ISSN 0367—0597

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ЭКОЛОГИЯ

3

МАЙ — ИЮНЬ

1993

Наука

УДК 591.5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ

В. Н. Большаков, Ф. В. Кряжимский, Д. С. Павлов

На основании анализа общих свойств экологических систем, основных направлений развития естественных наук, исторического опыта и мировых тенденций экологических исследований с учетом специфики ситуации в России выделяется ряд направлений, которые представляются наиболее перспективными для развития отечественной экологии. При этом ядром экологии остается изучение биологических систем.

Определение перспективных направлений любой отрасли науки является весьма непростой задачей, даже если она имеет достаточно четко очерченные границы, т. е. определенный предмет исследования и собственный метод. Задача выделения перспективных направлений в такой области, как экология, во много раз более трудная, поскольку в настоящее время эта научная дисциплина не имеет четких границ, смыкаясь с географией, геологией, экономикой и политикой. В то же время решение данной задачи насущно необходимо, поскольку экологические проблемы стоят чрезвычайно остро как в целом перед мировым сообществом, так и в особенности перед Россией. Поэтому в рамках Государственной научно-технической программы «Экология России» был предусмотрен специальный проект по определению перспектив экологических исследований в нашей стране, в работе над которым принимали участие и авторы. Мы ясно понимаем, что разные исследователи могут и должны по-разному представлять себе перспективы развития науки и не претендуем на провозглашение истины в последней инстанции, однако считаем полезным изложение своей точки зрения на этот важный вопрос. Большой вклад в формулирование изложенных ниже идей внесли также член-корреспондент РАН Ю. И. Чернов и доктор биологических наук Ю. Г. Пузаченко, которым авторы искренне выражают свою признательность.

ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЭКОЛОГИИ

Задача определения приоритетов развития любой отрасли науки усложняется тем, что она имеет не один уровень разрешения. Первый уровень — это определение ближайших перспектив развития науки, т. е., используя терминологию Т. Куна (1977), прогноз развития «нормальной науки» в рамках существующей парадигмы (концептуальных рамок науки), базирующейся на фундаментальных представлениях, изложенных в учебниках — элементарных или повышенного типа. На данном уровне в принципе можно найти решение исходя из уже имеющихся в настоящее время теоретических разработок и насущных практических (технологических, экономических, социальных) задач. Другой уровень — это определение далеких перспектив развития науки, связанный с предсказанием открытий, приводящих к формированию новой парадигмы. На этом уровне прогнозирование намного сложнее.

Признаком критической ситуации в науке, предшествующей смене парадигмы, можно считать возрастание интереса к «аномалиям», т. е. фактам, не укладывающимся в рамки господствующих теорий. Для определения направления вероятного «прорыва» в науке необходимо иметь в виду неразрывную связь различных областей науки, а также зависимость развития науки от технологического и социального прогресса (Капица, 1981; Кун, 1977).

Исходя из изложенного выше, а также ряда общих соображений, можно выделить несколько возможных подходов к определению перспективных направлений экологии.

Во-первых, это систематизация современных представлений об экологических системах и выявление наиболее насущных практических и теоретических задач, вытекающих из этих общих свойств. Кроме того, для правильного определения наиболее важных направлений науки необходимо обратиться к накопленному историческому опыту развития науки. Важнейшим моментом решения подобной задачи предстает также изучение тенденций развития других отраслей науки, особенно тех, которые имеют дело со сложными системами. И наконец, определение перспектив любого научного направления невозможно без определенного анализа мировых тенденций в развитии этого направления.

Все перечисленные подходы взаимосвязаны и дополняют друг друга. Поэтому выделение ряда перспективных направлений развития экологии приводится ниже на основании всего комплекса этих подходов.

ЭКОЛОГИЯ КАК БИОЛОГИЧЕСКАЯ НАУКА

Кажется, никто не оспаривает то утверждение, что экология имеет дело с природной средой на Земле. Тем не менее существуют разноречивые толкования предмета и методологии этого научного направления. Все чаще (особенно в средствах массовой информации, а также в высказываниях политических деятелей) звучит вульгаризированная трактовка экологии как изучения только гигиенических аспектов состояния окружающей среды, а нередко и просто как уровня ее техногенного загрязнения. Популярность подобных толкований вполне можно понять, так как они легко воспринимаются на уровне обыденного сознания; в то же время нельзя пренебрегать опасностью распространения столь упрощенного подхода к одной из важнейших и сложнейших научных проблем современности. При таком подходе создается иллюзия возможности разрешения тонких экологических проблем сугубо техническими средствами (безотходные технологии, очистные сооружения и т. п.), что принципиально неверно. Безусловно, решение экологических проблем невозможно без привлечения новых технологий, но отнюдь не исчерпывается этим.

С другой стороны, существует «широкое» толкование экологии как некоего обширного комплекса научных направлений, включающего в себя экономику, социологию, медицину, географию, геологию, ряд технологических дисциплин. Несмотря на то, что для развития любого научного направления совершенно необходимо взаимодействие с другими областями знания, трактовка экологии в качестве столь грандиозного конгломерата различных научных направлений полностью размывает ее границы и лишает экологию собственного предмета и методологии.

