

УДК 573.22 + 574.2

## КОНСПЕКТ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

© 2003 Г.С. Розенберг

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Рассматриваются основные черты теоретических исследований в экологии. Обсуждаются аксиоматический, физический и системный подходы к построению теоретической экологии.

*Бывают теории различного типа. На одном конце ряда находится теория тяготения Ньютона – она одновременно проста, точна и строго верна. Когда возможно такое сочетание, это поистине удача для науки! На другом конце находится теория Дарвина – она не так проста, почти не обладает количественной точностью и верна лишь в известном приближении.*

*У.Р. Эшби [1, с. 60]*

**Введение**

В процессе познания окружающего нас мира любая научная дисциплина проходит три основных этапа своего развития: *описательный* (можно сказать – инвентаризационный), *концептуально-теоретический* (при котором происходит выдвижение всякого рода представлений о структуре и характере функционирования исследуемых систем) и этап *математизации этих представлений* (т.е. их формализация на наиболее точном и строгом на сегодня языке математики). С этой точки зрения экология не является исключением: эколог хочет знать какие экосистемы его окружают, сколько их, как они устроены и функционируют, как экосистема ограничена в пространстве, каковы пути конструирования искусственных экосистем с заданными свойствами, как управлять продуктивностью экосистем с максимальной выгодой и т.д. Из перечисленных трех этапов развития экологии как научной дисциплины можно

считать, что первый (инвентаризационный) – в основном завершен (это слишком сильное утверждение, так как количество экосистем огромно, и можно говорить лишь об относительной изученности), второй (концептуально-теоретический) – находится в стадии расцвета, а вот третий (формально-теоретический) – только переживает свое становление. Цель настоящей работы состоит в изложении предполагаемых основ теоретической экологии – биологической дисциплины, изучающей формализации закономерностей структуры и функционирования экосистем.

Желание придать экологическим исследованиям строго теоретический характер проявилось достаточно давно. Это сказалось не только в попытках более полно и точно определить основные понятия экологии – такие как “экосистема”, “сообщество”, “биогеоценоз”, “ассоциация”, “синузия”, “климакс” и пр. Если рассмотреть лишь один из разделов экологии – геоботанику, то число известных автору работ, в заглавии которых встречается сочетание слов “теоретическая геоботаника” или “теоретическая фитоценология”, к середине 80-х годов прошлого века уже превышало два десятка [2-9 и др.], не считая двух больших сборников работ – “Теоретические вопросы фитоценологии и биогеоценологии” [10] и “Теоретические вопросы фитоиндикации” [11]. Кроме того, слово “теория” в сочетании с рядом понятий геоботаники (мозаичность, климакс, картографирование, синузия, фитогенное поле) встречалось еще а десятке других работ [12-14 и др.]. При всей относительности и субъективности данного

показателя (использование в заголовке работы слова “теория” или “теоретический”) он свидетельствует о повышенном интересе геоботаников к возможности построения теоретической фитоценологии; этот период завершился появлением трех монографий теоретического (не только для фитоценологии, но и для экологии в целом) плана – В.И. Василевича [15], Б.М. Миркина [16] и Р. Макинтоша [17].

Последующее десятилетие (1986-95 гг.) также демонстрирует неизменный интерес исследователей к решению сугубо теоретических задач современной экологии и фитоценологии (для последней следует назвать сборники “Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии” [18], сборник тезисов конференции “Перспективы теории фитоценологии” [19], специализированный номер журнала “Биологические науки” (1989, № 11), посвященный теоретическим проблемам фитоценологии, серию статей Б.Н. Норина [20-22].

Наконец, последнее десятилетие показывает, что интерес к “теоретизированию” в фитоценологии не ослаб, что, в свою очередь, подтверждается многочисленными примерами (см., например, [23]).

Однако, практически во всех перечисленных выше работах “теоретическая экология (геоботаника)” понимается весьма односторонне (концептуально-теоретически) и в том виде не может претендовать на роль действительно теоретической дисциплины, способной обобщить содержание отдельных ее разделов с тем, чтобы эмпирически найденные для них закономерности получили дедуктивное обоснование и логически выводились из основных принципов, заложенных в основу теории. Объяснение этому можно найти в “Диалектике природы” Ф. Энгельса<sup>1</sup>: “...Дело в том, что всякому, кто занимается теоретическими вопросами, результаты современного естествознания навязываются с такой же принудительностью, с какой современные естествоиспытатели – желают ли они этого или нет – вынуждены приходить к общетеоретическим выводам. И здесь проис-

ходит известная компенсация. Если теоретики являются полузнайками в области естествознания, то современные естествоиспытатели фактически в такой же мере являются полузнайками в области теории...”.

Любая теория – это, в сущности, идея, воплощаемая в своих моделях. За время своего существования [24] экология накопила огромное количество экспериментальных фактов и стала остро нуждаться в обобщающих теориях, способных объединить и сгруппировать эти отдельные факты с тем, чтобы направленно задавать Природе новые вопросы о сущности тех или иных экологических явлений. Различным аспектом математического моделирования экологических (фитоценологических) систем была посвящена монография автора [25], в которой была дана картина математизации фитоценологии. Однако большое число решаемых в той работе задач не позволило сосредоточиться на отборе моделей, которые могли бы лечь в основу теоретической экологии (фитоценологии). Направления такого отбора и обсуждаются в настоящей статье.

### **Основные черты теоретических исследований в биологии**

*Теория в широком смысле - это комплекс взглядов, представлений, идей, направленных на истолкование и объяснение какого-либо явления.* Именно такое определение понятию “теория” дается в “Большой Советской энциклопедии” (т.25, с. 434). В более узком и специальном смысле под “теорией” понимают самую развитую форму организации научного знания (по сравнению с такими формами, как гипотеза, классификация, типология, первичные объяснительные схемы и пр.), дающую целостное представление о закономерностях определенной области действительности, которая выступает в качестве объекта данной теории. В.И. Ленин<sup>2</sup> подчеркивал, что “...теоретическое познание должно дать объект в его необходимости, в его естественных отношениях, в его противоречивом движении *an und fur sich*”. Эти определения “теории” при всей их правомочнос-

<sup>1</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Собр. соч. Т. 20. С. 366.

<sup>2</sup> Ленин В.И. Полн. соб. соч. 1963. Т. 29. С.193.

ти чрезвычайно широки и наиболее существенными и конструктивными их параметрами следует признать примат объяснительной функции теории и системный характер теоретической точки зрения на исследуемые объекты. Однако, такое положение оправдано и не имеет смысла пытаться дать какое-то исчерпывающее определение достаточно богатому по содержанию понятию (точное определение ограничивает рамки его применимости, а это может оказаться вредным). В этом случае можно использовать ряд фрагментарных определений [26], касающихся лишь некоторых отдельных сторон того или иного понятия. Например, *теория - это логическое построение, которое позволяет описать явление существенно короче, чем это удастся при непосредственном наблюдении* [27]. Поэтому интересно рассмотреть становление “теоретической биологии” – области знания, которая окончательно еще не сформировалась, но в ряду “теория вообще” – “теоретическая экология” все же находится ближе к последней.

Не ставя перед собой задачи подробно обсуждения всех сторон и особенностей теоретической биологии, приведем в хронологическом порядке ряд высказываний специалистов, которые отражают как трудности, так и известный прогресс в понимании этого сравнительно нового для биологии подхода к изучению явлений жизни.

**Ф. Энгельс**, 1885 г.<sup>3</sup>: “...естествознание благодаря выявлению существующих в самой природе связей между различными областями исследования (механикой, физикой, химией, биологией и т.д.) превратилось из эмпирической науки в теоретическую, становясь при обобщении полученных результатов системой материалистического познания природы”.

**Л. фон Бергаланфи** [28, с. 7]: “...теоретическая биология в первом аспекте есть теория познания и методология наук о жизни. Она устанавливает основные принципы познания в биологии и представляет собой ответвление общей логики и учения о знании. Второй аспект теоретической биологии есть

ее естественнонаучный аспект... теоретическая биология в этом смысле относится к экспериментальной физике”.

