на примере указанной большой семьи говорят, впрочем, и генетические данные. А именно то, что внук преступника (даже если предположить наследование преступности) будет иметь шансы сохранить «преступные задатки» уже не более одной четверти, правнук – одной восьмой и т. д. Поэтому, если не предполагать, что преступники женятся обязательно на таких же преступных супругах, то даже с генетической точки зрения представления Ломброзо кажутся совершенно неубедительными. Однако за последнее время появились, на первый взгляд, совершенно убедительные генетические подтверждения наследования преступности. С одной стороны, было показано, что наличие двух игрек-хромосом у мужчин дает больший процент лиц высокого роста и крайне агрессивных, которые сравнительно часто встречаются среди особенно опасных преступников и агрессивных психопатов. И, напротив, среди высокорослых же спортсменов-баскетболистов такие формы (две игрек-хромосомы и агрессивность) не были обнаружены.

На это юристы и социологи справедливо отвечали, что надо различать преступление, то есть сознательный антисоциальный поступок нормального человека, и правонарушение, то есть нарушение закона либо случайное и по незнанию, либо вследствие психического заболевания. Последний случай особенно часто имеет место вследствие бреда у шизофреников или вследствие

неудержимых эмоциональных вспышек у эпилептиков. Правонарушение не относится к преступлениям и нуждается не в наказании, а в лечении (у больных) или должно рассматриваться как результат недоразумения у здорового человека.

Преступление же связано с намеренным нарушением закона в тех или иных продуманных ситуациях и с сознательными целями. Поэтому случаи с двумя и более хромосомами, как случаи, явно относящиеся к хромосомным болезням, должны рассматриваться, как предрасполагающие к правонарушениям, и люди такого типа нуждаются, конечно, в профилактике, может быть, даже иногда в изоляции, но не как типичный случай преступности. Затем появились совершенно новые и, как казалось, уже бесспорные аргументы в пользу наследственной природы преступности.

Еще со времен двоюродного брата Ч. Дарвина – Ф. Гальтона известен разработанный им близнецовый метод изучения наследственной природы признаков. Близнецы разделяются на две категории. В первом случае, в случае формирования так называемых дизиготных или двуяйцевых близнецов у женщины одновременно созревает две яйцеклетки, которые оплодотворяются также одновременно двумя различными сперматозоидами. В результате развиваются два ребенка, которые между собой имеют такое же сходство, как два брата, две сестры или брат с сестрой. Сходство это, как нетрудно рассчитать, сближает двух детей одних родителей таким образом, что различие их оказывается в среднем вдвое меньше, чем между неродственными лицами. Однако, различия все же остаются достаточно большими.

В другом случае близнецы развиваются совершенно иначе. У женщины созревает только одна яйцеклетка, как это бывает чаще всего, и оплодотворяется тоже одним спермием. Но, при первом делении (иногда при втором), оплодотворенная клетка распадается на две (четыре) отдельные клетки. Естественно, что эти клетки имеют совершенно одинаковую наследственную основу. При этом каждая из этих клеток начинает развиваться как самостоятельная яйцеклетка. Это происходит потому, что у человека и у многих животных имеется способность к регуляции, и та клетка, которая, не отделившись от другой, образовала бы лишь половину организма, в случае, когда она оказывается отдельной, способна образовать целый организм. В результате, из одной оплодотворенной яйцеклетки, распавшейся на две, развивается два организма, совершенно одинаковых по своей наследственной основе. Они обязательно одного пола и относятся к тому разряду близнецов, которых невозможно различить посторонним, а зачастую даже и родителями, настолько они похожи.

При сравнении таких близнецов с разнояйцевыми по какому-либо признаку легко определить, в какой мере признак зависит от наследственности. Если он обусловлен наследственно, то у однояйцевых близнецов этот признак проявляется совсем или почти совсем одинаково, а у разнояйцевых – различий по данному признаку гораздо больше. Так, например, окраска глаз или

группы крови у однояйцевых близнецов всегда одинаковы, а у разнояйцевых – в большом проценте различны. Поэтому, сравнивая, например, вторых близнецов, у которых первые, допустим, больны шизофренией, мы видим, что среди разнояйцевых второй близнец болен только в 12-14%, а у однояйцевых – второй близнец болен примерно в 70-80%. Это указывает на то, что шизофрения, хотя и не целиком, но по преимуществу обусловлена наследственно.

Исходя из этого принципа попробовали изучить преступность. Оказалось, что однояйцевые близнецы преступников гораздо чаще оказываются также преступниками и при этом обычно того же рода, что и первые. В то же время у разнояйцевых близнецов второй близнец, хотя тоже чаще относится к преступной категории (чем среди случайно взятых людей), все же гораздо реже, чем это наблюдается у вторых близнецов в парах из одной яйцеклетки. Казалось все ясно. Исследуемые близнецы, как правило, не имели также патологии, и их нельзя было отнести просто к правонарушителям (то есть к несознательным преступникам). Таким образом, обычный критерий близнецового метода говорил о том, что преступность, видимо, наследственно обусловлена.

Но, вопреки этому, огромные статистические данные столь же ясно говорят о прямой зависимости развития преступности от социальных условий: неравномерное распределение богатства, отрицательные последствия войны и т. д. Создалось как будто бы трудно разрешимое противоречие. Однако оказалось, что его легко можно разрешить с системной точки зрения. Для этого следует различать систему, в которой формируется личность преступника, и систему, в которой она проявляется. Преступление заключается в нарушении законов государства. Преступник – лицо, находящееся в ясном сознании при нарушении законов государства и имеющее определенные цели, как правильно формулируют юристы. Но воспитывается человек отнюдь не в государстве в целом, а в небольшой его части: в семье, школе, на прилегающих улицах и т. д. Это – своего рода небольшая подсистема государства.

Таких подсистем очень много, и они различны. При воспитании играет роль как семейная среда, так и темперамент ребенка, то есть будущего гражданина. Если ребенок послушный, то обычно его будущие установки по отношению к закону прямо определяет среда, где он воспитывается. В ортодоксальной семье воспитывается ортодоксальный гражданин, в преступной – в большем проценте воспитывается преступник. Но не все дети бывают внушаемыми и послушными. Именно в детском и подростковом возрасте очень большой процент детей отличается негативизмом, то есть обладают темпераментом, толкающим их действовать наперекор родителям, учителям и пр. Потом это чаще всего сглаживается, но приобретенные в детстве (благодаря негативизму) навыки и установки обычно сохраняются. Понятно, что такой негативный подросток в ортодоксальной семье легко, как говорят, «отбивается от рук» и может в определенном проценте случаев втянуться в

хулиганскую или преступную компанию, что и определит его будущее поведение. Такие случаи широко известны.

И, напротив, в среде, тяготеющей к преступности, именно негативный ребенок, скорее, не поддастся ее влиянию и уйдет из нее, имея при этом по сравнению с послушными детьми повышенные шансы приобрести особенности нормального гражданина. Таким образом, тенденция к преступному поведению определяется соотношением среды и темперамента. Темперамент сам по себе, вне среды, не может определить склонность к преступлению, но в определенных комбинациях с окружающей средой один и тот же темперамент дает разный результат. Исходя из этого, можно понять результаты, полученные близнецовым методом.

Однорядцевые близнецы обладают одинаковым темпераментом и, воспитываясь в одной и той же среде, имеют очень много шансов проявить себя сходно в отношении преступности: если они послушны и внушаемы, то в ортодоксальной среде оба они одинаково будут развиваться хорошими гражданами, а в преступной имеют одинаково большие шансы «сбиться с пути» и втянуться в преступную среду. Напротив, негативистические однорядцевые близнецы в ортодоксальной семье имеют одинаково повышенные шансы «сбиться с пути» и втянуться в среду преступную, не похожую на их семью. А в преступной среде у них также сходные и сравнительно высокие шансы удержаться от разлагающего влияния этой среды. Этим объясняется повышенное сходство однорядцевых близнецов по их отношению к преступности.

Напротив, двурядцевые близнецы часто различаются по темпераменту, и в то время, как первый, например, является внушаемым, другой может оказаться не внушаемым. Тогда в ортодоксальной среде один будет развиваться ортодоксальным гражданином, а второй в отличие от него имеет определенные шансы развиться в нарушителя законов. В среде же преступной их роли оказываются часто обратными. Мы здесь видим, что наследственность играет определенную роль. Но эта роль, отнюдь непрямо определяет преступность, а лишь косвенно, и в разной среде по-разному влияя на развитие будущего гражданина.

По наследству передается отнюдь не преступность, а темперамент. И уже от того, в какие взаимоотношения он вступает со средой, зависят конечные результаты. Но поскольку оба близнеца находятся в одной и той же среде, то естественно, что однорядцевые близнецы дают чаще одинаковую реакцию, а разнорядцевые чаще различную. Соответственно, мы и видим ту картину, которая наблюдается. Как видно, сознательное применение самых элементарных понятий системного метода (система проявления и подсистема развития) позволило разрешить, казалось, неразрешимое противоречие данных, полученных на одну тему разными методами и в разных областях.

Другой пример разрешения таких противоречий мы собственно уже приводили. Это – то видимое противоречие, которое биологи-негенетики видели между данными экспериментальной генетики («корпускулярность») и привычными им, часто не очень четкими, но более широкими связями различных факторов в организме. Выше мы показали, что такое различие (но не противоречие) действительно имело место, но оно объясняется, с исторической точки зрения, эволюцией генетического аппарата, как специфической системы, для приспособления вида к постоянно меняющимся и не предсказуемым в своих изменениях условиям.

Аналогичное же положение было и в отношении возражений, приводившихся некоторыми западными физиологами по поводу павловского учения о безусловных и условных рефлексах. Пока эти явления не рассматриваются в системе и в историческом разрезе, такое строение этих механизмов (генетических и рефлекторных) действительно может показаться непонятным. Но, с точки зрения системной, все сразу становится на свои места, и такая дискретность систем, проявляющаяся в наследственных и поведенческих явлениях, оказывается вполне объяснимой. Там, где система должна постоянно перестраиваться в непрогнозируемом направлении, там дискретные системы являются наиболее благоприятными.

Теперь перейдем к последней категории случаев, где системный метод служит для выявления ошибочных научных положений, высказанных рядом крупных ученых. Некоторые из этих положений давно уже оставлены, но не потому, что подвергались надлежаще логической критике, а просто забыты, как явно ошибочные. К этой категории можно отнести уже упомянутые установки двух ученых В. Ру и А. Вейсмана, которые предполагали, что внутри организма возможен автоматический отбор элементов, приводящий к большему совершенству организма.