Общим для двух упомянутых выше точек зрения на экологию как отрасль знаний является недооценка ее стержневой составляющей — изучения живого вещества как главного компонента любого природного комплекса. Помимо того, что экология исторически сложилась как биологическая наука о взаимоотношениях и взаимодействии между различными живыми объектами и окружающей их средой (Алимов, 1989; Андерсен, 1985; Одум, 1975, 1986; Пианка, 1981; Риклефс, 1979; Шилов, 1981; Clarke, 1954; Clements, Shelford, 1939; Shelford, 1929), для такого утверждения есть основания принципиального характера, исходным моментом которых служит концепция планетарной роли живого вещества, разработанная В. И. Вернадским еще в 20-х годах текущего столетия (Вернадский, 1978). В наше время эти представления получили дальнейшее развитие и количественное подтверждение — биосфера в целом рассматривается как саморегулируемая система, в которой живое вещество во всем своем многообразии с высокой точностью обеспечивает

узкие физические условия (газовый состав атмосферы, температурный режим и т.д.) для своего существования (Горшков, 1988; Горшков, Кондратьев, 1990; Lovelock, 1979). Именно поэтому *центральным звеном экологических исследований должны являться биологические системы разного уровня организации.*

Очевидно, что при разработке как прикладных направлений экологии, так и новых теоретических концепций принципиальным моментом является невозможность продвижения вперед без развития исследований, продолжающих и развивающих исторически сложившиеся научные направления. Эти направления отражают структурно-функциональную организацию биосферы и являются той основой, на которой базируется формирование новых разделов экологии. К основным традиционным направлениям экологии в соответствии с современными представлениями о ее структуре как биологической науки можно отнести *физиологическую экологию*, изучающую реакции целого организма на изменения в среде, *популяционную экологию,* изучающую закономерности экологических процессов, происходящих на популяционном, групповом уровне организации живого вещества, а также *экологию сообществ и биогеоценологию*, изучающих закономерности функционирования экосистем. Эти направления формируют базу для развития сравнительно новых, находящихся в стадии становления отраслей экологии, таких как *глобальная экология*, пытающаяся решать проблемы биосферы в целом, и *социоэкология,* т. е. дисциплина, изучающая взаимодействие природы и человеческого общества (Алимов, 1989). Каждый из названных разделов включает в себя большое число конкретных направлений. Границы между направлениями и разделами размыты; в настоящее время возникают исследования, стоящие на стыке таких областей экологии, как популяционная экология и биоценология («Функциональные связи...», 1983) или физиологическая и популяционная экология (Шварц и др., 1964; Шилов, 1977). Все перечисленные направления тесно связаны с классическими отраслями биологии, такими как ботаника, зоология, физиология, основной методологией которых является *натурализм.* Можно смело сказать, что пренебрежение традиционными (натуралистическими) направлениями экологии, тенденции к которому в настоящее время прослеживаются достаточно четко, чревато отставанием во всех других областях экологии, в том числе и прикладных. В частности, на современном этапе развития науки и с учетом сложной экономической ситуации оценка состояния экосистем и прогнозирование их динамики зачастую возможны лишь на уровне экспертных оценок. В качестве же экспертов могут выступать лишь те исследователи, которые имеют достаточно большой опыт в проведении традиционных экологических работ — только такие люди обладают достаточными знаниями и интуицией.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С позиций системной иерархии к экологическим системам относятся биосистемы организменного и надорганизменного уровней организации от индивидуумов до биосферы (Шилов, 1981), хотя чаще под экологическими системами понимают надорганизменные системы — от видовых популяций до экологических сообществ (Одум, 1986). Популяционный уровень занимает особое место в системе организации живого вещества. С одной стороны, популяция является элементарной единицей биоценотических взаимодействий, а с другой — элементарной единицей эволюционного процесса (Тимофеев-Ресовский и др., 1973; Шварц, 1971). Из основных свойств экологических систем необходимо особо выделить то, что они не статичны, а находятся в непрерывном изменении, которое

значительно сказывается на структурно-функциональной организации, продуктивности, биотическом разнообразии и устойчивости систем («Экологические системы», 1981).

Основная трудность исследования экологических систем заключается в том, что экспериментирование с ними (в классическом естественнонаучном понимании этого процесса) по ряду объективных причин (прежде всего потому, что человеческое общество является неотъемлемой частью биосферы в целом) практически невозможно. В таких случаях доступными способами изучения поведения экологических систем остаются наблюдение (мониторинг) и экспериментирование с моделями, т. е. развитая форма мысленного эксперимента.

Природные экологические системы относятся к классу чрезвычайно сложных систем (иногда называемых «сверхсистемами»), поведение которых при воздействии на них возмущающих факторов часто не подлежит точному прогнозу на современном уровне развития науки. Причина этого — существенная нелинейность, вследствие которой аналитическое решение уравнений, моделирующих динамику экологических систем, невозможно. Для численного моделирования необходимо иметь достаточно точные количественные данные об управляющих параметрах и переменных. Отсюда следует важность сбора и систематизации экологических данных. К тому же различение собственно управляющих параметров и переменных является в условиях недостатка информации почти неразрешимой задачей.