**Э.С. Бауэр** [29, с. 9]: “...Итак, мы приходим к выводу, что если мы живой организованной материи приписываем особые, свойственные только ей законы движения, т.е. говорим об особой науке – биологии – и в то же время хотим оставаться на почве материализма, то мы должны не только дать утвердительный ответ на наш вопрос, возможно ли найти такие общие законы, которые лежат в основе всех законов движения в отдельных, специальных областях биологии, или частным конкретным проявлением которых служат эти специальные закономерности физиологии, механики развития, генетики и т.д., но мы также должны сказать, что найти эти законы, произвести эти обобщения и применить их результаты в качестве ведущей теории в исследовании является насущной очередной задачей теоретической биологии”.

**Г. Морвиц** [30, с. 35]: “...по дидактическим соображениям современную теоретическую биологию можно разделить на три основные области: формальную теорию, физическую теорию и теорию систем”.

**Б.Л. Астауров** [31, с. 6]: “...говоря о “теоретической биологии”, в это выражение начинают вкладывать примерно тот же смысл, какой вкладывают, говоря о теоретической физике, разумея под задачами теоретической биологии познание самых фундаментальных и общих, но в то же время специфических свойств и законов, присущих той качественно особой форме движения материи, которую мы именуем жизнью”.

**К.Х. Уоддингтон** [32, с. 177]: “...мне не кажется *a priori* невозможным построение логической (или математической) теории, обладающей этими свойствами [динамичностью, многомерностью, упорядоченностью. – Г.Р.]. И, на мой взгляд, лишь такая теория заслуживала бы названия “теоретической биологии”.

**А.А. Ляпунов** [33, с.45]: “...вся теоретическая биология должна состоять, по нашему мнению, из двух частей: физико-химической, назначение которой состоит в том,

<sup>1</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Собр. соч. Т. 20. С. 511.

чтобы расшифровать физико-химическую природу элементарных актов жизнедеятельности на уровне макромолекул или клеточных органелл, и кибернетической, назначение которой состоит в том, чтобы понять функционирование биологических систем, отправляясь от их структуры и сведений о свойствах их элементов”.

**Б.Л. Астауров** [34, с. 62, 64]: “...но что же такое теоретическая биология? Мне думается, что это не что иное, как упорядочение и осмысление фактических знаний о жизни во всех ее проявлениях, позволяющее выразить наблюдаемые явления в виде возможно более общих и взаимосвязанных закономерностей или даже законов... Теоретическая биология, как я думаю, должна представлять собой неотъемлемую составную часть общей биологии, касающуюся понимания наиболее общих сторон жизни”.

**М.В. Волькенштейн** [35, с. 301]: “...это фундаментальное общее положение означает перекресток двух главных путей развития теоретической биологии: кибернетического и молекулярного... Все это ужасно сложно и трудно, и мы находимся лишь на начальном этапе построения теоретической биологии”.

В 1972 г. в журнале “Вопросы философии” (№ 3, с. 101-116) были опубликованы результаты “Круглого стола” по проблеме “Методологические аспекты и пути формирования теоретической биологии”. Ниже приводится ряд высказываний специалистов по вопросу определения “теоретической биологии” и ее основных задач.

**М.М. Камшилов** (с. 109): “...на вопрос: что является главным объектом теоретической биологии – я ответил бы так: теория эволюции органического мира как целого, или теория эволюции биосферы”.

**Н.П. Депенчук** (с. 112): “...некоторые считают, что возможно создание теоретической биологии на основе развития каждой из ее отраслей и установления связей между ними... А теоретическая биология будет строиться как синтез”.

**А.С. Мамзин** (с. 113): “...создание единой теоретической системы предполагает выделение из огромного многообразия эмпи-

рических и теоретических знаний наиболее существенных и основных, требует повышения степени обобщения и формализации биологического знания, что открывает дорогу его математизации”.

**С.М. Гершензон** (с. 103): “...в этом процессе теоретизации биологии главное значение будет иметь направляющее влияние математики и философии (включая логику), то есть наук, определяющих методологию построения научных теорий”.

**В.А. Геодакян** (с. 115): “...в современной биологии царит “культ фактов” и “чистый” теоретик выглядит белой вороной. На него смотрят в лучшем случае как на бездельника, а в худшем – как на жулика. Поэтому у нас большинство теоретических работ “внеплановые” и представляют нечто среднее между общественной работой и хобби, так как ими приходится заниматься лишь в свободное время. Отсюда и отношение к теоретической работе, как к чемодану без ручки: нести трудно, а бросить жалко”.

**Г.А. Югай** [36, с. 179]: “...одной из важнейших задач теоретической биологии является “включение” в себя частных теорий в биологии путем представления места и роли каждой из них в системе целостного абсолютного определения сущности жизни. Подобное “включение” не будет механическим суммированием, а диалектическим снятием”.

**В.А. Межжерин** [37, с. 101-102]: “...под теоретической биологией, очевидно, следует понимать систему основных идей, отражающих закономерности процессов, структуры, организации и уровней организации биологических систем. Таким образом, объектом теоретической биологии является биологическая система”.

**Б.А. Старостин** [38, с. 126-127, 130]: “...в биологии системность объектов есть именно то, что обуславливает возможность их теоретического рассмотрения, и поэтому мы вполне правомерно можем отождествить теоретическую биологию со сферой системного подхода в биологии... Для теоретической (“высшей”) биологии системный подход есть единственно мыслимый подход к объекту”.

**В.А. Ратнер** [39, с. 794]: “...теоретической биологией следует назвать ту часть биологии, которая содержит понятия, концепции, критерии, количественные проблемы биологии, а методами которой являются доказательство, логические, математические или вычислительные методы рассуждений или счета”.

**В.Г. Борзенков, А.С. Северцев** [40, с.31]: “...три основных аспекта жизнедеятельности (физико-химический, исторический и системный) столь важны и столь неотделимы от самых первых живых организмов, известных нам, что трудно представить возможность элиминации какого-либо из них в системе теоретических представлений, претендующих на полноту. Каково же отношение между ними в рамках единой системы понятий, которую бы мы могли назвать “теоретической биологией”? Это и есть центральная проблема”.

**П.М. Брусиловский** [41, с. 22]: “...теоретическая биология формирует множество целостных характеристик и устанавливает отображение между ними и множеством биосистем”.

Эти цитаты за последние 120 лет, естественно, не исчерпывают всего многообразия представлений о “теоретической биологии”, однако они могут служить в качестве достаточно репрезентативной выборки для составления некоторой обобщенной картины. Прежде всего необходимо отметить тенденцию к увеличению влияния системного подхода на процесс построения теоретической биологии и, соответственно, уменьшению физико-химической “составляющей”. Говоря точнее, происходит разделение сфер преимущественного влияния того или иного подхода (см. высказывания Г. Морвица, А.А. Ляпунова, М.В. Волькенштейна, В.Г. Борзенкова и А.С. Северцева). Второй особенностью становления теоретической биологии является направленность на математизацию биологического знания (см. высказывания К.Х. Уоддингтона, С.М. Гершензона, В.А. Ратнера). Однако это не просто перенесение методов математики (кибернетики, системного анализа) в сферу биологии – это перенос особого образа мышления и одна из форм

воздействия естествознания на современную биологию как ее часть. Для целей построения теоретической экологии интересной следует признать точку зрения Н.П. Депенчук и Г.А. Югая о возможности построения “частных” теорий с их последующим синтезом в общую теоретическую биологию (здесь опять возникает вопрос о соотношении физико-химического и системного подходов для построения теории в зависимости от уровня биологической иерархии, к которому принадлежит исследуемый класс биологических систем). Наконец, важными для дальнейшего изложения являются представления В.А. Межжерина и П.М. Брусиловского, задающие основной объект теоретической биологии (биосистему) и необходимость исследования множества целостных характеристик этих биосистем.