Ру говорил об отборе клеток и более крупных элементов. Вейсман о том, что возможен отбор наследственных задатков внутри клетки. Действительно, отбор, по крайней мере на уровне клеток, вполне возможен и имеет место. Менее устойчивые клетки погибают, более устойчивые сохраняются. Однако это совершенно не означает, что такой отбор автоматически ведет к усовершенствованию целого организма. В самом деле, организм является системой жесткой, то есть такой, в которой каждая его часть нуждается в дополнении другой частью. При этом дополняющая часть (клетка или целый орган) необходима, независимо от того, насколько устойчива эта часть внутри организма.

Если она неустойчива и в таком стихийном отборе внутри организма страдает, но нужна организму, он от этого не выиграет, а проиграет. Чтобы пояснить эту мысль, приведем несколько грубый, но, тем не менее, верный пример. Представим себе, что имеет место конкуренция между отдельными органами, например, между печенью, почками и сердцем. Если бы она привела к

ослаблению одного из этих органов, то это сразу бы неблагоприятно отразилось на всем организме, так как каждый орган обеспечивает необходимую для организма функцию. При этом, конечно, пострадали бы и те органы, которые выиграли первоначально в этой конкуренции. Поэтому автоматический отбор между органами, не выработанный эволюционно, как адаптивное явление, как правило, только повредил бы.

То же относится, конечно, и к тканевому уровню: вытеснение мышечной или нервной ткани соединительной тканью (или напротив) было бы одинаково вредно, ибо эффект работы организма в целом определяется оптимальным их соотношением, и недостаток любой из них был бы только вреден, даже при избытке другой. Это не значит, что отбора внутри организма нет. Так, например, происходит отбор и гибель старых кровяных клеток, которые в функциональном отношении оказываются уже не вполне полноценными. Но такой отбор – это результат длительной эволюции организма в целом, где автоматический, стихийный отбор касался конкуренции между организмами и сохранил те из организмов, где внутри организменный отбор клеток происходил не стихийно, а лишь по немногим нужным направлениям. С другой стороны, вред такого, не проверенного эволюцией вида стихийного отбора ярко иллюстрируется конкуренцией между злокачественными и нормальными клетками: злокачественные клетки оказываются внутри организма сильнее в конкуренции, но организм от их победы не выигрывает, а только погибает, а с ним погибают и сами победившие злокачественные клетки. Здесь стихийный отбор приводит к нарушению тех гармоничных оптимальных соотношений, которые были результатом длительной эволюции и отбора между организмами.

Аналогичное рассуждение нетрудно приложить и к представлениям А. Вейсмана. Если бы имел место стихийный отбор между наследственными задатками внутри клетки, то не было бы никаких гарантий, что наследственные задатки, случайно выигрывающие в конкуренции внутри клетки, будут одновременно обуславливать и более полезные для клетки признаки. И именно поэтому, в частности, так сравнительно мало отмечается случаев отбора между гаметами одного организма, несущими разные наследственные задатки. Отбор на уровне гамет, как правило, не может способствовать успешному отбору между особями, способствующему победе организмов с полезными признаками. То, что было бы полезно устойчиво на гаметическом уровне, чаще бесполезно организму.

В результате отбора на уровне гамет должны были бы распространиться признаки, обусловленные аллелями, усиливающими конкурентоспособность гамет, но при развитии организма обуславливающими, как правило, менее выгодные для этого организма особенности (так как

корреляции в пользу на обоих уровнях нет). Поэтому эволюция и привела к снятию, как правило, проявления (и, следовательно, отбора) генетических факторов на уровне гамет одного организма.

Ру и Вейсман не впали бы в такие элементарные ошибки, если бы в их время уже были сформулированы основные различия между системами дискретными и жесткими. В первых (дискретных) отбор дает усиление системы в целом, во вторых – он, скорее, может привести к нарушению системы и в отношении ее усовершенствования не эффективен. А именно к таким жестким системам относится организм в целом и отдельные его клетки.

Другой пример представляет собой ряд положений, развитых в психологии и психиатрии Зигмундом Фрейдом. Фрейдизм неоднократно подвергался жесткой критике, иногда чрезмерной в определенных направлениях. В то же время целый ряд положений фрейдизма, как раз наиболее уязвимых с логической и системной точки зрения, не был рассмотрен достаточно тщательно.

Мы не будем здесь говорить о явных ошибках Фрейда, связанных с эпохой и с незнанием биологии, как например, о высказываниях, входящих в его концепцию и основанных на ламаркизме. Бесспорно, неправильными являются и его представления о том, что ряд социальных явлений можно объяснить исключительно ограниченным индивидуально-психологическим подходом, то есть, по существу, подходом биологическим, без привлечения социальных закономерностей. Таково, например, его объяснение отношения к религии. Эти вопросы теперь ясны и не требуют рассмотрения. Мы остановимся только на тех вопросах, которые интересны, с системной точки зрения. Так, например, развивая в области психологии и психопатологии концепцию, придающую исключительное значение сексуальности, Фрейд, с одной стороны, сделал шаг вперед, пытаясь привлечь к объяснению сложных психологических явлений глубокие и древние инстинкты. Но, как правильно указывали многие психологи и психиатры (например, Э. Кречмер), сексуальный инстинкт является не единственным в этом отношении.

Даже такие явления, как истерия, могут быть вызваны инстинктом самосохранения или в широком смысле инстинктами питания (истерия военная, истерия «искателей ренты») и, скорее, могут привести к нарушению системы и в отношении ее усовершенствования неэффективны. Эти вопросы уже рассмотрены выдающимися психиатрами, в частности Э.Кречмером в его книгах «Истерия» и «Медицинская психология».

Но более ошибочной, и именно с системной точки зрения, является попытка практически все проявления детской психологии, начиная с младенческого возраста, толковать как чисто сексуальные. Не приходится спорить, что в раннем детстве уже отчасти проявляются сексуальные влечения в виде любопытства, заинтересованности этой областью и в некоторых примитивных чувственных проявлениях у детей. Но именно этот факт является серьезным возражением против

распространения сексуального объяснения практически на все формы детского поведения. Если сексуальный инстинкт может уже проявляться у детей так явно, то нет оснований предполагать, что в других случаях он почему-то проявляется лишь в скрытом замаскированном виде.

3. Фрейд ссылается на то, что ряд реакций и форм поведения ребенка в отношении к матери (не сексуальных по самосознанию ребенка, но связанных с элементами чувственности, ревностью и т. д.) является доказательством проявления сексуальности. Но по отношению к психике человека как системе такая аргументация оказывается совершенно нелогичной. Ревность у взрослого человека наиболее ярко проявляется действительно в области сексуальной, чувственное удовольствие тоже. Также можно сказать и о других элементах поведения, связанных с сексуальностью. Верно и то, что эти элементы действительно прослеживаются и в раннем детском возрасте. Однако идентичность элементов в разных системах отнюдь не является доказательством идентичности самих систем.

Основное положение теории систем – из одних и тех же элементов и расположений могут быть построены совершенно различные системы. Поясним это на элементарном примере.

Известно, что на юге России долгое время оставались полусохранившиеся античные постройки. Турки, когда-то занимавшие эти районы, использовали каменные блоки из них для своих крепостей. Позже блоки из некоторых крепостей были использованы местными жителями для своих построек. Можно ли на этом основании утверждать, что античные храмы были турецкими крепостями или жилыми постройками? Очевидно нет. Бузниковым было показано, что некоторые вещества, являющиеся медиаторами в нервной системе взрослых позвоночных, играют роль в индукции органов на ранних стадиях эмбрионального развития. Это, однако, не дает нам права отождествлять ранние процессы эмбриогенеза с проведением нервного возбуждения. Одни и те же элементы могут входить в разные системы, но это не позволяет нам идентифицировать эти системы. В отношении ряда актов поведения это совершенно очевидно. Тут и сам Фрейд не стал бы проводить такую прямую идентификацию.

Так, например, бег может использоваться животными при спасении от хищника, при погоне за жертвой и в брачный период при погоне за самкой. Но совершенно очевидно, что, хотя бег в этих случаях – необходимый элемент, это вовсе не означает, что все эти упомянутые сложные процессы, в которые он входит (охота, самосохранение, брачное поведение), совершенно идентичны. Таким образом, Фрейдом была допущена элементарная системная ошибка, а именно, отождествление системы детского поведения и поведения взрослого, на основе сходства или идентичности входящих в эту систему отдельных поведенческих элементов.

Другой яркой и иллюстративной ошибкой является представление Фрейда о возникновении ошибочных действий, оговорок и сновидений на основании только (или почти только) ущемленных

сексуальных комплексов. Доказательством, с его точки зрения, является то, что при психоанализе, заставляя больного свободно ассоциировать, врач, начиная с подобных случайных действий, представлений или образов сновидения, вынуждает больного прийти к тем психологическим комплексам, которые действительно его тревожат. Допуская, что в большинстве случаев вскрытие комплекса происходит именно так, необходимо, однако, указать, что интерпретация этого факта совершенно неправильна. Она предполагает полную симметрию двух явлений – причины и следствия.

Фрейд исходит из положения, что раз можно, исходя из случайных оговорок, из названных больным произвольно имен или цифр, путем ассоциирования, дойти до важных психологических комплексов больного, то, следовательно, и сам исходный пункт цепи ассоциаций (случайно названное имя, цифра и т. д.) были обусловлены тем же комплексом. Но такой симметрии не существует.

Исходя из такой логики, мы должны были бы предполагать, что метеор, падающий на Землю, очевидно, и вылетел также обязательно с Земли, что, бесспорно, является абсурдным. Метеор попал в сферу земного притяжения и, изменив свой путь, устремляется к Земле. Вполне естественно предположить, что и ущемленные психологические комплексы являются также центрами психологического притяжения, которые заставляют ассоциативные цепи приобретать определенное направление и приводить мысли больного именно к этим, беспокоящим его комплексам. Русская пословица недаром гласит «У кого что болит, тот о том и говорит». Но логика Фрейда казалась неуязвимой, так как создавала порочный круг.

Он предполагал, что ошибочное действие или случайно названная больным цифра, имя и т. д. порождены болезненным психологическим комплексом, и доказывал это тем, что, исходя из этого случайного действия или образа путем свободного ассоциирования, больной приводит нас к этому комплексу. Разумеется, в пределах одной индивидуальной психологической системы опровергнуть такую логику было невозможно, хотя было ясно, что она и не доказательна. Но выход для решения был в привлечении к решающему опыту другой психологической системы.