Кроме того, типичное свойство сложных систем — большая изменчивость показателей поведения, определяемая не случайными флуктуациями, а самой структурой системы. И наконец, замечательным свойством сложных систем является наличие у них памяти; поведение системы зависит от ее истории, так что для предсказания поведения системы недостаточно просто сколь угодно подробно описать ее состояние в данный момент времени (Николис, Пригожин, 1978). Избыточная сложность структурно-функциональной и динамической организации экологических систем существенно затрудняет практический анализ их состояния, жизнеспособности, устойчивости, резервных возможностей и реабилитационных перспектив. Поэтому основной методологической проблемой предстает поиск путей такого анализа. От успешного решения этой проблемы на современном этапе в значительной мере зависят благосостояние современного человечества и его будущее.

ЗАДАЧИ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ ОБЩИХ СВОЙСТВ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Согласно уже упомянутым выше современным воззрениям на биосферу, одним из основных гарантов сохранения стабильных условий существования жизни на Земле является сохранение максимального биологического разнообразия в планетарном масштабе и во всех его аспектах — внутривидового, видового, синтаксономического и экосистемного. Поэтому *изучение биологического разнообразия и механизмов его поддержания* должно быть одним из наиболее приоритетных направлений экологии.

В настоящее время важной задачей, вытекающей из общих свойств экологических объектов, а также практических задач природопользования, пути решения которой еще не определены, представляется *разработка общей теории устойчивости экологических систем и определение границ устойчивости конкретных экологических систем.* Само понятие устойчивости применительно к экосистемам еще недостаточно разработано; важным вопросом остается, например, отношение устойчивости и сложности, мерой которой может служить биологическое разнообразие (Свирежев, Логофет, 1978; May, 1973). Теоретические разработки в этой области обычно опираются на математические определения устойчивости динамических систем (по Пуанкаре, Ляпунову, Лагранжу)

и учитывают нелинейный характер взаимосвязей в экологических системах и временную дискретность экологических процессов (Базыкин, 1985; Свирежев, 1987; May, 1975, 1986). Здесь нашли свое применение упомянутые ниже идеи математической теории бифуркаций и ее приложений — таких как, например, теория катастроф (Jones, 1977). Данные разработки имеют качественно-интуитивный характер: таковы, например, концепции стабильности подвижных экологических систем (Исаев, Хлебопрос, 1973) или упругости экологических систем (Holling, 1974). Актуальной остается также стоящая в этом же ряду проблема так называемой «минимальной жизнеспособной популяции», суть которой состоит в определении минимальной численности популяции, которая гарантировала бы ее существование в течение какого-то достаточно длительного периода («Жизнеспособность популяций», 1989).

Решение вопроса о пределах устойчивости, т. е. нахождение критических значений внешних факторов и внутренних характеристик экологических систем, для конкретных популяций или биоценозов, так же как и решение многих других актуальных вопросов экологии, требует систематизации собираемых данных и практически неизбежно связано с построением компьютерных имитационных моделей. Имитационное моделирование само по себе таит ряд непростых методологических проблем (Шеннон, 1978). Очевидно, что учесть все характеристики системы принципиально невозможно, и некоторые из неучтенных при построении модели параметров могут оказаться весьма важными в изменившейся среде — таким образом поиск границ устойчивости всегда будет вестись в условиях неполной информации и определенной принципиальной непредсказуемости («Экологические системы...», 1981). Одной из важных теоретических и практических задач является разработка научных подходов, учитывающих эту объективно существующую неопределенность.

Избыточная сложность и вытекающая из нее неопределенность поведения экологических систем частично объясняют отмеченный ниже недостаток формализованных логически непротиворечивых теорий в современной экологии. Тем не менее представления об общих свойствах сложных систем позволяют наметить по крайней мере некоторые пути создания такого рода теорий, подтверждаемые анализом достижений некоторых других областей естествознания и мировых тенденций развития экологии. Одним из вероятных направлений, по-видимому, может быть вывод определенных *экстремальных принципов* функционирования экологических систем разного ранга. Исходя из общих свойств сложных систем, можно ожидать, что характерной чертой таких принципов будет их множественная ориентация — оптимизация должна происходить по многим параметрам одновременно (Арнольд, 1981).

Общеизвестно, что в современном мире деятельность человеческого общества превратилась в самый мощный средообразующий фактор. Насущной необходимостью стала наука, которая позволила бы согласовать интересы развития современного общества с поддержанием оптимальной природной среды (Шварц, 1974; Barrett, 1984). В силу сложного характера взаимодействий природы и общества чисто экологические задачи тесно переплетаются с экономическими, технологическими, медико-гигиеническими и политическими проблемами. В этом контексте стратегически важной задачей представляется разработка синтетических направлений на стыке экологии с другими отраслями знаний. Например, насущной задачей, стоящей как перед экономической наукой, так и перед экологией, является выработка теоретических основ эколого-экономических оценок антропогенного влияния на природные комплексы разного масштаба и биосферу в целом. Безусловно, необходимо дальнейшее развитие междисциплинарного комплекса *прикладной экологии,* в который входят *экологическая диагностика, экологическая токсиколо-*

гия, разработка научных основ *экологического нормирования* антропогенных воздействий на окружающую среду, *экологическая экспертиза* основных форм текущего и планируемого природопользования, *экологический мониторинг* (текущий и ретроспективный), *экологическое прогнозирование*, а также *экологическая инженерия и системотехника* (Большаков и др., 1987; Безель и др., 1992; «Развитие идей», 1991; Соколов, Бочаров, 1988).