Учитывая экспериментальный (эмпирический) характер получаемой о биологических объектах информации, теоретическая биология должна квалифицироваться как гипотетико-дедуктивная наука: в отличие от строго дедуктивной математики, биологическая аксиоматика носит эмпирический (“фактуальный”) характер – она опирается не только на абстрактные объекты, но и на данные экспериментов. И здесь возникает еще одна сложная проблема: *соотнесение гипотетического и эмпирического базисов теории*.

Проведенный анализ методологической литературы по теоретической биологии позволил увидеть и крайние точки зрения на эту проблему – характерным примером могут служить и названия статей В.В. Налимова [27] “Теоретическая биология? Ее все еще нет...” и А.А. Малиновского [42] “Теоретическая биология? Она создается сегодня”, опубликованных в течение одного года журналом “Знание – сила”, и собственно отсутствие самой “теоретической биологии”, и различные рекомендации по созданию такой теории (от пожелания “Теория должна быть хорошей...” до указания создавать ее по образу и подобию, например, теоретической физики), и отсутствие конструктивности в большинстве из этих рекомендаций, и... И все-таки, этот анализ позволяет набраться храбрости и пред-

ложить следующее (составленное наподобие пейзажа из басни С. Михалкова “Слон-живописец”) определение.

**Теоретическая биология в естественнонаучном аспекте – раздел общей биологии, изучающий идеализированные (в известной степени абстрактные) биологические системы различных уровней биологической иерархии, связанные с ними понятия, концепции, целостные характеристики, законы. В зависимости от принадлежности биологических объектов тому или иному уровню иерархии методами теоретической биологии выступают методы физико-химического и (или) системного подхода с математической формализацией получаемых закономерностей. Структура теоретической биологии представляется составленной из “частных” теорий по отдельным областям биологического знания так или иначе (например, иерархически или нет) связанными в общую систему. Задачей теоретической биологии можно определить нахождение специфических законов структурно-функциональной организации биологических систем различных уровней биологической иерархии и изменения их целостных характеристик в процессе развития с целью объяснения наблюдаемых в природе феноменов.**

Прежде чем перейти к обсуждению некоторых конкретных способов построения теории в фитоценологии, отметим, что в предыдущих публикациях автора были рассмотрены система концепций современной экологии [23, 43, 44], эвристики современной фитоценологии [45, 46] и основные функции теоретического знания (применительно к математическим моделям фитоценологических объектов, как к одной из составляющих теории, такой анализ частично был проведен ранее [25, 47]).

### **Аксиоматический подход**

Любая теория развивается из потребностей практики (понимаемой, естественно, в широком, а не утилитарном смысле). Это относится не только к общей биологии (и, в

частности, экологии), но и к традиционно “строгой” и абстрактной математике. На примере становления ряда математических дисциплин и проследим особенности аксиоматического подхода к построению теории [48].

Математические дисциплины в начале своего пути шли от конкретных, практических задач: арифметика – от хозяйственных и коммерческих расчетов, геометрия – от задач землемерия, теория вероятностей – от азартных игр. Так, до конца XIX века теория вероятностей представляла собой еще не сложившуюся математическую дисциплину с недостаточно четко сформулированными фундаментальными понятиями (то, чем сейчас является экология). Эта “не строгость” вероятностной науки вызывала многочисленные дискуссии и нередко приводила к парадоксальным выводам [49]. Роль теории вероятностей и интерес к ней стали возрастать в начале нашего столетия, когда успехи современного естествознания (физики, биологии и др.) привели к необходимости признать важность и фундаментальность этой области знания и, в свою очередь, заставили искать формально-логическое обоснование теории вероятностей, осуществлять ее аксиоматическое построение.

В современной математике *аксиомами принято называть утверждения (или определения фундаментальных понятий), которые принимаются за истинные и в пределах данной теории не доказываются.* Все остальные положения теории должны выводиться чисто логическим путем из этих аксиом. Аксиомы не берутся “с потолка”, они формулируются в результате длительного накопления фактов, их анализа и отбора основных из них. В.И. Ленин<sup>4</sup> подчеркивал, что “...практическая деятельность человека миллиарды раз должна была приводить сознание человека к повторению разных логических фигур, дабы эти фигуры могли получить значение аксиом”. Именно так обстояло дело с аксиомами элементарной геометрии, впервые изложенными в “Началах” Евклида около 300 г. до н.э., и с аксиомами теории вероятнос-

<sup>4</sup> Ленин В.И. Полн. собр. соч. 1963. Т. 29. С. 172.

тей, которые сформулировал в 1936 г. А.Н. Колмогоров.

Заметим, что как и в геометрии (назовем общеизвестные работы Н.И. Лобачевского, Б. Римана), так и в теории вероятностей это была не единственная аксиоматическая теория (в частности, впервые задача аксиоматического построения теории вероятностей была решена С.Н. Бернштейном в 1917 г., а несколько позже Р. Мизесом была предложена другая система аксиом). Все это свидетельствует и о том, что аксиомы не есть нечто неизменное в данной науке, и о сугубо дедуктивном характере создаваемых на их основе теорий. Естественно, что дедуктивный подход в значительной степени ограничивает произвол при принятии научных суждений в качестве некоторых истин данной теории. С другой стороны, этот подход подразумевает хорошую и полную изученность законов взаимодействия элементов системы, что бывает трудно достичь для сложных (в системологическом смысле) объектов. Таким образом, аксиоматический подход в его “чистом” виде служит лишь для оформления уже готовых теорий.

Самым удивительным в аксиоматическом подходе является тот факт, что при всей его строгости и, казалось бы, однозначности он оставляет широкое поле деятельности для совершенствования теории. Это связано с двумя его особенностями. Во-первых, аксиоматическая теория, как правило, содержит основные принципы двух родов – в виде аксиом и в виде интуитивных представлений (можно говорить о “евклидовой интуиции”, которая делает элементарную геометрию вполне определенной, хотя в аксиомах Евклида заложены далеко не все предпосылки строго формальных геометрических рассуждений). В процессе развития аксиоматической теории происходит “перевод” интуитивных представлений в аксиоматические. Например, различные свойства понятия “точка А лежит на прямой между В и С” используются у Евклида без всякого обоснования и только в XIX веке М. Паш ввел “аксиомы порядка”, формализующие это понятие [50, 51]. Аналогичный процесс происходил и в ходе

становления теории вероятности, когда с развитием представлений о стохастичности окружающего нас мира наряду с понятием “вероятности случайного события” потребовалось аксиоматическое введение понятий “случайной величины”, “функции распределения”, “случайного процесса” и пр. При этом в рамках аксиоматического подхода возможно построение сугубо формальной теории без интуитивных представлений, что позволяет проанализировать саму систему основных принципов теории. И здесь возникает вторая особенность: в соответствии с теоремой о неполноте К. Гёделя, которая впервые была доложена 23 октября 1930 г. на заседании одной из секций Венской академии наук, всякая фундаментальная теория либо противоречива, либо недостаточна для решения всех возникающих в ней проблем. Таким образом, несовершенство любой аксиоматической теории должно устраняться путем уточнения ее аксиом или ввода новых – этот процесс безграничен и в этом состоит диалектизм построений Гёделя [51].

Еще одной отличительной чертой аксиоматического подхода к построению теории является то, что сфера его применения ограничивается теми науками, в которых понятия имеют определенную стабильность, а эффективность проявляется лишь тогда, когда анализируются взаимоотношения между этими понятиями [50]; в других ситуациях значительно большее значение имеют эксперименты и наблюдения, а на долю логических рассуждений уже приходится второстепенная роль. Именно с этим связаны успехи аксиоматического подхода в математике (элементарная геометрия, теория вероятностей, теория множеств и пр.) и теоретической физике (механика, термодинамика и пр.) и относительные неудачи в других областях знания – в биологических науках автору известно лишь несколько попыток аксиоматизации<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Подчеркнем, что здесь речь идет именно об аксиоматическом подходе к построению теории. Например, в работах Н.Ф. Реймерса [55,56] впервые были собраны воедино 12 фундаментальных «законов-теорем» экологии, но они не объединены общим аксиоматическим подходом; то же можно сказать и про более позднюю работу Н.Ф. Реймерса [57].