Был поставлен специальный эксперимент, где одним лицом было задано сначала имя, а затем путем полученного случайного процесса задана случайная же цифра. Эти два исходных пункта для ассоциаций были предложены другому лицу, страдающему психастенией. Исходя не от него, они были явно не связаны с ущемленными психическими комплексами, которые он имел. Далее было проведено на этой основе свободное ассоциирование. В обоих случаях результат был один и тот же: в несколько коротких ассоциативных шагов испытуемый пришел к психологическому комплексу (связанному с его одной неудачной юношеской любовью), который был известен и

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

экспериментатору, знакомому с данным лицом. Здесь была показана совершенно отчетливая независимость возникновения случайного имени и случайной цифры от комплексов испытуемого, и, тем не менее, имел место ассоциативный переход от этих случайных извне заданных явлений к травмирующему психологическому комплексу.

Не будем разбирать другие ошибки Фрейда, не имеющие прямого отношения к проблемам системной теории, но укажем лишь на то, что наличие в его время простейших системных представлений могло бы легко предохранить его, как и ряд других ученых, от аналогичных элементарных ошибок. Не будем также вообще здесь множить примеры, где системный метод позволяет решить те или иные конкретные намеченные вопросы. Мы выбрали наиболее простые, поскольку наша основная цель – не привести решения большого числа вопросов, а проиллюстрировать исключительно обширные возможности системного метода. Уже эти примеры позволяют показать, с одной стороны, реальность решения конкретных задач в науке, исходя даже из простейших системных закономерностей и установок, и, с другой стороны, проиллюстрировать на примерах некоторые из таких закономерностей, в настоящее время уже сформулированные в теории систем.

Приведенные примеры решения ряда научных и частью практических (проблемы изучения этиологии неинфекционных заболеваний и, следовательно, подхода к терапии) задач, исходя из системных закономерностей, показывают, что даже теперь, на самых ранних этапах развития науки об организации систем, критерий практики подтверждает большое значение этого научного направления. Мы лишь кратко привели то, что сделано в биологических науках в этом направлении, не затрагивая приложения принципов организации систем в других научных областях.

Глава V

Проблемы теории систем и биология будущего

В заключение следует коснуться еще нескольких вопросов. Во-первых, как может сказаться развитие теории биологических систем на развитии самой биологии? В настоящее время у многих ученых создается мнение, что главную роль в будущей биологии будет играть математика и изучение живых объектов на молекулярном уровне. С этим трудно согласиться, хотя роль математической биологии и молекулярной биологии, несомненно, очень велика. И все же молекулярная биология исследует только «кирпичи» живого. А в сложных биологических системах все большую роль играет «архитектура», то есть строение систем. Изложенное выше, вероятно, говорит об этом достаточно убедительно.

Иногда можно столкнуться с мнением, что все науки развиваются по одному и тому же пути. Это предположение очень сомнительно, в особенности, когда сравниваются столь абстрактная наука, как математика, очень давно отошедшая от эмпирического уровня, и биология, до недавнего времени все еще осваивавшая очень богатый и необычайно многообразный материал и продолжающая черпать все новые факты и принципы из наблюдений и экспериментов.

Математика, исходя из относительно малого числа предпосылок, в дальнейшем строилась, согласно определенной логике, подобно небоскребу, прочно укрепленному на твердом узком фундаменте, но состоящему из многих высоко поднявшихся последовательных этажей. В биологию логика входит совершенно иными путями. Она развивается здесь в значительной степени, исходя именно из многообразия материала. Это не значит, однако, что биология не строит свою собственную логику.

В настоящее время, бесспорно, создается теоретическая биология (во многом аналогичная теоретической физике). На основе накопленного в науке богатого и достаточно достоверного материала биолог-теоретик, пользуясь точными логическими методами, может делать далеко идущие выводы. При этом, конечно, никак нельзя согласиться с теми авторами, которые считают теоретическую биологию делом отдаленного будущего и думают, что она обязательно должна включить объяснение сразу всех явлений жизни. По крайней мере, требование к теоретической биологии объяснить сразу все явления жизни выглядит неправильным, если проводить аналогию с теоретической физикой.

Теоретическая физика, завоевавшая достаточно прочные позиции, тем не менее, объясняет едиными принципами далеко не все физические явления. Как и все науки, она продвигается вперед постепенно и характеризуется не всеобщим охватом и не завершенностью, а абстрактными методами

(в отличие от физики экспериментальной), Она может, конечно, частично решать те же вопросы, которые решает экспериментальная физика, это лишь два разных подхода к некоторым явлениям. Но, с другой стороны, есть вопросы, которые могут решаться только путем эксперимента или только теоретически.

В биологии мы находим интересные аналогичные примеры. Законы Менделя были открыты экспериментально Г. Менделем в 1865 году благодаря верной постановке опытов, тщательному выбору объектов и правильной обработке результатов. Но математик Р. Фишер, ретроспективно рассматривая это открытие, уже в 1930 году указал на то, что все законы Менделя могли быть сформулированы без всяких экспериментов, чисто логически, исходя только из обыденного опыта, известного всем и раньше. 1. Отец и мать вносят в наследственные задатки потомков приблизительно равные доли. 2. Некоторые признаки могут передаваться от деда к внуку, не проявляясь у отца. 3. Признаки отца (например, цвет волос) могут комбинироваться с признаками матери (например, формой носа, которая не похожа на форму носа отца). Эти немногие обыденные наблюдения при использовании точной логики были бы достаточными, чтобы гипотетически построить те самые законы, которые в тщательном эксперименте обнаружил Мендель (R. Fisher. The Genetic Theory of Natural Selection. 1930). Здесь оба метода работают с одинаковыми результатами.

Но вот сцепление генов, находящихся в одной хромосоме (и, следовательно, линейное расположение генов), уже нельзя было открыть, исходя из обыденного опыта, даже при самой точной логике. Это явление можно было обнаружить лишь в эксперименте, с дальнейшим тщательным подсчетом результатов. Напротив, эволюционную теорию нельзя было бы развить, исходя только из экспериментов, только из обыденного опыта. Никакой эксперимент без широкого обобщения и точной логики не мог бы (тем более на протяжении жизни одного поколения) дать даже отдаленного представления об эволюции органического мира. И только теоретическое обобщение разнообразных фактов и соображений, полученных в разных областях биологии, действительно, дало основание Ч. Дарвину развить представление об эволюции путем естественного отбора.

Таким образом, задача различных методов одна и та же – выяснение законов природы. Методы же различны. И если в решении одних проблем они могут заменить друг друга, то в решении других, напротив, они взаимно дополняют друг друга, и недостаток одних не может быть возмещен достаточным развитием других.

Естественно, что математику кажется, будто настоящая наука начинается тогда, когда в нее органически входит математика. По словам П. Лафарга (Воспоминание о Марксе и Энгельсе. М., Госполитиздат, 1956, стр. 66), К. Маркс считал, что формирование науки окончательно завершается тогда, когда она начинает применять математические методы. Но во времена К. Маркса целый ряд

понятий был менее дифференцирован, чем теперь. Ф. Энгельс, например, справедливо говорил, что жизнь есть форма существования белковых тел. Эта формулировка была для своего времени вполне верной, так как под белками разумелось активное вещество живых систем. Но теперь мы знаем, что в представление, которое связывалось тогда с белками, включались не только белки, как их описывают сейчас, но и рибонуклеиновые кислоты. Таким образом, формулировка Ф. Энгельса была не только верной, но и полной для того времени, когда рибонуклеиновые кислоты еще не выделялись из живого вещества отдельно от белка.

Математика тогда была единственной наукой, воплощавшей точные логические методы, которые позволяли абстрактно решать самые разнообразные вопросы. Однако в настоящее время, как утверждают сами математики, спорным является вопрос о единстве математики как науки, даже в прежнем ее понимании. Более того, появляются новые области, которые уже трудно назвать математикой: скажем, кибернетика (которая включает и математические методы, и одновременно принципы, выходящие за пределы прежнего понимания математики) или особенно такая, хотя и близкая по абстрактности к математике, но совершенно новая наука, которую обобщенно можно назвать теорией систем.

И все эти старые и новые логические методы, начиная с математики и кончая теорией систем, представляют собой ту основу, исходя из которой различные науки в настоящее время организуются в стройные системы (в целом или хотя бы в каких-то пределах) и начинают в обобщенном виде решать отдельные задачи, как это раньше было свойственно одной математике.

Автору настоящей работы трудно говорить о судьбе самой математики, не будучи достаточно компетентным в этом отношении. Но рассматривать прогрессивное развитие биологии, в основном, как результат внесения в нее абстрактных методов, и притом только математических, я думаю, вряд ли верно. Такая точка зрения вызовет возражения любого грамотного биолога.

Касаясь вопроса математизации биологии, можно, конечно, согласиться, что биология не во всем подготовлена к этому. Действительно, биолог часто не может правильно поставить вопрос перед математиками даже там, где в принципе задача может быть решена математическими методами. Но и математики, не представляя себе ясно биологических проблем, большей частью не способны их решать. В этом сейчас несчастье биологии. Такие исключения, как математик Р. Фишер, пришедший в биологию, или биологи Дж. Б. С. Холдейн и С. Райт, удачно пользовавшиеся математическими методами, еще очень редки. Но это не результат неподготовленности науки биологии; это результат неподготовленности специалистов: и биологов, и математиков.

История биологической науки была такова, что в нее в прошлом по преимуществу шли люди, чуждые математики; в свою очередь, для сложившихся математиков была слишком трудна биология

с ее огромным эмпирическим материалом, накопление которого крайне чуждо их складу мышления. Поэтому преимущества математических методов использовались в биологии мало. Однако сегодня ожидать «улучшения» биологии от переворота, который произведет в ней именно математика, было бы наивным. Конечно, некоторые задачи решаются сейчас в биологии математически образованными «варягами». Но это не такой уж большой объем проблем, хотя некоторые из этих проблем и очень важны.

Между прочим, вероятно, не случайно, часто в роли теоретиков и «математизаторов» биологии выступали не сами математики, а физики, как, например, Гамов, Ф. Крик, Э. Шредингер и др. Дело в том, что физики ближе по своему характеру мышления к биологам, чем математики. Им легче вникнуть в эмпирический материал биологии, конечно, если он правильно сформулирован заранее самими биологами, как это было с основными законами «немолекулярной» генетики или как это имело место в вопросе взаимоотношения хищных видов и их жертв, изучавшемся учеными-математиками В. Вольтеррой, А. Н. Колмогоровым и др.