При анализе динамики экологических систем трудно избежать антропоцентрического взгляда на возникающие проблемы; рассмотрению в первую очередь подлежат важные для человека последствия его деятельности. Основным недостатком подобных воззрений можно считать то, что явно или неявно человеческое общество рассматривается отдельно от природных систем как находящееся вне их. Поэтому при постановке и решении экологических проблем практически не принимаются во внимание обратные связи природной среды и человеческого общества: обычно рассмотрение взаимосвязей человека с природными комплексами ограничивается исследованием антропогенных изменений последних, в то время как изучение обратного влияния среды на человека — главным образом медико-гигиеническими аспектами. Между тем человек является неотъемлемой частью биосферы и несомненно испытывает ее регулирующее влияние не только на физиологическом уровне, а и на иных, высших уровнях организации. Так, хорошо известно, что в промышленно развитых странах (то есть там, где воздействие на природные комплексы максимально) происходит социально обусловленное снижение рождаемости и изменение демографической структуры населения. Другой пример касается промышленной эмиссии углекислого газа, которая в развитых странах стабилизируется, так что основной вклад в ожидаемое накопление углекислоты в атмосфере Земли по прогнозам будет приходиться на развивающиеся страны («International Energy Workshop», 1989). Поэтому в долговременном масштабе стратегически неизбежной представляется смена мировоззренческих установок на базе *развития таких разработок на стыке экологии и общественных наук, которые будут рассматривать человеческое общество как часть биосферы*, а не отдельно от нее.

Для обеспечения успешного развития как фундаментальных, так и прикладных экологических исследований необходимым условием является организация имеющейся и вновь получаемой информации в виде компьютеризированных информационных систем и банков данных. Задача построения таких систем в России и налаживание их связей с международными банками данных — одна из актуальнейших на современном этапе, поскольку без ее решения чрезвычайно затруднена интеграция российской науки в мировую и, соответственно, невозможно решение большинства глобальных и региональных экологических проблем. Кроме того, многие теоретические проблемы экологии в силу сложности экологических систем могут быть решены на современном уровне только с привлечением большого числа накопленных и получаемых вновь данных. Это относится прежде всего к моделированию процессов, происходящих в природных комплексах, с целью поиска закономерностей их функционирования и прогноза развития, однако не исчерпывается им. Другая необходимая организационная задача, тесно связанная с первой,— налаживание системы мониторинга природных экологических систем с поступлением получаемой информации в банки данных.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИИ

Исторический опыт развития науки показывает, что чаще всего перспективными оказываются направления, носящие характер некоторого синтеза, а также пограничные направления, возникающие на стыке раз-

личных дисциплин. Так, еще 20 лет назад С. С. Шварц (1972) писал о том, что экология должна пойти по пути концептуального синтеза популяционной экологии и биогеоценологии, что в основном подтвердилось последующим развитием экологических исследований. Общеизвестна также польза «взгляда со стороны», т. е. привнесения в какое-то направление идей, возникших в недрах другого научного направления или другой науки (Кун, 1977). В качестве примера приведем стимулирующее влияние мыслей, высказанных в конце 40-х годов физиком Э. Шредингером (1972), на развитие целого ряда новых направлений биологии, в том числе и раскрытие генетического кода.

Примером, иллюстрирующим связь экологических концепций с идеями, возникающими в других отраслях естественных наук, а также становление новых взглядов на основе уже высказанных ранее, но не получивших общего признания, может служить краткое изложение истории представлений о механизмах формирования динамики численности животных.

В 20—30-х годах основной упор при сборе эмпирических данных делался на связь численности с такими факторами среды, как кормообеспеченность и климатические условия (Виноградов, 1934; Свириденко, 1934; Формозов, 1935; Elton, 1924, 1927). В рамках этих воззрений был накоплен большой фактический материал, подтверждающий роль внешних факторов в динамике численности животных. Возникли понятия биотического потенциала и сопротивления среды (Северцов, 1937; Chapman, 1931). В то же время в другой области науки, которая позднее стала именоваться биоматематикой или математической биофизикой, развивались аналитические модели, включающие в себя представления о внутрипопуляционной регуляции, сформулированные еще в XIX в. (Lotka, 1925; Pearl, 1927; Verhulst, 1838), однако они фактически почти не оказывали влияния на практику исследователей-зоологов. Исключением являлась экспериментальная работа Николсона (Nicholson, 1933), выполненная на мясных мухах, которая затем вошла во многие учебники.