Первой была работа Дж. Вуджера [52], в которой в качестве аксиом рассматривалось большое число общебиологических представлений и демонстрировалось их соответствие различным вербальным биологическим теориям, Ю.В. Петров [53] построил аксиоматическую теорию эволюционной морфологии, венгерский геоботаник П. Юхач-Наги [6-8] предложил аксиоматическую теорию фитоценологии и, наконец, Б.М. Медниковым [54] предложены четыре аксиомы для объяснения всех феноменов живой природы.

Итак, аксиоматический метод состоит в том, что в его базис кладутся основные понятия, некоторые положения (аксиомы) и задаются правила логического вывода из этих основных положений всех остальных в данной области знания (теоремы). Чрезвычайно важным является выбор самых элементарных из основных положений (так, в теории вероятностей по А.Н. Колмогорову первичным является не просто понятие “события”, а понятие “элементарного события”). Следовательно, этапами при построении аксиоматической теории в экологии должны быть выбор элементарных понятий (экосистема? ценовая ячейка? синузия?) и формулировка аксиом и задание определенных правил умозаключений по отношению к аксиомам и выведенным из них положениям. Легко заметить, что на сегодняшнем уровне развития экологической науки уже первый этап (“жесткая” фиксация содержания понятий) оказывается чрезвычайно сложным в силу недостаточной разработанности и формализации понятийного аппарата экологии. Следовательно, приходится с сожалением констатировать, что построение аксиоматической теории в экологии пока неосуществимо.

### **Содержательный (физический) подход**

Успехи физики XX века повлекли не только проникновение в биологию физико-химических методов исследования объектов различных уровней биологической иерархии, но и определенное “навязывание” физического “образа мышления” при постановке и решении различных биологических задач. Ес-

тественно, что этот процесс оказал существенное влияние и на теоретическую биологию, которую со времен выхода в свет в 1943 г. работы Э. Шредингера “Что такое жизнь? С точки зрения физика” до признания в начале 70-х годов равноправным системного подхода, пытались строить по образу и подобию теоретической физики. Многочисленные исследования в этом направлении наложили серьезный отпечаток на современную биологию, что заставляет рассмотреть “физический подход” к построению теории более внимательно.

В основе изучения физических закономерностей объектов реального мира лежит, так называемый, *научный метод* – наблюдение, размышление и опыт, создателем которого считается Галилео Галилей (1564-1642 гг.). Основным отличием этого подхода от других методов (например, обращения к “авторитету” или аксиоматического подхода) является непосредственная связь с опытом и наличие эмпирических компонентов (связанных с фактологией, экспериментом) в фундаменте теории. **Физические понятия наделены физическим смыслом**, это не просто абстрактные символы и математические величины. В отличие от математических (аксиоматических) теорий, физические именно в опыте черпают свое содержание и сверяют с ним свои выводы.

Второй особенностью физического подхода является анализ простых свойств исследуемых систем, “...физик вынужден сильнее ограничивать свой предмет, довольствуясь изображением наиболее простых, доступных нашему опыту явлений, тогда как все сложные явления не могут быть воссозданы человеческим умом с той точностью и последовательностью, которые необходимы физику-теоретику. Высшая аккуратность, ясность и уверенность – за счет полноты” [58, с. 9]. Простые свойства (как простых, так и сложных систем) имеют, практически, независимые качества. Это привело к тому, что простые портретные модели этих отдельных простых свойств оказались настолько им адекватными, что позволило рассматривать их как простые законы природы [59, с. 20].



Наконец, еще одной отличительной чертой физического подхода стала “математизация” физики. Этот процесс оказался, в известной степени, взаимным: для решения ряда физических задач существующей математики оказалось недостаточно и это индуцировало ее дальнейший прогресс (так, И. Ньютон создал дифференциальное и интегральное исчисления для вывода законов классической механики, Ж. Фурье, исследуя процесс остывания Земли, заложил основы теории представления периодической функции в виде ряда и пр.). При этом необходимо подчеркнуть часто возникающие несоответствие между глубиной физической теории и степенью сложности ее математического описания. Так, математический аппарат специальной теории относительности предельно прост, тогда как физические идеи и представления этой теории весьма глубоки и сложны – простой аппарат способствует объяснению сложных физических феноменов. С другой стороны, решение некоторой конкретной технической задачи, которая сама по себе мало что вносит в физическую картину мира, зачастую оказывается математически очень сложным; в этой ситуации, фактически, выполняется прогностическая функция теории. По Б.С. Флейшману [59, с. 22] “...грубая модель более сложной системы может оказаться проще более точной модели более простой системы. Это вселяет оптимизм при исследовании сложных систем”. Иными словами, как в физике, так и в системологии для создания объяснительных теорий возможно построение достаточно простых моделей.

И.А. Акчурин [60] выделяет три этапа воздействия математики на другие науки: статистическая обработка эмпирических данных (для сравнения укажем, что в фитоценологии этот этап, в основном, был завершен в 60-70-х годах нашего столетия [61, 62 и др.], а в гидроэкологии – в наше время [63, 64]), модельный этап (в современной физике – различные модельные построения физики элементарных частиц; в экологии этот этап продолжает развиваться [25, 65, 66 и др.]) и собственно “полное” построение математической теории изучаемого класса объектов (образца-

ми таких теорий в физике являются классическая и квантовая механики и ряд других теорий; в экологии такая теория отсутствует). Естественно, что подобное подразделение несколько условно: эмпирические факты присутствуют и в “полной” теории, которая в свою очередь индуцирует необходимость проведения новых наблюдений и получения новых экспериментальных данных. Наиболее подробно становление математической биологии и возникающие при этом задачи рассмотрены в брошюре П.М. Брусиловского [41], а различие физикализма и системологии как методологий построения теоретической экологии – в книге [67, с. 38-51].

Для содержательного (физического) подхода в экологии ключевыми понятиями являются “популяция”, “ресурс”, “конкуренция за ресурсы между видами”. Эти понятия имеют множество, часто не синонимичных, определений. В основе этого подхода лежат уравнения Лотки-Вольтерра и принцип конкурентного исключения Гаузе (в наиболее общей форме – на  $n$  различных ресурсах может устойчиво сосуществовать не более  $n$  различных видов; в противном случае возникает конкуренция за ресурсы, которая, путем конкурентного исключения, приводит к стабильному состоянию). Уравнения Лотки-Вольтерра представляют собой систему двух дифференциальных уравнений, описывающих динамику численности взаимодействующих популяций. Модифицируя их различным образом, можно описать динамику как изолированной популяции, так и любых (классических) взаимодействий между популяциями разных видов [68]. Исходно, это детерминистические модели, хотя их и можно превратить в стохастические без изменения сути.

Постулируется, что в “реальном мире” виды организмов образуют сообщества (биоценозы), которые вместе со своей абиотической средой образуют биогеоценозы или (в более общем случае) экосистемы, рассматриваемые в рамках системного подхода. Сообщества характеризуются внутренней структурой, которая есть следствие межвидовых взаимодействий. Взаимодействия

классифицируются по их эффекту для видов-участников (т.е. по тому, повышается или понижается плотность популяции взаимодействующего вида вследствие взаимодействия): +/+, +/0, +/- и т.д. Причем, в рамках классической экологии реально рассматриваются лишь два основных взаимодействия – конкуренция (- / -), действующая между видами одного трофического уровня и создающая “горизонтальную” структуру сообществ, и хищничество (+ / -) между видами разных трофических уровней, создающее “вертикальную” структуру.