Развитие биологии связано с очень многими специфическими особенностями. И применение математики в ней также имеет свою специфику. Есть области науки, где доминирующую роль играет, по-видимому, математический анализ. Он применим для решения ряда задач и в биологии. Но здесь доминирующая роль принадлежит пока что математической статистике. Это объясняется исключительной сложностью биологических систем и необходимостью решать такие задачи, в которых, как заранее известно, действуют многие факторы, но конкретно они зачастую невыяснены. Чрезвычайная изменчивость этих факторов, неустойчивость параметров ограничивают в биологии возможности математики лишь моделированием какого-либо явления, не давая при этом существенных количественных результатов, пригодных для всех живых систем.

В биологии мы не имеем таких устойчивых констант, как, например, скорость света, которые характерны для физики. И вряд ли сходные константы когда-либо будут в ней играть такую же роль. Мы можем построить гипотетическую модель явления, но даже в эволюционной генетике это будет именно лишь модель, указывающая на общие тенденции тех или иных процессов, но не дающая общих числовых результатов. Мы можем, конечно, предположительно и очень неточно рассчитать, распространение какого-либо признака у определенного вида, зная его биологическую характеристику, коэффициент отбора и т. д. Но это будет сложнейшим решением очень частной задачи. А для общebiологических целей это – только образец, только модель. И в этом отношении биология не похожа даже на физику, где некоторые, по крайней мере, важнейшие, общие константы и процессы могут получить сравнительно точное количественное выражение. Зато в биологии имеются благоприятные условия для развития других типов логики. Многообразие систем,

проявляющихся в самых разнообразных видах, но основанных на единых принципах, процессы сложной регуляции переносят центр внимания биологов на совершенно иные задачи, а именно, на понимание структуры систем.

Мы уже упоминали, что в 30-х годах крупный английский эмбриолог и биохимик Дж. Нидхем в своей статье («На рубеже морфологии и биохимии». «Успехи современной биологии». 1936, т. V, вып. 1, с. 39.) писал, что биологическая система в своем внутреннем строении характеризуется тремя показателями: 1) качеством элементов, из которых она построена (особь – из клеток, вид – из особей и т. д.), 2) их количеством и количественными взаимоотношениями между ними и, наконец, 3) характером архитектуры – структурой системы. Неслучайно, что такие четкие формулировки были высказаны именно в отношении живых систем.

Дело в том, что, изучая более простые, например, физические системы, мы практически можем при их первичном рассмотрении ограничиться интуицией и обычной логикой; мы можем здесь даже не выделять теорию систем в особый раздел, а представить себе, исходя из своего обыденного опыта, строение физической системы и делать дальнейшие логические и особенно математические построения, позволяющие прийти к далеко идущим выводам. Но в биологии проблема структуры систем более сложна. Это видно хотя бы из того, что даже простейшие формы регуляции были раскрыты не так уж давно – в работе физиолога Н. А. Белова (1912), врача А. А. Богданова (1913), биолога Л. Берта-Ланфи (40-е годы). Не случайно и то, что изучение структуры различных систем, которое переросло теперь в целое системное направление, развивалось преимущественно биологами (или с их помощью).

Несмотря на молодость теории систем, принципиально в ней сделано не так уж мало. Следует сказать, что, хотя вокруг проблемы системного подхода имеется много общих разговоров и неточностей, все же это направление уже показывает свои реальные возможности в решении конкретных, общих и частных задач, примеры которых мы приводили в предыдущей части. Конечно, теории систем пока далеко до математики, развивавшейся тысячелетиями, и она, вероятно, стоит сейчас на том уровне, на каком математика была даже не у древних египтян, а на еще более ранних этапах цивилизации.

Однако даже простое открытие законов сложения и вычитания дало человечеству в руки орудие, позволяющее сделать большой шаг вперед. Это же, вероятно, можно сказать сейчас о теории систем, какими бы рыхлыми и разрозненными ни были некоторые представления в этой области. Но сейчас развитие науки идет неизмеримо быстрее, чем на заре цивилизации. И не тысячелетия, а десятилетия, вероятно, позволят этой новой области сравняться по своему значению, если и не со всей математикой, то с некоторыми ее разделами.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

В ряде биологических исследований и теорий, исходя из простой логики, фактически применялись методы, которые теперь мы называем системными. Созданная Ч. Дарвином теория эволюции путем естественного отбора неслучайно послужила образцом для применения принципа отбора в самых разных областях – от атомной физики до астрономии (конечно, со специфическими изменениями в каждой области). Мы уже говорили, что Дарвин исходил из очень немногих принципов – наследственности, изменчивости и геометрической прогрессии размножения и очень мало пользовался количественными характеристиками. Он ограничивался почти исключительно оценками «больше и меньше»: более жизнеспособный, менее жизнеспособный (организм или вид), больше оставляет потомства, меньше оставляет потомства и т. д. И все же это позволило ему решить основную задачу в такой, по признанию всех биологов, самой широкой биологической проблеме, как проблеме эволюции.

Развитие идей Дарвина проводилось далее с применением математических методов многими талантливыми учеными (С. С. Четвериков, Р. Фишер, Дж. Б. С. Холдейн, С. Райт, М. Кимура, В. Вольтерра, А. Н. Колмогоров и др.). И, тем не менее, все эти очень ценные и давшие очень много интересного работы, вместе взятые, вряд ли могут сравниться с тем, что сделал Дарвин своей качественной, как сказал бы математик, (и, как теперь мы скажем, структурной) постановкой вопроса. Это и неудивительно. В биологии, где так много изменчивого, наиболее устойчивыми являются не количественные характеристики, а структура. Это видно хотя бы из того, что даже такая сравнительно узкая систематическая единица, как класс млекопитающих, сохраняет свои основные структурные особенности у столь различных по количественным и частью качественным показателям животных, как мышь, весящая 14 г и живущая на суше, и кит, достигающий 140 т (в 10 млн раз больше!) и живущий в совершенно иной (водной) среде. А общие особенности жизни – обмен веществ, размножение, механизм наследственности – одинаково характеризуют самые несходные живые системы, начиная от микроорганизмов и кончая самыми высокоорганизованными животными.

В познавательном отношении системные методы, по существу интуитивно, используются всегда в решении любой задачи и в любой области. Уже решая простую арифметическую задачу, ребенок должен сообразить, с какой системой он имеет дело: с той, которая требует перемножения цифр, или с той, которая требует простого их сложения. Это делается на основе многократно повторяющегося опыта, так как здесь особенности системы очень просты. Но в более сложных случаях многократный опыт уже становится плохим орудием, и там для быстрого успеха нужны строгие критерии, чтобы вынести предварительное решение о типе системы.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Можно сказать, что все задачи в мире начинаются с системного этапа и никогда не обходятся без учета математических закономерностей, хотя бы в самом примитивном виде, как мы видели у Дарвина. Но акцент в разных задачах может стоять на первом или втором этапе. В биологии можно думать, этот акцент все больше будет ставиться на первом этапе. Это происходит по той же причине, по какой в биологии из математических методов наибольшее место занимают методы математической статистики (то есть из-за большой изменчивости параметров, большого числа факторов и многообразия систем). То, чего не может сделать одна математика, часто может сделать одна правильная структурная постановка вопроса, как это было в теории Дарвина и как это, несомненно, будет в ряде других областей.

Системно-структурные представления возникли преимущественно из биологии именно вследствие необходимости их в этой науке. Они с трудом пробили себе дорогу даже в биологии, так как биологи по складу ума были мало приспособлены к этому абстрактному способу мышления, очень близкому к математике. И все же именно в биологии, вероятно, они принесут наибольшие плоды, хотя, надо полагать, что и другие области науки, включая так называемые точные науки, могут выиграть от их применения. «Революция в биологии», конечно, не может ограничиться ни математизацией, ни молекуляризацией, о моде на которую так иронически отозвался (при всем уважении к ней) Ганс Селье в своей книге «На уровне целого организма». И было бы наивно предполагать, что дело только в малой подготовленности биологии к этим методам.

Математические методы не во всем адекватны биологическим задачам, а поскольку они могут быть применены (и нельзя сомневаться в их широкой применимости здесь), эффект будет зависеть от того, насколько правильно будет поставлена задача в разрезе теории систем. И вряд ли широкие обобщения могут исходить, в основном, из молекулярного уровня. Изучение основ – «кирпичей» жизни – актуальнейшая проблема, но даже на этом уровне обобщения невозможны без развитого системного подхода. Тем более это относится к высшим уровням, от организма до биосферы.

Глава VI

Проблема систематизации терминов и понятий в теории биологических систем

История науки не является самоцелью. Ее социальный и научный смысл – способствовать прогнозированию научного развития и ставить (а, по возможности, и разрешать) новые задачи общего характера. Если мы прогнозируем вероятное доминирующее значение теории систем в биологии, может быть, и не в биологии завтрашнего дня, но, во всяком случае, в ближайшие десятилетия, то мы можем констатировать и некоторые затруднения в развитии теории биологических систем. Таковых (наряду, вероятно, со многими другими) можно выделить, по крайней мере, два. Оба относятся к языку теории систем. Первое – чрезмерное стремление искусственно создавать разработанную жесткую символику типа математической. Это часто ведет авторов, разрабатывающих ее, к тому, что они скатываются к подмене системных принципов математическими и даже физическими представлениями. Такой подход искажает смысл системных исследований (вспомним, например, мнение Аптера о том, что Берталанфи, правильно поставив задачи общей теории систем, сам практически развивал в основном не ее, а термодинамику открытых биологических систем).

Поэтому на первом этапе в исследовании системных закономерностей в биологии очень важно изолироваться от математических дисциплин, привлекательность которых в отработанных представлениях и символике. И. П. Павлов именно по аналогичным причинам надолго запретил в своей лаборатории столь же привлекающую психологическую терминологию, которая могла помешать объективному подходу к высшей нервной деятельности.

Опасно и другое – на слишком ранней стадии зафиксировать в чересчур жестких терминах и символике еще недоработанные, а, может быть, и ошибочные первоначальные представления.

Второе препятствие к развитию теории систем, и особенно биологических, – разноречивость в терминах «система», «организация», «элемент» и т. д. Этот разноречивый дает себя знать почти в каждой работе и препятствует взаимному пониманию и обсуждению проблем, благодаря чему практически многие исследователи работают без творческого контакта с другими.