На рубеже 40—50-х гг. стремительно начали развиваться новые направления науки — прежде всего кибернетика (Weiner, 1948) и общая теория систем (Bertalanffy, 1950, 1956). В центре внимания этих направлений было управление с помощью обратных связей, саморегуляция. В это же время идеи саморегуляции привлекли пристальное внимание экологов, занимающихся динамикой численности животных. В работе Дж. Крисчена (Chrstian, 1950) в качестве механизма формирования динамики численности животных была предложена концепция адрено-питуитарной регуляции в ответ на действие стрессоров, в числе которых одно из главных мест отводилось повышенной плотности населения.

В период 50—60-х годов возникли другие концепции экологической саморегуляции численности животных — как популяционной (Wynne-Edwards, 1959, 1965), так и происходящей на уровне экологических сообществ (Schultz, 1964). Рассматриваемый период характеризовался также расцветом синтетической теории эволюции и повышенного интереса к процессам микроэволюции. Под влиянием общего интереса к изменениям генетической структуры популяций возникла известная гипотеза Читти (Chitty, 1958, 1960), сыгравшая важную стимулирующую роль в популяционно-экологических исследованиях. Гипотезы саморегуляции не были самодостаточными для объяснения и прогноза изменений численности популяций; в частности, они не могли объяснить резких колебаний численности (Stenseth, 1985). Представления о популяциях как об открытых сложных системах привели к утверждению концепций многофакторной регуляции динамики численности животных (Викторов, 1971, 1973; Lidiker, 1978).

В 70-х годах большую популярность получила математическая теория катастроф, представляющая собой обобщение теории особенностей гладких отображений и теории бифуркаций Пуанкаре-Андронова (Thom, 1977; Thom, Zeeman, 1975). Идеи, лежащие в основе этих математических теорий, нашли отражение в соответствующих концепциях динамики численности (Исаев, Хлебопрос, 1973; Clark et al., 1979), включающих в себя как внешние, так и внутренние по отношению к популяции факторы и объясняющих резкие изменения уровней численности животных.

Таким образом, краткая история изучения популяционной динамики животных на протяжении XX в. показывает постоянное воздействие на развитие этого частного направления экологии идей, подходов и концепций, привносимых из других областей науки. Аналогичный вывод можно было бы сделать, например, проследив историю внедрения в экологию трофо-динамического подхода (Lindemann, 1942) и многих других современных направлений.

ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗУЧЕНИЕМ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Особенностью второй половины XX в. является развитие информационных технологий, открывших новые перспективы для накопления, передачи и анализа информации, что позволяет решать ранее неразрешимые научные проблемы, а также ставить новые задачи. Поэтому в наше время популярность получили направления, связанные с анализом сложных систем — такие, как термодинамика открытых систем или синергетика. Экология стоит в ряду подобных направлений, поэтому для определения ее перспектив полезно приглядеться к тенденциям развития в первую очередь научных отраслей такого рода.

До середины нынешнего столетия основное внимание исследователей концентрировалось вокруг стационарных состояний; движение также чаще всего рассматривалось как стационарный процесс (по аналогии с равномерным поступательным движением в механике). Отклонения от этой равномерности было удобно рассматривать как некие случайные флуктуации, имеющие вероятностную природу.

Примерно к середине XX в. при практическом изучении физических и химических систем накопилось множество фактов, которые заставляют пересматривать эти воззрения. Возникла необходимость трактовать нарушения стационарности не с вероятностных, а с детерминистических позиций, показывать значимость и объективное существование крайне маловероятных с традиционной вероятностной точки зрения событий. Среди теоретических обобщений такого рода следует назвать в первую очередь неравновесную термодинамику открытых систем (Николис, Пригожин, 1978; Prigogine, 1978). Основное внимание стало концентрироваться вокруг нелинейных эффектов, определяющих сложное, неравновесное поведение систем. Такой подход быстро дал важные результаты; получили развитие представления о самоорганизации неравновесных систем. В частности, с селекционистских позиций была показана неизбежность максимизации скорости репликации для системы эволюционирующих самореплицирующихся структур (Эйген, 1973), из которой вытекает известный эволюционный критерий приспособленности Фишера.

Параллельно развивались новые направления математики, приложимые для описания нелинейных эффектов и сложного поведения динамических систем, как, например, уже упоминавшаяся теория катастроф (Thom, 1977; Thom, Zeeman, 1975). В этой области знаний идет интенсивный поиск новых направлений (например, решение задач на управление с неполной информацией, задач для систем с различными собст-

венными временами и т. п.). Внимание к неравновесным процессам ведет к поиску иных экстремальных принципов, чем равновесие.

Различные направления естествознания, имеющие дело со сложными системами, иногда объединяются под общим условным названием синергетики (Хакен, 1980), хотя эта отрасль знания далеко еще не оформилась в самостоятельную научную дисциплину. Можно ожидать возникновения целого ряда новых подходов и дисциплин. Примечательно, что при разработке новых методологий их пытались применять для описания прежде всего биологических процессов и явлений (Prigogine, 1972; Prigogine, Wiame, 1946; Thom, 1969; Zeeman, 1974).