Соответственно, для описания роли вида в “горизонтально” организованном сообществе служит концепция экологической ниши и нишевой структуры, а для описания “вертикальной” организации – представления о пищевых сетях (цепях). Как ниша (и ее свойства), так и пищевая сеть могут быть описаны моделями Лотки-Вольтерра. При этом, по самому определению “экологической ниши” как гиперобъема в многомерном пространстве факторов и ресурсов, реальные виды заменяются на некоторые абстрактные “сущности” и “реальное” пространство – на некое  $n$ -мерное гиперпространство, в котором эти “сущности живут” уже как бы сами по себе. В конечном счете, из уравнений Лотки-Вольтерра вырастают и представления о жизненной (эколого-ценотической) стратегии вида (концепция устойчивости популяций) – все виды делятся на несколько групп по типу динамики популяции и использования ресурсов (среды) [69]. Эти представления – пожалуй, самое последнее (по времени) приобретение содержательного подхода в экологии.

В соответствии с общим духом и математико-теоретическими посылками физического подхода в экологии, сообщества стремятся к стабильности или хотя бы стационарности (знакомый штамп “экологическое равновесие” – как раз отсюда). В тех случаях, когда внешнее воздействие выводит их из этого состояния (включая полное уничтожение), происходит процесс сукцессии – формирования нового сообщества, часто через ряд весьма отличных от конечной переходных стадий. Один полюс – положение, что при неизмен-

ных условиях среды сукцессия протекает одинаково сколько угодно раз, она полностью детерминированный, закономерный процесс, строго определенным образом гетерогенный во времени. Другой полюс – временной континуум случайно сменяющих друг друга видов. Как и в случае пространственного распределения, физическому подходу в экологии ближе (и исторически старше в качестве парадигмы) первый взгляд. Стохастические представления уже не вполне отвечают ему и не имеют особенно значительного распространения.

Таким образом, для “научного метода физикализма” характерно сведение изучаемого целого к изучению его отдельных частей, отсутствие категории цели в объяснении явлений физического мира и синтез гипотезы с экспериментом [67]. Эти “три кита” позволяют с единой точки зрения рассмотреть структуру физических теорий и увидеть во многом сходный их “костяк”. В наиболее полном варианте такой анализ проведен И.В. Кузнецовым [70, 71], применительно к задачам инженерии – В.А. Виттихом [72], путям построения теоретической биологии – С.В. Мейеном [73].

В структуре физической теории выделяются три главные части: “основание” теории, ее “ядро” и “вершину”. Каждая из этих частей охватывает определенную группу элементов (естественно, что выделение этих элементов, в известной мере, нечетко, однако каждый из них выполняет свою специфическую роль в общей структуре теории).

“*Основание*” теории включает пять элементов. В соответствии с главными принципами физикализма теория основывается на анализе экспериментальных данных и поэтому, естественно, первым элементом ее структуры является *первоначальный эмпирический базис*. К нему относятся те наблюдаемые факты, которые не только требуют создания теории для их объяснения, но и создают реальную возможность ее построения. Примером первоначального эмпирического базиса могут служить опыты Галилея по свободному падению предметов разного веса, которые являются “краеугольным камнем” классичес-

кой механики.

Следующим элементом “основания” теории называют *идеализированный объект* [74], наделенный небольшим числом весьма общих свойств и простой структурой, который “функционирует” в специфическом идеализированном пространстве. В классической механике таким объектом является материальная точка, а “пространством” состояний ее движения – шестимерное фазовое пространство, представляющее собой “произведение” трехмерного евклидова пространства координат точки на трехмерное пространство ее скоростей [60]. Интересно, что в физике почти полностью отождествляются теоретический и математический объекты (например, волновая функция и ее математические свойства [75]). Выбор идеализированного объекта – труднейшая теоретическая проблема, имеющая решающее значение для построения физической теории (вспомним четырехмерное “пространство–время” для специальной теории относительности).

Выбор идеализированного объекта индуцирует введение целой *системы фундаментальных понятий (физических величин)*, специфических для каждой теории. В классической механике такими величинами являются сила, вес, масса, тяготение, скорость движения и др. Каждая физическая величина характеризует какое-либо свойство идеализированного объекта. Вся совокупность физических величин теории подразделяется на два класса – “наблюдаемые” (например, вес объекта) и “ненаблюдаемые”, которые не могут быть непосредственно измерены на опыте (например, ускорение движения). Это разделение физических величин приводит к еще двум элементам “основания” теории: *процедурам измерения* [76] и *правилам действия над физическими величинами*. Оба эти элемента задают процедуры или правила сопоставления физических величин с тем или иным и численным значением. Отметим, что правила действия над физическими величинами (иными словами, математизация физики) опираются на тот или иной математический аппарат (классическая механика потребовала введения дифференциального и интег-

рального исчисления), что должно рассматриваться как своеобразный “язык” теории [37, 75].

Главнейшим структурным элементом **“ядра” физических теорий** является *система законов* – уравнений, задающих связь и характер изменения физических величин в пространстве и во времени. Каждая физическая теория опирается на характерную именно для нее систему уравнений: классическая механика – на законы Ньютона, электродинамика – на уравнения Максвелла, теория относительности – на уравнения Эйнштейна. Логическая завершенность системы законов свидетельствует о высокой степени разработанности теории (о широком охвате наиболее существенных сторон определенного специфического фрагмента действительности). В качестве особых элементов “ядра” теорий в физике И.В. Кузнецов [71] выделяет *законы сохранения, принципы симметрии и законы связи новых и старых теорий*. Кроме того, особо подчеркивается наличие *мировых постоянных* (характеристических параметров), считающихся центральными пунктами физических теорий. К ним относятся скорость света, постоянная Планка, электрический заряд электрона и др. Так, введение скорости света в уравнения движения ознаменовало переход от классической механики Ньютона к теории относительности Эйнштейна.

**“Вершина” теории** состоит из двух основных структурных элементов – *объяснение совокупности известных эмпирических фактов* и *предсказание новых явлений*. Именно через последний элемент и происходит “замыкание” структуры теории – предсказанные явления изучаются и поставляют новую эмпирическую информацию, которая обрабатывается с позиций теории и включается в ее эмпирический базис, создавая расширенный эмпирический базис. Подтвержденные предсказания служат упрочению “основания” теории, а новые факты, которые не укладываются в ее рамки, могут стать первичным эмпирическим базисом новой, более совершенной теории.

Наконец, последним элементом структу-

ры физических теорий, находящимся несколько “в стороне” от целостного здания теории, И.В. Кузнецов определяет **общую интерпретацию основного содержания теории**. В нем дается философское истолкование основных понятий и законов теории, ее исходных идей и достигнутых результатов, предпринимаются попытки осмыслить и наметить границы применимости. Этот элемент не оказывает влияния на саму теорию, но имеет важное значение для уяснения ее сущности, характера связи с другими теориями и с объективной реальностью.

Подводя итог рассмотрения физического подхода к построению теории, выделим наиболее важные моменты, которые следует использовать при построении теории в экологии. Прежде всего отметим, что для экосистем, как объектов сложной природы, нельзя использовать “научный метод физикализма”, но можно взять за основу структуру физических теорий, “нагружая”, естественно, каждый элемент новым содержанием. Главным образом это будет касаться “ядра” теории (системы законов) и ее “языка” (математического описания этих законов).

### **Системный подход**

Ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что экологические системы относятся к объектам сложной природы (см., например, [77-81]). Именно этим и объясняются различия в методологиях изучения физических и биологических систем. Как было показано выше, физика направлена на изучение (пусть даже очень сложными методами) *простых явлений*, в то время как биология пытается сравнительно простыми методами исследовать сложнейшие объекты материального мира. При этом, в отличие от “приоритета” аддитивных энергетических взаимодействий в физике, в биологии на первый план выступают структурно-функциональные особенности организации биосистем, что и привело к неудаче “неадаптированного” физического подхода при построении “всего здания” теоретической биологии – “...физиков в биологии интересует то, что менее всего интересует в ней биологов” [37, с. 100]. Таким обра-

зом, для теоретической физики системность объектов – это нечто случайное, без чего она может благополучно обойтись, в то время как для теоретической биологии, по-видимому, это единственный путь развития [38].