В настоящее время весь исторический ход развития теории систем в биологических науках с неизбежностью вел к постановке вопроса о выработке единых терминов и понятий, наиболее целесообразных в практике решения научных задач.

Об этом говорят, правда, еще не многочисленные попытки некоторых авторов обсудить и сформулировать термины и понятия теории систем в биологии. В частности, здесь можно указать на работы М. И. Сетрова и Р. Акоффа.

Остановимся подробнее на этой проблеме.

Сейчас, как сказано, рано было бы вырабатывать обязательную для всех единую терминологию. Но уже предварительное обсуждение позволило бы сделать большой шаг вперед для взаимного понимания и для дальнейшей выработки наиболее рациональных определений, приемлемых для общего употребления. С этой целью необходимо попытаться сформулировать хотя бы основные понятия, такие, как «система», «целостность», «организованность» и т. д., исходя из некоторых, наиболее обоснованных на наш взгляд критериев. Что же это за критерии?

Решающий критерий – это, конечно, практика приложения данного понятия. Поскольку нами была ранее проведена работа по применению этих понятий для решения определенных конкретных научных заданий (приспособительное значение генетических и рефлекторных механизмов, оптимальные формы связи в организме, эволюция эндокринных аппаратов, оптимальные структуры популяции, альтернативные физиологические процессы, обратные связи в регенерации (червей), роль различных форм обратных связей в эмбриогенезе и дифференциации, обратные связи в разных формах патологических процессов и анализ их патогенеза и т. д.), мы можем говорить об известных основаниях, подтверждающих их практическую оправданность, по крайней мере, в биологии и смежных дисциплинах. Но, разумеется, практика лишь конечный критерий, которому должно предшествовать некоторое логическое обоснование.

Опыт создания системы понятий и определений был предпринят Акоффом в статье 1971 и М. И. Сетровым в одном из его докладов. Не останавливаясь пока на последнем, необходимо кратко остановиться на подходе Акоффа. В небольшой статье им четко и последовательно сформулирован ряд положений. Но, несмотря на логичность ряда его положений, все же основное направление его систематизации понятий и некоторые далее выраженные им конкретные понятия не вполне удовлетворяют требованиям, которые наиболее важны для теории систем, по крайней мере в биологии.

Во-первых, Акофф не столько стремится выработать наиболее общие понятия («система», «структура», «упорядоченность», «организованность», «целостность» и т. д.) и определить их соотношения, сколько переходит к более частным определениям типов систем, стараясь, в конечном счете, дать общую характеристику наиболее высоко организованных (адаптирующихся и обучающихся) систем. Благодаря этому он упускает их наиболее важные и всеобщие характеристики, и за пределами его внимания остаются широкие категории систем. В то же время,

уже в самых первых общих определениях, он, поддаваясь общепринятым воззрениям, сразу вводит в представление о системе, как ее основное качество – взаимную связь элементов, которая хотя и не характеризуется им явно, как более тесная, чем связь элементов со средой, но (как следует из его высказываний) все же предполагается более тесной. Фактически он дает не всеобщие определения, на основании которых можно перейти к дальнейшей классификации систем, а дает уже классификацию, однако лишенную полноты. Так им определяются следующие типы систем: замкнутые и открытые; статические, динамические и гомеостатические; пассивно реагирующие, активно реагирующие и автономные, адаптивные (четыре типов) и самообучающиеся.

Отходя от определения ряда наиболее общих и элементарных понятий, которые необходимы для разработки теории систем, и преждевременно углубляясь в сравнительно узкую классификацию систем, автор в то же время оставляет в стороне основные вопросы теории систем: связь структуры системы и формы ее развития и функции. Фактически он характеризует только функции систем, не связывая их со структурой. Это в значительной степени лишает статью Акоффа роли того фундамента, на котором могло бы строиться дальнейшее логическое развитие теории систем. Есть и частные ошибочные положения.

Например, говоря о взглядах Ч. Дарвина, Акофф считает, что объектом его изучения были лишь «внешние-внутренние» формы адаптации. Иначе говоря, согласно его разъяснению, – только реакция вида на изменение среды. Между тем механизмы, открытые Дарвином, вполне способны усовершенствовать виды в совершенно стабильной среде, то есть (в терминологии Акоффа), по Дарвину, вид способен обучаться (повышать свою эффективность при неизменных условиях). Роль памяти в эволюции реально играет изменение генотипа. Другое дело, что вполне неизменной среды на нашей планете нет, а есть лишь определенные степени приближения к ней. Но дарвиновские механизмы усовершенствования потенциально эффективны и в неизменной среде.

В то же время в работе Акоффа имеется немало и ценных точных суждений, обычно ускользающих от авторов системных исследований. Так, например, он пишет, что есть системы, снижающие разнообразие (реакций, АМ), менее организованные, чем, по крайней мере, некоторые ее элементы. Большинство авторов работ по системам, напротив, прямо высказывают или явно подразумевают положение о том, что система всегда эффективнее, более организована, чем ее элементы или же их простая, не объединенная в систему сумма.

Еще более общим и важным является положение о том, что «всякая система обладает неограниченным числом свойств. Только некоторые из них существенны для какого-нибудь определенного исследования. Поэтому в роли существенных свойств могут выступать различные свойства, в зависимости от назначения проводимого исследования». Это положение Акоффа

совершенно справедливо и, конечно, нисколько не приходит в противоречие с объективным характером системных закономерностей и методов исследований. Здесь мы видим очень полную аналогию с количественными методами изучения любых объектов. В зависимости от задачи, числовые характеристики объектов (и их групп) будут резко различаться, берем ли мы продольный или поперечный размер объекта, берем ли число объектов в групп или их общую массу и т. д.

Наконец, из более частных замечаний, редкое в работах подобного рода указание, на то, что «нет смысла усовершенствовать одну часть систем, если при этом какая-нибудь часть будет настолько испорчена, что это перечеркнет достигнутое улучшение». Это – несколько, правда, менее четкое – изложение принципа роли слабого звена, сформулированного В. И. Лениным для социальных систем (блок партий), а Ю. Либихом – для условий роста растений (и в аналогичном – полухулиганском – примере (одноконный экипаж) Н. Винером). Однако Акоффа, не проводя, согласно своей установке, элементарной классификации систем в соответствии с закономерностями их движения, не указывает на то, что данное положение относится лишь к одному классу систем (которые мы обозначаем как относительно «жесткие») и не пригодно для систем «корпускулярных» или «дискретных», например, для вида животных, где ослабление или даже полное изъятие ряда особей (конечно, до известных пределов) практически нисколько не ослабляет систему, поскольку другие особи только выигрывают от уменьшения внутривидовой конкуренции и размножением быстро восполняют снижение численности вида.

Последнее указанное положение Акоффа, впрочем, относится уже не к общим определениям в теории систем, а к конкретным закономерностям системного поведения (да, к тому же, как видно из сказанного, лишь к определенной категории систем). А такие закономерности – уже совершенно иная проблема, чем разработка общих понятий и уточнение определений, и выходят как за пределы настоящей статьи, так и за пределы задач, которые, сколько можно судить по вводным замечаниям Акоффа, ставились при написании его статьи.

Во всяком случае, статья Акоффа является ценной попыткой подойти к общим понятиям в теории систем и указывает на возникновение интереса к данной проблеме у исследователей, работающих в этой области.

В свете сказанного попытаемся рассмотреть наиболее общие понятия и определения в теории систем, при том в расчете на приложение теории систем специально в области биологии и в сопредельных дисциплинах. Основанием, как говорилось, является чрезвычайное разнообразие понимания разными авторами одних и тех же понятий и терминов, препятствующих развитию теории.

Уже основное понятие системы одними авторами применяется только для естественно возникающих систем, к тому же устойчивых, то есть, по существу, уже в определенном отношении организованных (см. выступление Блюменфельда «Системные исследования», 1970 г.), что, очевидно, не обязательно, так как возможны системы или созданные искусственно, или же совершенно неустойчивые и существующие короткие периоды жизни: от возникновения до быстро приближающегося распада.

Другие авторы центральным признаком системы считают наличие прочных связей внутри системы, то есть условие, которое можно рассматривать как требование к целостности систем, и не придают в то же время значения их естественному или искусственному возникновению. Короче говоря, определение системы, помимо простейшего, бесспорно учитываемого всеми условия, что система включает в себя ряд элементов, как-то соотносящихся между собой (то есть она имеет какую-то структуру), у этих авторов включает еще дополнительные условия, которые, на наш взгляд, не обязательны и не всегда оговариваются, а чаще лишь подразумеваются этими авторами. Это – организованность, целостность или устойчивость и т. д.

Однако все эти свойства фактически могут или присутствовать в реальных системах, или отсутствовать в них. Если бы эти свойства были обязательным условием существования системы, нам не было бы необходимости выделять их как нечто особенное, с помощью чего мы дополнительно характеризуем системы. С этой точки зрения представляется более правильным каждое свойство, которое может или присутствовать, или отсутствовать в системе, определить отдельно с тем, чтобы при рассмотрении конкретной системы применять понятие системы как нейтральное в отношении этого свойства и только уже далее полнее характеризовать систему конкретно по отсутствию у нее или по наличию (и степени) упорядоченности, целостности, организованности, устойчивости и т.д. Действительно, если мы подразумеваем как необходимое условие устойчивость систем, то мы тем самым исключаем из рассмотрения многочисленные, бесспорно, высокоорганизованные, но неустойчивые. Из искусственных систем такими будут любые взрывные снаряды, которые созданы со специальной целью – саморазрушения и разрушения окружающих объектов, из живых объектов – самцы некоторых видов членистоногих, погибающие после выполнения ими функции оплодотворения. Вряд ли можно отрицать и то, что эти системы высоко организованы, и в то же время устойчивости они не имеют.

Принципиально может существовать и система дезорганизованная, то есть такая, в которой определенные положительные свойства элементов взаимно нейтрализуются, и система обладает ими в меньшей степени, чем сумма ее разобщенных элементов. Ниже мы упомянем некоторые из них. Даже свойство целостности является весьма условным для определения системы, так как в качестве

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

системы может рассматриваться сумма объектов, связанных между собой сходством (например, вид животных, разбросанных по зоопаркам мира, но вымерших в природе) или случайным временным пространственным объединением, которое далее нарушается. Тем не менее, такие системы существуют, имеют большое значение и отличаются определенными свойствами, которые следует учитывать.