В качестве прогноза можно утверждать, что *исследователи, осознавшие эти мировоззренческие преобразования и соответствующим образом трансформирующие свою методологию, будут иметь в ближайшее время большие преимущества.*

МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИИ

С середины XX в. в экологии стали господствовать системные представления, что послужило основой для создания таких теоретических построений, как экосистемные концепции динамики популяций и экологических сообществ (Leslie, 1945; Levins, 1968; Odum, 1968; Whittaker, 1970), теория островной биогеографии (MacArthur, Wilson, 1967), концепция экологических ниш (Hutchinson, 1957). Методологически эти построения базируются на равновесной парадигме и носят, как правило, индуктивный характер.

Вместе с тем существует ощутимый недостаток дедуктивных теорий, который отмечался еще около 20 лет назад на I Международном экологическом конгрессе (Riger, 1974). С тех пор положение мало изменилось, несмотря на то, что появился ряд направлений, призванных заполнить эту пустоту. Если говорить о математизированных дедуктивных теориях (близких по форме к тому, что именуется «теорией» в других естественных науках), то среди них большую популярность завоевала, например, так называемая «теория оптимального питания» (Pyke, 1984; Pyke et al., 1977), стоящая в ряду теорий, основывающихся на принципе оптимальности энергетических и временных затрат, применению которого в биологии положили начало работы Д'Арси Томпсона (D'Arcy Thompson, 1942), исходящие из общих селекционистских позиций (Розен, 1969). Однако в целом дедуктивные построения и сегодня остаются прерогативой математической биофизики (включая математическую биофизику популяций и сообществ), ведущей начало от работ Вольтерры (Volterra, 1926), которая по-прежнему развивается в определенном отрыве от эмпирической экологии. Поэтому сближение математической биофизики экологических систем и экологических исследований традиционного направления (математизация экологии) по-прежнему остается важной задачей.

Современный набор наиболее популярных направлений экологии достаточно полно представлен, например, тематикой докладов, представленных на V Международном экологическом конгрессе, проходившем в августе 1990 г. в Иокогаме (Япония) под девизом «Развитие экологических перспектив для XXI века» («Development», 1990), а также на 6-м Европейском экологическом конгрессе, состоявшемся в Марселе (Франция) в сентябре 1992 г. («6th European Ecological Congress», 1992). Анализ содержания докладов показывает, что в международной практике не ослабевает внимание к таким традиционным направлениям экологии, как экология сообществ, популяционная экология и физиологическая экология. Большое внимание уделяется математизации экологии. Так, на V Международном экологическом конгрессе работала специальная секция, на которой рассматривались вопросы применения в

экологии статистических методов (16 сообщений) и микрокомпьютеров (9 сообщений), а также проблемы искусственного интеллекта и экспертных систем (5 сообщений). Проявлен повышенный интерес к проблемам глобальной экологии и экологической безопасности в связи с технологическим прогрессом. Европейские экологи на своих пленарных заседаниях рассматривали прежде всего вопросы, связанные с взаимоотношениями человека и природных экологических систем. При этом приоритетным направлением выступает изучение биологического разнообразия. Надо отметить, что важность изучения и сохранения биологического разнообразия была особо подчеркнута на весьма авторитетной Международной экологической конференции, проходившей в 1992 г. в Рио-де-Жанейро.

СОСТОЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ

В развитии экологии отечественная наука практически не отставала от мировой, а в некоторых направлениях занимала передовые позиции. Достаточно сказать, что усвоение мировым научным сообществом глобальных идей, выдвинутых В. И. Вернадским еще в 20-х годах, произошло только в последнее время. То же самое можно сказать о трудах Э. С. Бауэра, относящихся к тому же периоду, которые во многом предвосхитили новые естественнонаучные взгляды на биологические системы. Другим примером могут служить работы Г. Г. Гаузе, выполненные в 30-х годах в Московском университете, которые стали классикой мировой экологии.

Значителен вклад отечественной науки в формирование теории функционирования экосистем. С этим направлением связаны имена В. И. Сукачева, Г. Г. Винберга, В. С. Ивлева, В. Г. Карпова, А. А. Молчанова, Н. И. Базилевич, Л. Е. Родина, Н. П. Ремезова и многих других. Популяционные исследования во многом связаны с именами С. С. Шварца и Н. П. Наумова; школа С. С. Шварца имела эволюционно-экологическое направление, отличающееся от зарубежных подходов, имеющих более прагматическую направленность (см. Пианка, 1981; Шварц, 1980).

В нашей стране видимый прорыв в области математической экологии был связан с инициативой А. А. Ляпунова, поддержанной И. И. Шмальгаузеном. Возникло несколько крупных школ, разрабатывающих экологические дедуктивные (формализованные) теоретические направления, основанные большей частью на некоторых качественных результатах общего характера. В этой связи необходимо упомянуть школу и разработки Ю. М. Свирежева, которые безусловно являются передовыми для мирового уровня. Несмотря на значительный отрыв такого рода исследований от экспериментальной и полевой экологии, в последнее время все же наметились пути сближения этих направлений. Например, математические идеи о потере устойчивости динамическими системами были применены в нашей стране для анализа вспышек численности лесных насекомых (Исаев, Хлебопрос, 1973) одновременно со сходными работами группы К. С. Холлинга из Международного института прикладного системного анализа.