Системный подход в экологии (в отличие от физического) не интересуется взаимодействиями видов [79-81]. Он рассматривает в качестве элементарных объектов целые экосистемы и их функциональные блоки, не затрагивая их внутреннюю структуру. Представления этого подхода во многом заимствованы из кибернетики, теории систем и некоторых разделов термодинамики. Экологический мир при этом представляется состоящим из отдельных – дискретных и целостных – экосистем [46], которые, в свою очередь, образованы несколькими структурно-функциональными блоками. Так же, как и при содержательном (физическом) подходе, экосистемы сами по себе стабильны или стационарны. В этом состоянии для них характерны некоторые постоянные соотношения между блоками, выражаемые, например, в виде пирамид энергии или биомассы. Блоки связаны между собой потоками энергии и информации, образуют трофические цепи, понимаемые при системном подходе несколько иначе, чем при физическом. Сукцессия экосистем представляет собой процесс их самоорганизации.

“Три кита” физикализма в системологии приобретают полностью противоположное содержание. *Прежде всего* объекты исследования требуют целостного изучения (отказ от редукционизма), что связано с наличием у сложных систем таких свойств, которые не выводятся из знания их для отдельных элементов системы (существенная неаддитивность этих свойств). Например, можно экспериментально определить устойчивость к некоторому загрязнителю растений каждого вида, входящего в интересующее нас растительное сообщество, но это знание не позволит определить устойчивость к загрязнению самого сообщества.

*Второй принцип* – экспериментальность – также получает другое звучание. В природе легко указать объекты, которые являются

уникальными (например, Самарская Лука или оз. Байкал) или очень протяженными и неоднородными по своей внутренней структуре (например, биом тайги); в этой ситуации естественнонаучное понятие “эксперимент” расширяется за счет экспериментирования на ЭВМ с моделями тех или иных природных объектов [59]. Более того, “перенос” приобретенного в этом случае знания на сходные объекты возможен лишь на качественном уровне. Так, американские экологи под руководством Г. Вудвелла [82] в течение многих лет экспериментально изучали влияние источника гамма-излучения с радиусом действия около 150 метров на изменение растительности дубово-соснового леса в Брукхейвенской национальной лаборатории на о. Лонг-Айленд. Они установили, что наиболее устойчивы к радиоактивному излучению – почвенные водоросли, мхи, лишайники, далее следуют осоки, вереск, дуб и самой слабой оказывается сосна (анализ показал, что в целом устойчивость обратно скоррелирована с размером хромосом). Этот очень интересный вывод нельзя применить, например, к тропическому лесу хотя бы по той простой причине, что там сосна не растет... Таким образом, данное экспериментальное (в физикальском смысле) исследование представляет несомненную ценность с методической точки зрения, но не может помочь (имеется ввиду, прежде всего, количественный прогноз) в изучении аналогичных изменений не только в тропиках, но и в самом Брукхейвенском лесу в целом, так как экспериментом была охвачена лишь его незначительная часть (около семи гектаров).

*Наконец*, системология “восстановила” в правах категорию цели, а Б.С. Флейшман [59, с. 27] даже предложил понятие “объективной телеологии” с экспериментальным определением цели биосистем. Так, в классификации необратимых изменений растительности В.Н. Сукачева [83] с некоторыми дополнениями [84] можно считать, что автогенные сукцессии (как сингенез, так и эндоэкогенез) направлены на стабилизацию продуктивности (стратегическая цель растительного сообщества), которая может достигать-

ся различными способами (например, за счет компенсаторной функции видов, когда один вид без “ущерба” для сообщества заменяется другим – тактическая цель). Р. Уиттекер [85] указывает ряд особенностей, характерных для эндоэкогенетических сукцессий – прогрессивное развитие почв, увеличение высоты, биомассы и ярусного расчленения растительных сообществ, возрастание запаса элементов минерального питания в почве и растениях, возрастание продукции, увеличивающийся “контроль” микроклимата со стороны самого фитоценоза, увеличение видового разнообразия, континуумообразный характер смены видовых популяций по оси времени от небольших по размерам и недолговечных растений к более крупным и более долговечным и, наконец, возрастание относительной устойчивости сообществ. Все эти процессы могут рассматриваться как “движение” сообщества к некоторой цели, например, к климаксовому состоянию. Как было показано С.С. Шварцем [86] стратегия жизни сводится к самоулучшению условий своего существования; тактически эта задача решается путем реализации “себе на пользу” всех внешних воздействий.

Новая системная методология заставляет с иных позиций подходить и к выбору системных параметров исследуемых сложных объектов, и к формированию связывающих их законов. Различия между *простыми* и *сложными* (системными) *свойствами сложных объектов* уже обсуждались ранее (пожалуй, основной параметр различия – аддитивность свойств; наиболее подробно см. [23]). П.М. Брусиловский [41] представляет биологическое знание в виде упорядоченного набора четырех основных элементов: множества биосистем, множества их целостных (сложных) характеристик, различных отображений между этими двумя множествами и множества отношений между отдельными биосистемами из первого множества. Для экологии множеством биосистем будет множество различных экологических объектов (биомы, экосистемы, синузиды, ценозоны и пр.). Законы теоретической экологии должны быть направлены на вскрытие именно от-

ношений между экосистемами и их целостными характеристиками – какие экосистемы обладают теми или иными целостными характеристиками и какие целостные характеристики присущи экологическим объектам. Например, растительное сообщество может характеризоваться такими целостными параметрами как устойчивость, сложность, живучесть, а такая характеристика как замкнутость – присуща фитоценозу и отсутствует у пионерной группировки. Наконец, множество отношений между экологическими объектами определяет многообразие явлений и процессов (например, непрерывный характер изменений растительности в пространстве и во времени). Теоретическая экология, таким образом, должна дать “полный список” экосистем, их целостных характеристик, и задать формализованные отношения как между этими двумя множествами, так и между объектами первого из них. Естественно, что такая задача (составление “полного списка”) чрезвычайно сложна для одного автора и потому настоящая работа является, как указано в названии, лишь конспектом теоретической экологии.

*Физикализм* исследует простые свойства простых и сложных систем, то есть практически независимые свойства. Модели отношений между физическими объектами и их простыми свойствами формулируются на основе экспериментов и рассматриваются как *простые законы природы*. Иными словами, законы являются постулатами, установленными на основе проведенных ранее экспериментов для объяснения и прогнозирования будущих [59]; можно говорить об индуктивном способе построения физической теории (индукция – это метод рассуждения, ведущий от частного к общему). Уязвимость такого способа формирования законов состоит в том, что достаточно одного эксперимента, “не укладывающегося” в рамки предложенного закона, чтобы опровергнуть его.

*Системология* для построения *теории сложных систем* использует другой логический подход – дедукцию (движение от общего к частному). Б.С. Флейшман [59] предложил три основных принципа системологии, с по-

мощью которых можно строить законы, и указал конструктивный путь их построения через создание моделей потенциальной эффективности сложных систем. В соответствии с *первым принципом* (формирования законов) постулируются осуществимые модели (т.е. задается дедуктивный характер построения теории), из которых в виде теорем выводятся законы сложных систем. *Второй принцип* (рекуррентного объяснения) задает вывод свойств систем данного уровня, исходя из постулируемых свойств элементов – систем непосредственно нижестоящего уровня и связей между ними. Этот принцип хорошо проиллюстрирован Б.Н. Нориным [20, с. 1165] на примере “иерархической лестницы” фитоценологических систем. Так, свойства фитоценоза должны выводиться из постулируемых свойств и связей составляющих его популяций растений, свойства популяций – из свойств и связей особей и т.д. *Третий принцип* (минимаксного построения моделей) указывает, что теория должна состоять из простых моделей систем, каждая из которых хотя бы в минимальной (*min*) степени отражает нарастающий (*max*) уровень сложности поведения систем. Иными словами, рекомендуется строить простые модели сложных систем, структура и поведение которых оптимальны в некотором смысле. Эти модели будут выполнять роль законов потенциальной эффективности поведения сложных систем. Знание предельных законов имеет и непосредственный практический интерес, так как избавляет исследователя от бесплодных усилий типа поиска *perpetuum mobile* и более реально задает возможную область существования изучаемой системы.