Вторым критерием для формулируемых ниже понятий является их взаимная неперекрываемость, отдифференцированность. Например, если имеется особое понятие организованности, то оно не включается как обязательное в понятие системы. Правда, для некоторых из этих понятий включение неизбежно, но в особой форме, форме, с учетом иерархии их общности. Это относится к тем специальным случаям, где одно из понятий является более узким, чем другое, включающее его. Так, например, организованность уже предполагает некоторую упорядоченность, иначе говоря, организованность является частным случаем при наличии упорядоченности. То же самое относится и к целостности.

Таким образом, понятие «организованность», например, позволяет различать среди упорядоченных систем те, которые обладают организованностью, от тех, которые организованностью не обладают. Но понятие «система» является наиболее общим. Поэтому мы в него не включим ни представление об упорядоченности, ни о целостности, ни об организованности. Единственное, что мы не можем не включить (помимо того, что она состоит не менее чем из двух элементов), – это наличие в системе какой-то структуры, ибо структурой мы называем любое соотношение элементов в данной системе и их связей. Пока эти соотношения ближе не определены, они могут быть и нулевыми, то есть, короче говоря, никакого соотношения между ними, кроме нашего мысленного объединения их в одну систему, мы не обнаружим. Поэтому слово «структура» означает просто описание любой определенной формы соотношения элементов и их взаимодействия, внутри системы – от нулевой до самых сложных соотношений, приводящих или не приводящих к целостности и организованности системы.

Исходя из сказанного, перейдем непосредственно к определению некоторых основных понятий.

Понятие «элемент» мы здесь специально не определяем, поскольку это понятие давно вошло в обиход самых различных научных дисциплин и не является ни новым, ни дискуссионным. Оно означает части системы, которое далее в данном исследовании не разлагаются. В тех случаях, где это понятие будет применяться в каком-либо новом смысле, оно оговаривается специально (например, в связи с понятием «субэлемент»).

Системой мы называем любой набор элементов, (вещественных, энергетических, информационных), выделенных совместно по какому-либо принципу из других элементов окружающего мира. При этом не ставится обязательным условием, чтобы такая система по своим проявлениям отличалась от проявлений суммы составляющих ее элементов, взятых по отдельности. Такое отличие чаще всего имеет место(...)

Отличие возникает тогда, когда элементы в системе организованы определенным образом. При низком уровне организации система по свойствам своим приближается к сумме частей. При высоком уровне организации она резко отличается по своим свойствам от простой суммы элементов. Несомненно, статистически более вероятно выделение группы элементов в естественную систему именно тогда, когда они имеют между собою большую тесноту связей, хотя организованность системы определяется все же не только числом и даже не прочностью связей в системе, а их характером, специфическим для каждого вида организации.

В нашей совместной с А. И. Уемовым статье дается определение, фактически кладущее в основу выделения системы повышение тесноты связей между элементами. Это остается верным для большинства естественно возникающих систем, но не является обязательным для всех, и в частности для искусственно выделяемых.

Изучая какие-либо естественно сложившиеся объекты или явления лишь с ориентировочной познавательной целью, мы можем выделять системы и по их «естественному основанию», проводя границы между ними, исходя из принципа целостности, согласно которому связи внутри системы соединяют элементы прочнее друг с другом, чем любой из этих элементов связан с элементами, принадлежащими к другой системе (в результате чего каждая из этих систем имеет определенную автономность). Но, применяя системные принципы с другими целями, особенно как метод исследования, мы имеем право рассматривать объекты в ином определенном аспекте и проводить границы систем и элементов иначе, чем при ориентировочном «нейтральном» (то есть не связанном со специальной задачей) подходе. Здесь есть определенная аналогия с количественными исследованиями.

Так, изучая, количественно какие-то объекты при ориентировочном подходе, мы будем, например, в популяции животных, в первую очередь, подсчитывать число организмов, относительно автономных друг от друга, и не будем проводить другие какие-либо искусственные границы. Но при определенных условиях может оказаться нужным произвести только изолированный подсчет каких-то все более дробных элементов, входящих как часть в каждый организм по всей популяции. Например, нас может интересовать энергия, поглощаемая или выделяемая всей популяцией. Нас может заинтересовать только повышение температуры в условиях улья по сравнению с окружающей

средой, хотя температура эта зависит от активности всех пчел данного улья. В таком случае мы не проводим границу между отдельными организмами, что казалось бы более естественным, а рассматриваем системы лишь энергетические, но сразу по всей популяции. Мы можем также рассматривать какой-либо вещественный показатель, например, продукцию меда в том же улье, и оценивать его количество, опять-таки не интересуясь такими вопросами, как количество отдельных особей, которые в этих условиях живут и обеспечивают накопление меда, или сколько меда приносит отдельная пчела и за какое время.

Таков может быть количественный подход, меняющийся в зависимости от поставленной задачи. Но также может меняться и системно-структурный подход к одной и той же системе в зависимости от задачи. Если мы изучаем популяцию при ориентировочном, объективном и «нейтральном» наблюдении, мы можем рассматривать ее как систему отдельных организмов, где они выступают в качестве естественно сложившихся и относительно автономных элементов этой популяции. Но мы можем рассматривать и специальные группы, этих элементов, где границы проходят между отдельными подсистемами или даже субэлементами данной популяции.

Так, например, мы можем рассматривать семью (в которую входят неравноценные по возрасту и полу организмы) как известный элемент популяции, более крупный, чем отдельная особь. Однако мы можем рассматривать и формы поведения популяции в целом, в которые будут входить отдельные реакции, свойственные популяции в целом, но в которых учитываются лишь какие-то определенные функции организма и совершенно не учитываются другие функции и, тем более, морфологические части. И изучать их, например, независимо от того, один ли организм (и какой именно) или многие из них дали важную для всей популяции реакцию, скажем, сигнал об опасности или, напротив, выдали ее неосторожным поведением. Короче говоря, в нашем рассмотрении «исследовательское сечение» рассматриваемой системы, входящей в популяцию, будет уже совершенно иным.

Таким образом, мы можем (1) различать наиболее простой (условно говоря, «нейтральный») подход к системе, который рассматривает системы, по возможности, с точки зрения целостности и независимости всей системы и ее частей от окружающей среды, и (2) возможный специфический системный подход к различным объектам в зависимости от задач со специальной целью решить ту или иную отдельную проблему. В последних случаях мы можем проводить разделение не по наиболее естественным границам (то есть не там, где наиболее слабые связи). Это – подход, который в зависимости от постановки вопроса заставляет нас проводить границы между выделяемыми подсистемами или их элементами по совершенно иным принципам, адекватным данной поставленной задаче.

Структура. О ней мы уже говорили выше (перед § I) как о неотъемлемом свойстве системы. Структурой мы будем называть тип связей между элементами системы. Она может быть устойчивой и неустойчивой, связи могут быть статичными и динамичными, прямыми и опосредствованными, односторонними и двусторонними и т. д. Но каждый тип связей, объединяющих систему, мы будем характеризовать как особый тип структуры. При этом, однако, надо иметь в виду, что, хотя структуру часто отождествляют с системой, мы резко различаем эти понятия.

Структура – это абстрактный тип связей, независимый от числа и качества элементов. Он является для каждой конкретной системы как бы характеристикой разреза системы во времени на определенный данный момент. Напротив, система – это конкретное объединение элементов, в котором каждый тип структуры имеет свои закономерности движения или, говоря более биологическим языком, для каждой морфологической структуры характерен определенный тип функционирования и развития. Поэтому важнейшей задачей теории систем является выявление того, какие свойства системы зависят от ее структуры, а какие – от качества и количества элементов и, далее – устанавливать зависимости между типом структуры и свойствами этого типа, то есть, в первую очередь, функциями или закономерностями движения систем с данной структурой. При этом, когда мы рассматриваем систему в целом, мы, как известно, должны различать структуры внутренние и внешние.

Характеризуя связи реальных элементов внутри системы, мы можем их иллюстрировать, например, устройством любой машины, скажем паровоза, где имеется определенный характер связей между источником тепла, давлением пара, движением поршня, передачами, системой управления и т. д.

Внешнюю структуру характеризуют, напротив, связи внешних же особенностей системы в их отношении к среде и между собою. Так, используя тот же пример, мы можем говорить о скорости движения механизма, о его прочности в целом и т. д., причем, эти особенности будут соотноситься со средой и определять способы связи системы со средой, ответы на ее воздействия и активные воздействия системы на среду. Если внутренние связи характеризуются определенными количественными и качественными закономерностями воздействия одной данной части на другую, в зависимости от их роли, типа передачи и т. д., то внешние будут определяться, допустим, тем, что данный механизм может выполнить, при имеющейся прочности, какую определенную задачу он может решить.

Это – внешняя оценка системы, которая определяется уже взаимоотношением ее показателей с противостоящей ей средой: прочности – с нагрузками, мощности – с весом состава и т. д. и связью этих внешних показателей системы между собой: например, как массивность механизма увеличивает

прочность и снижает конечную мощность, требуя затраты части работы на преодоление трения за счет возросшего веса и т. п.

Упорядоченность. Определение упорядоченности мы позволим себе не давать, как и определение элемента. Оно сводится к обычному определению структурной негэнтропии, то есть к отклонению распределения элементов от наиболее вероятного для данных условий. Короче говоря, упорядоченность является определенным количественным показателем структуры системы. При этом она может быть одинаковой при разной структуре, так как дает только количественную оценку одной особенности любой структуры (ее отклонение от наиболее вероятного соотношения элементов, случайного при данных условиях) строения. Напротив, сходная структура обязательно имеет и сходную упорядоченность. Определенная упорядоченность является необходимым условием и целостности, и организованности (о чем мы будем говорить ниже). Но сама по себе она имеет нейтральный характер в том отношении, что ее наличие и даже высокая степень выраженности еще не определяет ни целостности, ни организованности. Последние определяются не степенью упорядоченности, а ее формой, то есть структурой и при том не всякой.

Измерение величины структурной негэнтропии является также действительно нейтральным показателем, не говорящим ни о повышении, ни о понижении организованности систем. Упорядоченность – структурная негэнтропия определяется как величина положительная или нулевая. Но при одной и той же равной упорядоченности система может быть целостная или нет, в большей или меньшей степени организованная или дезорганизованная. Характер целостности и организованности, как сказано, зависит уже не от степени упорядоченности, а от ее конкретной формы.