В целом же отечественная экология в области теории по крайней мере не отстает от мирового уровня. Поэтому важной задачей является сохранение и упрочение передовых позиций в области теоретических разработок. В то же время заметно отставание в области массового освоения базовых теоретических знаний и применения их для решения прикладных задач. Поэтому в данном направлении надо предпринять решительные шаги, однако по изложенным выше причинам ни в коем случае нельзя отдавать приоритет чисто прикладным исследованиям в ущерб фундаментальным.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИИ В РОССИИ

Из предыдущего раздела следует, что экология в России не отстает от мирового уровня по крайней мере в области фундаментальных разработок. Поэтому важнейшей задачей является сохранение и упрочение передовых позиций в этой области. Как уже отмечалось, здесь принципиальным моментом выступает невозможность продвижения вперед без опережающего развития исследований, продолжающих и развивающих такие традиционные исторически сложившиеся научные направления, как изучение закономерностей функционирования экосистем (биогеоценозов), популяционная экология и физиологическая экология.

Из основных направлений следует назвать изучение механизмов биопродукционного процесса на разных уровнях организации экологических систем, прикладным выходом которого является разработка подходов к управлению биологической продуктивностью, а также изучение механизмов гомеостаза и регуляции динамики экологических систем. Важнейшей задачей, которой уделяется внимание во всем мире, является изучение биологического разнообразия и экологических механизмов его поддержания. Среди этого класса задач необходимо выделить также разработку проблем популяционной структуры и популяционной динамики, учитывая особый характер популяционного уровня организации живого вещества. Эти направления обеспечивают преемственность в тех разделах экологии, где отечественная наука занимала лидирующие позиции.

Естественным продолжением исследований такого рода, которое к тому же предстает как насущно необходимое, является изучение механизмов реагирования живых систем на антропогенные воздействия и разработка теории управления биоресурсами в современных условиях.

Важным вопросом является, как уже отмечалось, разработка теории устойчивости экологических систем, где отечественная наука также занимала ведущее положение. Наряду с этим большие перспективы сулит исследование неустойчивых (неравновесных, нестационарных) экосистем, сообществ и популяций. В связи с этим возникает задача поиска иных, чем равновесие, экстремальных принципов, лежащих в основе функционирования экосистем, а также выработка подходов к их изучению с учетом сложности экологических систем (в том числе и объективной неопределенности их динамики). В области теоретических, а затем и прикладных разработок необходимо обеспечить синтез математической биофизики экологических систем с экологическими исследованиями традиционного направления, т. е. математизацию экологии. Решение фундаментальных и прикладных экологических задач на современном этапе невозможно без широкой компьютеризации сбора и анализа данных, включая построение компьютерных имитационных моделей, организацию имеющейся и вновь получаемой информации в виде компьютеризированных информационных систем и банков данных, а также налаживание системы мониторинга природных экологических систем с поступлением получаемой информации в банки данных. Кроме того, важным направлением остается совершенствование методов исследования экологических систем и биосферы в целом (экологическое приборостроение, космические методы, геоэколого-информационные системы и т. п.).

Стратегической задачей экологии является развитие теории взаимодействия природы и общества на основе нового взгляда, рассматривающего человеческое общество как неотъемлемую часть биосферы. В этом плане чрезвычайно важны разработка синтетических направлений на стыке экологии с другими отраслями знаний и развитие междисциплинарного комплекса прикладной экологии. Неотложными прикладными задачами, которые необходимо решать уже сегодня, являются, напри-

мер, обеспечение экологической безопасности страны на основе неистощающего природопользования, разработка экологических основ промышленного и сельскохозяйственного производства, выработка социальных и экономических механизмов решения экологических проблем, решение организационно-правовых проблем управления природопользованием, развитие методов социально-экологического прогнозирования, разработка системы методов экологического обеспечения решения задач экономического и социального развития страны и отдельных регионов с учетом экологической обстановки.

Институт экологии растений
и животных УрО РАН
Московский госуниверситет
имени М. В. Ломоносова

Поступила в редакцию
27 января 1993 г.