*Теория потенциальной эффективности сложных систем* последовательно разрабатывается Б.С. Флейшманом [59, 87], основополагающие результаты которого и рекомендуется использовать при построении законов теоретической экологии [67, 88, 89]. Ниже укажем лишь общую форму предельного закона потенциальной эффективности, которая в различных ситуациях “нагружается” разным экологическим содержанием.

Взаимодействие системы *A* со средой

$V$  можно представить как серию обменов некоторого количества расходуемых ресурсов  $U$  на некоторое количество потребляемых ресурсов  $V$ ; такой обмен называется  $(U;V)$ -обменом (примером может служить увеличение фитомассы растительного сообщества  $V$  при внесении минеральных удобрений  $U$ ). Таким образом, система  $A$  характеризуется параметрами  $U$  и  $V$  и ее целью  $A_0$  можно считать наиболее выгодный  $(U;V)$ -обмен, т.е. система стремится получить больше, отдавая при этом меньше (для каждого фиксированного  $U$  система путем изменения своей структуры и поведения стремится максимизировать  $V$ ). При стохастическом подходе к моделированию сложных систем целесообразно говорить о некоторой вероятности  $P(U;V)$  достижения системой  $A$  своей цели  $A_0$ .

Замечательным фактом теории потенциальной эффективности сложных систем при их стохастическом описании является возможность выражения этой теории в *единой форме* через вероятность  $P(U;V)$ : при достаточно больших значениях  $U$  и соответствующих им больших значениях  $V$  вероятность выгодного  $(U;V)$ -обмена имеет следующее асимптотическое поведение:

$$\begin{aligned} P(U;V) &\Rightarrow 0, \text{ при } V > V_0, \\ P(U;V) &\Rightarrow 1, \text{ при } V < V_0, \end{aligned}$$

где  $V_0$  – количество ресурса, получаемого оптимальной по данному качеству системой  $A_0$ . Таким образом, системе не выгодно получение величины ресурса  $V > V_0$  (жадность до добра не доводит...). Строгое доказательство этих соотношений приводится Б.С. Флейшманом [86, с. 202-210]. Отметим также, что некоторые примеры построения потенциально-эффективных моделей фитоценологических систем обсуждались ранее [25, с. 226-233].

Завершая рассмотрение системного подхода к построению естественнонаучных теорий следует отметить его “акцент” на изучение целостных характеристик сложных систем, конструктивная форма закономерностей для которых задается моделями потенциаль-

ной эффективности.

### Заключение

К каким выводам позволяет прийти выполненное рассмотрение трех основных методологических подходов (аксиоматического, физического и системного) к построению теоретической экологии? Думается, что структура теоретической экологии должна содержать все элементы структуры физических теорий (“основание”, “ядро”, “вершина”, “интерпретация”), однако “ядро” этой теории (в первую очередь, система законов) должно быть построено в рамках системного подхода на основе единообразных моделей потенциальной эффективности целостных характеристик сложных экосистем. Рассматривая с этих позиций дискуссию о фундаментальных понятиях и выборе идеализированного объекта экологии (например, “сообщество”, “экосистема”, “биогеоценоз” и пр.), следует подчеркнуть тот важный факт (который дискутирующие стороны зачастую не принимают во внимание), что и фундаментальные понятия, и идеализированные объекты представляют интерес не сами по себе, а лишь в методологических рамках всей теории, т.е. их выбор в значительной степени должен диктоваться общей структурой теоретического построения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М.: Мир, 1964.
2. Шенников А.П. Теоретическая геоботаника за 20 лет // Сов. ботаника. 1937. № 5.
3. Лавренко Е.М. Теоретические задачи советской геоботаники // Сов. ботаника. 1944. № 4-5.
4. Сукачев В.Н. О некоторых текущих вопросах теоретической фитоценологии (Доклад в изложении А.В. Калининой) // Сов. ботаника. 1945. № 2.
5. Ниценко А.А. О некоторых спорных вопросах теории геоботаники // Ботан. журн. 1963. Т. 48. № 4.
6. Juhasz-Nagy P. Some theoretical problems

- of synbotany. 1. Primary considerations on a conceptual network // Acta Univ. Debrecen, ser. Biol. 1966a. V. 4.
7. *Juhasz-Nagy P.* Some theoretical problems of synbotany. 2. Preliminaries on an axiomatic model building // Acta Univ. Debrecen, ser. Biol., 1966b. V. 4.
8. *Juhasz-Nagy P.* Some theoretical problems of synbotany. 3. The importance of methodology // Acta Univ. Debrecen, ser. Biol., 1968. V. 6.
9. *Leeuwen C.G. van.* A relation theoretical approach to pattern and process in vegetation // Wentia. 1966. V. 15. № 1.
10. Теоретические вопросы фитоценологии и биогеоценологии. – М.: Тр. МОИП, т. 38, 1970,
11. Теоретические вопросы фитоиндикации / Отв. ред. А.А. Корчагин. Л.: Наука, 1971.
12. *Cole C.* A theory for analyses contagiously distributed populations // Ecology. 1946. V. 27. № 4.
13. *Whittaker R.H.* A consideration of climax theory: the climax as a population and pattern // Ecol. Monogr. 1953. V. 23. № 1.
14. *Мазинг В.В.* О теоретических и методических вопросах крупномасштабного картирования растительности // Уч. зап. Тартуск. ун-та. 1963. Т. 136 (Труды по ботанике. Т. 4).
15. *Василевич В.И.* Очерки теоретической фитоценологии. Л.: Наука, 1983.
16. *Миркин Б.М.* Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985.
17. *McIntosh R.* The Background of Ecology. Concept and Theory. Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1985.
18. Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии / Под ред. Г.С. Розенберга. Уфа: БФАН СССР, 1987.
19. Перспективы теории фитоценологии. Тезисы симпозиума в Лаэлату-Пухту, 16-20 мая 1988. Тарту: Изд-во АН ЭССР, 1988.
20. *Норин Б.Н.* Некоторые вопросы теории фитоценологии. Ценотическая система, ценотические отношения, фитогенное поле // Ботан. журн. 1987. Т. 72. № 9.
21. *Норин Б.Н.* Ценоячейка, синузидия, ценом, растительное сообщество – проблемные вопросы теории фитоценологии // Ботан. журн. 1987. Т. 72. № 10.
22. *Норин Б.Н.* Эдификатор, интегральная (комплексная) фитоценотическая система, агрегация, фитоценоз, растительность и растительный покров – дискуссионные вопросы теории фитоценологии // Ботан. журн. 1987. Т. 72. № 11.
23. *Розенберг Г.С., Мозговой Дж.П., Гелашвили Д.Б.* Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. Самара: СНИЦ РАН, 1999.
24. *Розенберг Г.С.* О периодизации экологии // Экология. 1992. № 4.
25. *Розенберг Г.С.* Модели в фитоценологии. М.: Наука, 1984.
26. *Федоров В.Д.* Заметки о парадигме вообще и экологической парадигме в частности // Вестн. МГУ. Сер. 16. Биология. 1977. № 3.
27. *Налимов В.В.* Теоретическая биология? Ее все еще нет... // Знание – сила. 1979. № 7.
28. *Bertalanffy L. von.* Theoretische Biologie. Berlin: 1932. Bd. 1.
29. *Бауэр Э.С.* Теоретическая биология. – М.; Л.: ВНИИ эксперим. медицины, 1935.
30. *Моровиц Г.* Исторический очерк // Теоретическая и математическая биология. – М.: Мир, 1968.
31. *Астауров Б.Л.* Предисловие редактора русского перевода // На пути к теоретической биологии. I. Прологомены. – М.: Мир, 1970.
32. *Уоддингтон К.Х.* Замечания // На пути к теоретической биологии. I. Прологомены. М.: Мир, 1970.
33. *Ляпунов А.А.* В чем состоит системный подход к изучению реальных объектов сложной природы // Управляемые системы. Новосибирск: Наука, 1970, вып.6.
34. *Астауров Б.Л.* Теоретическая биология и некоторые очередные задачи // Вопр. Философии. 1972. № 2.
35. *Волькенштейн М.В.* Перекрестки науки. М.: Наука, 1972.
36. *Югай Г.А.* О методологических предпосылках построения теоретической биоло-