Организованность. Организованность мы будем определять, согласно принятым обычным формулировкам, как показатель отличия свойств и проявлений системы от свойств и проявлений простой суммы ее частей. Причем, в зависимости от задачи мы можем придавать этому отличию положительный или отрицательный знак. Так, например, организм животного или растения является высокоорганизованной системой, если его рассматривать с точки зрения его жизнеспособности. Его отдельные элементы не способны жить самостоятельно (по крайней мере, это касается высших форм). В определенном сочетании и в определенной организации они дают эффект жизнеспособности даже у низших форм существенно выше, чем имела бы их сумма, но взятых по отдельности, то есть отделенных друг от друга. То же относится, например, к симбиозу организмов.

Два симбиотически объединенных организма могут в ряде случаев резко повышать свою жизнеспособность. Будут ли это лишайники или менее глубокий симбиоз рака-отшельника и актинии, выигрывают оба организма. Здесь мы также поставим положительный знак для

организованности с точки зрения жизнеспособности системы. Но не всегда в системном подходе устойчивость является положительным показателем. Так, например, создание бомбы было также созданием высокоорганизованной системы. Но организация здесь рассматривалась не с точки зрения устойчивости, а с точки зрения эффекта взрыва, то есть выделения максимального количества энергии при взрыве бомбы.

Организация здесь автоматически определяла максимальную неустойчивость в нужный момент, а отнюдь не жизнеспособность этой системы в случае взрыва. Под организованностью тут разумелось совершенно иное, чем жизнеспособность системы. Таким образом, мы видим, что организованность – понятие относительное. Лишь при первичном (то есть «нейтральном» ориентировочном) рассмотрении естественно возникающих систем мы обычно относим ее к жизнеспособности и устойчивости объекта. Однако при направленном подходе для решения той или иной специфической задачи этот критерий может быть заменен другим.

Более того, даже с точки зрения жизнеспособности одной и той же системы, она в одном аспекте может быть высокоорганизованной, а в другом – низкоорганизованной. Организм низших животных может быть высоко организованным, с точки зрения физиологических данных. Они лучше физически приспособлены к среде, чем организм человека, который уступает им по физическому приспособлению, но обладает высшей организованностью в другом разрезе – в смысле развития высшей нервной деятельности и способности к объединению в социальные сообщества. Если упорядоченность есть абстрактный показатель системы, характеризующий ее в целом, «безлично» просто как число, то организованность показатель конкретный, «именованный» и для одной и той же системы в каждом аспекте иной.

С другой стороны, организованность может иметь и отрицательный знак. Так объединение элементов в систему может быть иногда (ошибочно) применено для решения какой-либо технической цели. В случае такой ошибки система оказывается не более, а менее эффективной, чем каждый ее элемент по отдельности (или их простая сумма). Например, для разрушения живых тканей может быть применена или щелочь, или кислота по отдельности. Но их соединение, создающее нейтральную соль, оказывается ниже организованным (для разрушения тканей), чем каждый из этих типов веществ, взятых по отдельности. Многие сплавы металлов проявляют иные свойства, чем эти металлы по отдельности. В одних случаях они оказываются более прочными и термостойкими, в других, наоборот, их прочность и термостойкость снижается. Если мы заинтересованы в прочности металлов, то первые сплавы мы можем рассматривать как системы более организованные, чем их элементы, (то есть организованные с положительным знаком), вторые – как дезорганизованные или

ослабленные в смысле своей организованности по сравнению со своими отдельными составными частями (организация с отрицательным знаком).

Кооперация людей для выполнения какого-либо дела по большей части справедливо рассматривается как положительная организация, повышающая эффективность их работы, сравнительно с тем, как они работают по отдельности. Но возможны в коллективах и такие объединения, которые приводят к взаимной дезорганизации, к снижению той эффективности работы, которая была бы достигнута этими же людьми, но работающими вне коллектива. Это, например, явление несовместимости характеров или каких-либо других свойств. Частным случаем являются объединения в браке, повышающие или понижающие работоспособность жены и мужа. В определенных условиях объединение успешно действующих партизанских отрядов в единую, но поэтому легко обнаруживаемую территориальную систему может сделать их более уязвимыми для сильного противника. Это – тоже дезорганизованная система. Короче говоря, мы должны иметь в виду, что объединение элементов в систему почти всегда вносит изменения в эффект системы, но эти изменения, рассматриваемые с организационной точки зрения, могут идти по обоим направлениям: идти в сторону повышения эффекта или в сторону понижения. В обоих случаях это результат действия организационных законов, но действия их в разных направлениях.

Следует заметить, что организованность, разумеется, может иметь не только разный знак и различное качественное направление, но и различаться по степени. Организованные системы могут приобретать новые свойства в большей или в меньшей степени. Практически нет системы, в которой элементы полностью потеряли бы свои особенности, хотя под влиянием организации система может приобретать совершенно иные особенности. Так, самая сложная ЭВМ, работающая так, как не может по отдельности работать ни один ее элемент, ни их простая сумма, тем не менее, сохраняет целый ряд особенностей, связанных с исходными характеристиками этих элементов, например, с их механической устойчивостью или устойчивостью в отношении химических и термических воздействий и т. д. Таким образом выражение некоторых авторов (Блюменфельд, 1970 г. и др.) о том, что организованная система по всем параметрам отличается от суммы своих частей, конечно, неточно. Для вещественных систем в большинстве случаев масса системы равна сумме масс отдельных частей. Уже это указывает на то, что, приобретая совершенно новые качества, которых нет у взятых по отдельности элементов системы, любая система в какой-то мере неизбежно сохраняет и свойства элементов (...).

Целостность – свойство, частное по отношению к упорядоченности и организованности. Это частный (но очень частый) случай упорядоченности и организованности. Различаются системы целостные и не целостные. Целостность системы – уже частично определена выше. В более общей

форме можно определить ее так. Целостной мы называем систему, в которой отдельные ее части функционируют (или развиваются) совместно, и в то же время вся система относительно независима от своей среды и от других аналогичных систем. Независимость эта, разумеется, относительная, но она означает, что данная система в своем движении хотя и должна как-то реагировать на влияние других систем, но эта реакция не определяет параллелизма в их развитии (который имеет место при росте органов организма или при эволюции вида), а является как бы ответом на внешнее воздействие при внешнем соприкосновении, как это бывает с молекулами газа, сталкивающимися друг с другом, или при известном ответе одной системы на внешнее влияние другой, как например, при непосредственном взаимодействии противостоящих друг другу видов хищника и жертвы или конкурирующих друг с другом видов-соперников. Таким образом, целостность определяется не высотой организации, а степенью «плотности» связей внутри системы, превышающей «плотность» связей между системами и средой (включая в последнюю и другие аналогичные системы).

Взаимоотношение структуры и элементов. Структура является понятием весьма широким. Сравнение различных систем позволяет выявлять общие особенности у различных систем, составленных из весьма несходных элементов, но обладающих одной структурой. Все дискретные системы, составленные из однородных элементов типа корпускулярного объединения (молекулы газа, частицы песка, клетки крови, особи вида, кирпичи, из которых еще только будет строиться здание, рефлекторные реакции, входящие в состав сложной поведенческой системы и т. д.), имеют некоторые общие черты. С другой стороны, централизованно организованная система, где большинство отдельных элементов объединяется по своему отношению к некоторому центральному элементу: солнечная система, ядро атома и его электронное облако, центральная нервная система в организме, матка в пчелиной семье, правительство в централизованном государстве и т. д., несмотря на огромные конкретные различия, все же имеют некоторые общие черты.

В обоих случаях мы видим, что элементы системы могут быть чрезвычайно разнообразны, но если имеется сходный характер структуры, то он накладывает на такие системы определенный сходный отпечаток, объединяющий все эти различные системы. Это может создать впечатление о самодовлеющем значении структуры, независимо от особенностей элементов или от их количества. Однако последнее мнение было бы крайне несправедливо, хотя все эти примеры показывают чрезвычайно широкую вариабельность числа и качественных особенностей элементов, которые могут складываться в одну и ту же структуру.

Для применимости определенной структуры в системе всегда есть определенные границы как со стороны качества, так и со стороны количества элементов. Например, здание может быть построено из кирпичей, цементных блоков, из дерева, из земли, даже из снежных кубов (иглу у

эскимосов). Материал, как видно, может быть чрезвычайно различным, но различия эти все же не безграничны. Не говоря уже о невозможности построить здание из жидких сред, без наличия твердых тел, они не могут быть построены и из таких твердых элементов, которые не способны вступать между собой в прочные связи, например, из металлических отполированных шаров.

С другой стороны, и численность элементов играет существенную роль. Если из большого числа кирпичей может быть построен собор сложной архитектуры, например, готический, то это невозможно при очень малых количествах строительных материалов (например, 10-20 кирпичей), которые не дадут предпосылки для достаточной гибкости комбинирования различных форм деталей. Короче говоря, структуры одного типа могут возникать или строиться из элементов разного качества и находящихся в различных количествах, но и качественные, и количественные ограничения здесь всегда имеют место. Это, может быть, банальные истины, но истины, которые иногда упускаются из виду при суждении о структурах.

Структурные уровни. Представление об уровнях сейчас широко внедряется в теорию систем. Однако необходимо провести известную дифференциацию понятий. Мы можем различать уровни по разным принципам. Так, например, мы можем выделить уровни собственно иерархические, по мере усложнения системы, в которых каждый нижестоящий уровень систем входит в более высокий уровень, являясь элементом для построения системы более высокого класса.

Так, например, молекулярные образования входят в клеточные, клеточные входят как элементы – в органы, органы – в организм, организм – в вид, вид, с одной стороны, входит в биоценоз, а с другой стороны, с точки зрения систематики, в более крупную систематическую единицу, и, в конце концов, все живые образования нашей планеты входят как части в биосферу в целом. Однако это фактическое повышение уровней в их иерархии не объясняется повышением уровня организованности и не всегда ему соответствует.

Так, например, клетки, входящие в организм, в известном смысле являются более совершенно организованными, чем некоторые многоклеточные организмы в целом (то есть организация частей в клетках совершеннее, чем клеток, например, в организме губки). Но, тем не менее, можно говорить и об обратном, а именно о более высокой организованности целостного организма по сравнению с входящими в него клетками в том отношении, что организм в целом обладает рядом свойств в поведении, передвижении, а у высших животных и человека, в интеллекте, абсолютно недоступных для клеточного уровня. Однако, переходя к сложному уровню, мы видим уже своего рода потерю организованности.