- гии // Философские проблемы биологии. – М.: Наука, 1973.
37. *Межжерин В.А.* Этюды по теории биологических систем // Системные исследования. Ежегодник 1974. М.: Наука, 1974.
38. *Старостин Б.А.* Системный подход, параметры и сложность биологических объектов // Системные исследования. Ежегодник 1974. М.: Наука, 1974.
39. *Ратнер В.А.* Вместо рецензии: впечатление о книге С.Э. Шноля “Физико-химические факторы биологической эволюции” // Журн. общ. биол. 1980. Т. 41 № 5.
40. *Борзенков В.Г., Северцов А.С.* Теоретическая биология: размышления о предмете. М.: Знание, 1980.
41. *Брусиловский П.М.* Становление математической биологии. – М.: Знание, 1985.
42. *Малиновский А.А.* Теоретическая биология? Она создается сегодня // Знание – сила. 1979. № 11.
43. *Розенберг Г.С.* К построению системы концепций современной экологии // Журн. общ. биол. 1991. Т. 52 № 3.
44. *Розенберг Г.С., Мозговой Д.П.* Узловые вопросы современной экологии. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 1992.
45. *Розенберг Г.С.* Эвристики современной фитоценологии // Проблемы теоретической и экспериментальной фитоценологии. Уфа: БФАН СССР, 1987.
46. *Розенберг Г.С., Смелянский И.Э.* Экологический маятник (смена парадигм в экологии) // Журн. общ. биол. 1997. Т. 58. № 4.
47. Математическое моделирование популяций растений и фитоценозов. Тезисы докладов всесоюзного совещания. М.: АН СССР, 1990.
48. *Розенберг Г.С.* О структуре теоретической фитоценологии // Теоретические проблемы эволюции и экологии. Тольятти: ИЭВБ АН СССР, 1991.
49. *Гнеденко Б.В.* Из истории науки о случайном. М.: Знание, 1981.
50. *Есенин-Вольгин А.С.* Об аксиоматическом методе // Вопр. философии. 1959. № 7.
51. *Подниекс К.М.* Вокруг теоремы Геделя. Рига: Латв. гос. ун-т, 1981.
52. *Woodger J.H.* The Axiomatic Method in Biology. London: Cambr. Univ. Press, 1937.
53. *Петров Ю.П.* Аксиоматический метод в некоторых теориях эволюционной морфологии // Вопр. философии. 1959. № 7.
54. *Медников Б.М.* Аксиомы биологии – *Biologia axiomata*. М.: Знание, 1982.
55. *Реймерс Н.Ф.* Системные основы природопользования // Философские проблемы глобальной экологии. М.: Наука, 1983.
56. *Реймерс Н.Ф.* Теоремы экологии // Экологизация. Свищов: ВФСИ “Д.А. Ценов” (Болгария), 1984.
57. *Реймерс Н.Ф.* Экология. Законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994.
58. *Эйнштейн А.* Принципы научного исследования // Физика и реальность. М.: Наука, 1965.
59. *Флейшман Б.С.* Основы системологии. – М.: Радио и связь, 1982.
60. *Акчурин И.А.* Место математики в системе наук // Вопр. философии. 1967. № 1.
61. *Грейг-Смит П.* Количественная экология растений. М.: Мир, 1967.
62. *Василевич В.И.* Статистические методы в геоботанике. Л.: Наука, 1969.
63. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000.
64. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003.
65. *Pielou E.C.* *Mathematical Ecology*. NY. etc.: John Wiley & Sons, Ltd, 1977.
66. *Свирижев Ю.М., Логофет Д.О.* Устойчивость биологических систем. М.: Наука, 1978.
67. *Розенберг Г.С., Рянский Ф.Н., Шустов М.В.* Краткий курс современной экологии. Ульяновск: УлГТУ, 2002.
68. *Розенберг Г.С.* Методы аналитического моделирования колебательных процессов в экосистемах // Экологической мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга. Часть IV / Под ред. Д.Б. Гелашвили. Н. Новгород: ННГУ, 2000.

69. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998.
70. *Кузнецов И.В.* Взаимосвязь физических теорий // *Вопр. философии.* 1963. № 6.
71. *Кузнецов И.В.* Структура физической теории // *Вопр. философии.* 1967. № 11.
72. *Vittikh V.A.* Engineering theories as a basis for integrating deep engineering knowledge // *Artificial Intelligence in Engineering.* 1997. V. 11, № 1.
73. *Meyen S.V.* On the structure of theoretical biology // *Lectures in Theoretical Biology.* Tallinn: Valgus, 1988.
74. *Розенберг Г.С.* Идеализированный объект и фундаментальные понятия современной экологии (с примерами из экологии растительности) // *Поволж. экол. журн.* 2002. № 3.
75. *Чибанов С.В.* Единство теоретизирования о способах упорядочивания // *Теория и методология биологических классификаций.* М.: Наука, 1983.
76. *Розенберг Г.С.* Процедуры измерения в системе “”основания”” экологической теории // *Теоретические проблемы экологии и эволюции (Вторые Люблинские чтения).* Тольятти: Интер-Волга, 1995.
77. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975.
78. *Одум Ю.* Экология: в 2-х т. М.: Мир, 1986.
79. *Миркин Б.М., Розенберг Г.С.* Системный подход к фитоценологии // *Журн. общ. биол.* 1978. Т. 39. № 2.
80. *Флейшман Б.С.* Системология, системотехника и инженерная экология // *Кибернетика и ноосфера.* М.: Наука, 1986.
81. *Розенберг Г.С.* О системной экологии // *Журн. общ. биол.* 1988. Т. 49. № 5.
82. *Woodwell G.M.* Effects of ionizing radiation on terrestrial ecosystems // *Science.* 1962. V. 138, № 3540.
83. *Сукачев В.Н.* Некоторые общие теоретические вопросы фитоценологии // *Вопросы ботаники.* М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. Т. 1.
84. *Миркин Б.М., Розенберг Г.С.* Фитоценология. Принципы и методы. М.: Наука, 1978.
85. *Уиттекер Р.* Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980.
86. *Шварц С.С.* Стратегия жизни // *Природа.* 1967. № 8.
87. *Флейшман Б.С.* Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. М.: Сов. радио, 1971.
88. *Розенберг Г.С.* Модели потенциальной эффективности сложных систем как инструмент анализа экологических феноменов // *Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды международной конференции.* Самара: СамНЦ РАН, 1999.
89. *Розенберг Г.С.* О моделях потенциальной эффективности экологических систем // *Изв. СамНЦ РАН.* 2003. Спец. вып. “Проблемы современной экологии”. Вып. 1.

## SYNOPSIS OF CONSTRUCTION OF THEORETICAL ECOLOGY

© 2003 G.S. Rozenberg

Institute of Ecology of the Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

Direct pattern of theoretical investigations in ecology are discussed. Axiomatic, physical and system approaches for synthesis of theoretical ecology are considered.