Вид, составленный из отдельных особей, обладает некоторыми преимуществами по сравнению с организмом (например, пластичностью и долговечностью), но по своей структуре

является более простым. Если его рассматривать как систему из отдельных организмов как элементов, он проще, чем организм, рассмотренный как система клеток и органов. Более того, вид в целом утрачивает и ряд преимуществ отдельных организмов. Так, вид высокоорганизованных животных не имеет в целом тех интеллектуальных возможностей, которые имеет отдельный организм. Если отдельные высокоорганизованные животные (антропоиды, слон или дельфин) способны ставить сложную цель и достигать ее, выполняя запланированное действие, то для вида в целом это недоступно. Его развитие идет стихийно, путем отбора, о котором справедливо было сказано Дж. Б. С. Холдейном, что отбор близорук, поскольку он неспособен достигнуть заранее поставленной цели путем жертвы на ближайшем этапе своих действий. А отдельные животные на это способны. Таким образом, более высокий фактический иерархический уровень не означает еще иерархии организационной.

Однако возможно рассмотрение уровней и по организованности. Такое рассмотрение возможно в двух направлениях. С одной стороны, мы можем вводить определенные критерии, характеризующие элементы системы и организованность системы в целом и устанавливать определенные повышающиеся ступени по мере повышения их организованности. Так, например, мы можем рассматривать систему пассивную, систему активную, регулирующуюся и, наконец, систему ауторепродуктивную, в которой возможна не только регуляция, но и целенаправленное развитие в сторону усовершенствования, как это имеет место в целых видах живых организмов.

С другой стороны, мы можем подойти эмпирически и рассматривать системы просто по результативности их организации, не утруждая себя тем, каким именно механизмом достигается высота этой организации. При этом мы по определенным параметрам оцениваем лишь степень их организованности, то есть эффективность сравнительно с эффективностью суммы их частей. Мы называем первый тип уровней уровнями собственно иерархическими, второй тип – уровнями типа организованности и третий тип – уровнями эффективности организации.

Наконец, остановимся на проблеме развития системы. Развитие системы как мы говорили, возможно различными путями. Но можно в целом сказать, что в своем развитии система способна изменять коренным образом свою структуру и заменять составные элементы. Поэтому, если мы сравниваем систему в начале ее развития и систему в конце развития, мы можем в ряде случаев обнаружить, что в начале и в конце общий состав системы как по элементам, так и по типу структуры не имеет почти (или совсем) ничего общего между собой. Тем не менее, мы не можем все же отказываться от утверждения, что это одна и та же система.

Организм животного или растения в начале своего развития состоит из одной оплодотворенной клетки, а в дальнейшем становится многоклеточным, состоящим из миллиардов

клеток, причем, за исключением половых клеток, ни одна из них не подобна исходным клеткам (если исключить не всегда сохраняющийся хромосомный комплекс и отдельные биохимические составляющие). Структуры дифференцировались и изменились коренным образом, численность элементов тоже, и даже сами составляющие части стали иными. В развитии общества, когда мы говорим об античной культуре, мы видим, что на первых порах и географические границы, и структура общества, и этнический состав были иными, чем на поздних этапах, когда в римской империи была приобретена совершенно иная структура. Этнический состав был изменен коренным образом, поскольку эллины – зачинатели античной культуры – составляли там уже не основную часть. И, тем не менее, в своем развитии, античная культура, бесспорно, сохранила свое единство.

Что же объединяет систему в ее изменении? Мы можем сформулировать ответ лишь одним образом: преемственность. (Здесь под преемственностью мы подразумеваем то, что все развитие системы имеет непрерывный характер, так, что каждая новая стадия во времени непосредственно соприкасается с предыдущей и непосредственно преобразуется из нее, причем, интервалы времени могут быть сведены к любым малым величинам, а с этим – уменьшаются и различия структурных этапов). Сложная система стоит на противоположном полюсе иерархической лестницы по сравнению с идеальной геометрической точкой. Геометрическая точка не имеет ни одного измерения и никаких индивидуальных характеристик и не отличается от любой другой точки ничем, кроме своих координат. Поэтому отождествление ее при движении по кривой возможно только тем же путем – путем установления преемственности на различных этапах ее развития.

В некоторых случаях возникает специфический вопрос, когда система исходная распалась на две или три. Так, например, дивергенция видов, происходящих из одного вида, ставит перед нами вопрос о том, с каким из дочерних видов отождествить исходный? Ответ, очевидно, здесь может быть лишь элементарный, но зависящий от постановки вопроса. При рассмотрении конечного результата, то есть дочерних видов, мы можем каждый вид в его развитии отождествить с материнским и рассматривать развитие каждого из этих видов как некоторую цельную развивающуюся систему. Если же мы рассматриваем, в основном, судьбу материнского вида, то мы можем прийти к выводу, что материнский вид в своем развитии претерпел определенный дезорганизационный процесс, уничтоживший его путем распада и ведущий уже к организации дочерних. В зависимости от постановки задачи мы можем рассматривать этот дочерний вид или как развитие исходного, включая этап, когда дочерний еще не выделили из него (если нас интересует сохранение основной части генофонда исходного вида), или наоборот, как результат гибели исходного (если нас интересует полнота сохранения его морфологии и экологических отношений).

Приведенные выше определения не являются исчерпывающими, поскольку неизбежно будет встречаться целый ряд более частных представлений при конкретном изучении систем в различных областях знания. Мы здесь не рассматриваем таких существенных вопросов, как коренные различия между системами костной материи, живыми системами и социальными. Все это требует не простого определения, а более детального и точного анализа проблемы. Но приведенные определения позволяют в дальнейшем использовать их с целью такого анализа, так как уже определены фундаментальные понятия.

Целый ряд работ, в которых нами были рассмотрены конкретные проблемы эволюции, нормальной физиологии, патологии и некоторые психологические проблемы, проводились с позиций данных определений. Однако они не давались еще в указанных работах в полном объеме, а, в основном, подразумевались. Более того, именно в этих конкретных исследованиях неизбежно сначала интуитивно формулировались данные понятия, которые в настоящей главе даются уже в более завершенном виде. Подобный опыт определения понятий позволит развить в дальнейшем более точные логические характеристики их при взаимном обсуждении различными авторами. Об этом говорит, в частности, одновременно с нами предпринятый опыт таких определений М. И. Сетровым, который давно занимается изучением теории биологических систем. Целый ряд определений, приведенных им независимо от нас, оказался очень близким к нашим по содержанию. Такое совпадение, вероятно, не случайно и говорит в пользу реальности и плодотворности этой попытки, хотя бы для первого приближения к дальнейшей, более точной системе понятий и определений.

Краткое заключение

Итак, общая теория систем ОТС представляет собою новую дисциплину, во многом подобную математике, но рассматривающую различные явления и объекты в другом разрезе. Теория биологических систем ТБС является частью ОТС, но имеет свою специфику, в связи с более сложным строением систем, чем в неживой природе. Биология внесла особенно большой вклад в ОТС, благодаря богатству различных типов систем в живой природе, что дало основание для успешного их эмпирического изучения и обобщения системных закономерностей, тем более, что математические методы в биологии, хотя и оправдывают себя, но не в той мере, как в физике, химии, астрономии и других точных и технических науках. Причина последнего - неустойчивость параметров в биологических системах и устойчивость и большая значимость структурных характеристик живых систем.

Системные подходы в общем, при изучении систем, должны предшествовать математическим методам, а математические методы – опираться на системную постановку проблем и способствовать их дальнейшему развитию. Ряд задач может решаться уже на системном уровне, без существенного применения математического аппарата, особенно в биологии и связанных с нею науках (медицине, психологии и др.). В так называемых точных науках соотношение пока обратное – большую роль играет второй, то есть математический этап теоретического исследования, а первый (системный) часто ограничивается интуитивной постановкой вопроса.

Биология поэтому не только является богатым источником развития ОТС, но и сама более нуждается в приложении ее принципов, чем точные науки.

Развитие ОТС в своей наиболее продуктивной и точно сформулированной части в значительной степени идет путем расширения закономерностей, сформулированных в отдельных науках до абстрактных закономерностей, имеющих всеобщую приложимость – в самых разных областях, хотя и не ко всем типам систем. К ним относятся принцип отбора Дарвина, принцип слабого звена Либиха, принцип обратных связей, сформулированный в биологии, независимо от других дисциплин Беловым, Богдановым и Завадовским, обратных положительных и двойных отрицательных связей, наисильнейшего звена, деление систем на жесткие и дискретные (Малиновский), принцип соотношения быстро и медленно действующих управляющих подсистем в иерархической системе (Ляпунов) и ряд других. Как видно из этого неполного перечисления, в теории биологических систем весьма большую роль сыграли отечественные исследователи.

Александр Малиновский

Становление системного подхода в биологии

Основными и в ОТС, и в ТБС являются две проблемы: 1) установление соответствия между типом систем и характером их функций и развития и 2) проблема возникновения новых свойств системы, отсутствующих у составляющих ее элементов.

Несмотря на недавнее возникновение теории систем и, следовательно, ограниченное пока развитие выявленных в ней закономерностей, использование последних позволило решить (или выдвинуть в других случаях предположительные решения) ряд задач, касающихся биологических, медицинских и психологических проблем.

В дальнейшем развитии ТБС очень важно уточнение имеющейся терминологий и строгие формулировки исходных понятий. В то же время есть все основания избегать преждевременного перехода к чрезмерной формализации понятий во избежание закрепления пока еще не окончательно логически отшлифованных представлений, закрепления, которое может повлечь за собою фиксацию ошибочных или хотя бы не вполне точных и поэтому препятствующих применению и дальнейшему развитию формулировок.

Дальнейшее развитие ТБС (и более общей ОТС) рационально проводить в максимальной изоляции от математики (как, например, И. П. Павлов избегал развивать учение о ВНД в контакте с психологией), чтобы не пойти по психологически наиболее легкому пути – подмены трудно формулируемых новых системных представлений и методов уже готовыми, но старыми и лежащими в другой плоскости математическими представлениями и методами (что уже случилось отчасти с Л. Берталанфи и некоторыми другими исследователями). Напротив, при применении уже сформулированных системных представлений и закономерностей сочетание их с математическим развитием намеченных системных подходов является вполне оправданным и может давать наиболее ценные результаты.

Дальнейшее развитие теории систем, судя по достигнутому в настоящее время, можно думать, создаст новое мощное орудие теоретического исследования, особенно в биологии, но также и в других науках и позволит решать задачи, в настоящее время трудно поддающиеся решению.