ЛИТЕРАТУРА

Алимов А. Ф. Экология — наука биологическая.— Экология, 1989, № 6, с. 3—8.
Андерсен Дж. М. Экология и науки об окружающей среде: биосфера, экосистемы, человек.— Л.: Гидрометеоиздат, 1985.— 165 с.
Арнольд В. И. Теория катастроф.— М.: Знание, 1981.— 63 с.
Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций.— М.: Наука, 1985.— 181 с.
Безель В. С., Кряжимский Ф. В., Семериков Л. Ф., Смирнов Н. Г. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок. 1. Общие подходы.— Экология, 1992, № 6, с. 3—12.
Большаков В. Н., Садыков О. Ф., Бененсон И. Е., Корытин Н. С., Кряжимский Ф. В. Актуальные проблемы популяционного мониторинга.— В кн.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., 1987, т. 10, с. 47—63.
Вернадский В. И. Живое вещество.— М.: Наука, 1978.—358 с.
Викторов Г. А. Трофическая и синтетическая теории динамики численности насекомых.— Зоол. журнал, 1971, 50, вып. 3, с. 361—372.
Викторов Г. А. Динамика численности животных и управление ею.— В кн.: Современные проблемы экологии. М., 1973, с. 88—120.
Виноградов Б. С. Материалы по динамике фауны мышевидных грызунов. (Исторический обзор массовых размножений).— Л., Изд-во АН СССР, 1934.—62 с.
Горшков В. Г. Пределы устойчивости окружающей среды.— ДАН СССР, 1988, 301, № 4, с. 1015—1019.
Горшков В. Г., Кондратьев К. Я. Принцип Ле-Шателье применительно к биосфере.— Экология, 1990, № 1, с. 7—16.
Исаев А. С., Хлебопрос Р. Г. Принцип стабильности в динамике численности лесных насекомых.— ДАН СССР, 1973, 208, № 1, с. 225—227.
Жизнеспособность популяций. Природоохранные аспекты. Под ред. М. Сулей.— М.: Мир, 1989.— 224 с.
Капица П. Л. Эксперимент, теория, практика.— М.: Наука, 1981.—495 с.
Кун Т. Структура научных революций.— М.: Прогресс, 1977.—300 с.
Николис Г., Пригожин И. Познание сложного.— М.: Мир, 1978.—351 с.
Одум Ю. Основы экологии.— М.: Мир, 1975.—740 с.
Одум Ю. Экология. Т. 1.— М.: Мир, 1986.— 328 с.
Оленев Г. В. Популяционные механизмы приспособления к экстремальным условиям среды (на примере рыжей полевки).— Журнал общ. биол., 1981, 42, № 4, с. 506—511.
Пианка Э. Эволюционная экология.— М.: Мир, 1981.— 400 с.
Развитие идей академика С. С. Шварца в современной экологии.: В. Н. Большаков, Л. Н. Добринский, Б. С. Кубанцев и др.— М.: Наука, 1991.— 276 с.
Риклефс Р. Общая экология.— М.: Мир, 1979.— 424 с.
Розен Р. Принцип оптимальности в биологии.— М.: Мир, 1969.—215 с.
Свирежев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии.— М.: Наука, 1987.— 366 с.
Свирежев Ю. М., Логофет Д. О. Устойчивость биологических сообществ.— М.: Наука, 1978.— 352 с.
Свириденко П. А. Размножение и смертность мышевидных грызунов.— Труды Станции по защите растений, сер. IV, 1934, вып. 3, 59 с.
Соколов В. Е., Бочаров Б. В. Экотоксикология и проблемы экологии человека.— В кн.: Экология человека: основные проблемы. М., 1988, с. 154—158.
Тимофеев-Ресовский Н. В., Яблоков А. В., Глотов Н. В. Очерк учения о популяции.— М.: Наука, 1973.— 267 с.
Формозов А. Н. Колебания численности промысловых животных.— М.— Л.: 1935.— 108 с.

Функциональные связи мелких млекопитающих с растительностью в луговых биогеоценозах.: Л. Н. Добринский, В. А. Давыдов, Ф. В. Кряжимский, Ю. М. Малафеев.— М.: Наука, 1983.— 160 с.
Хакен Г. Синергетика.— М.: Мир, 1980.— 404 с.
Шварц С. С. Популяционная структура биогеоценоза.— Изв. АН СССР, сер. биол., 1971, 28, № 4, с. 485—493.
Шварц С. С. Материалы к составлению долгосрочного прогноза развития популяционной экологии.— Экология, 1972, № 6, с. 13—19.
Шварц С. С. Проблемы экологии человека.— Вопр. философии, 1974, № 9, с. 102—104.
Шварц С. С. Экологические закономерности эволюции.— М.: Наука, 1980.—278 с.
Шварц С. С., Ищенко В. Г., Овчинникова Н. А., Оленев В. Г., Покровский А. В., Пястолова О. А. Чередование поколений и продолжительность жизни грызунов.— Журнал общ. биол., 1964, 25, № 6, с. 417—433.
Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука.— М.: Мир, 1987.— 418 с.
Шилов И. А. Эколого-физиологические основы популяционных отношений у животных.— М.: Изд-во МГУ, 1977.— 261 с.
Шилов И. А. Биосфера, уровни организации жизни и проблемы экологии.— Экология, 1981, № 1, с. 5—11.
Шноль С. Э. Физико-химические факторы биологической эволюции.— М.: Наука, 1979.— 263 с.
Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики.— М.: Атомиздат, 1972.—146 с.
Эйген М. Молекулярная самоорганизация и ранние стадии эволюции.— Успехи физ. наук, 1973, 109, вып. 3 с. 545—589.
Экологические системы. Адаптивная оценка и управление. Под ред. К. С. Холинга.— М.: Мир, 1981.—397 с.
Barrett G. W. Applied ecology: An integrative paradigm for the 1980's.— Environ. Conserv., 1984, 11, N 4, p. 319—322.
Bertalanffy L., von. An outline of general systems theory.— Brit. J. Philos. Sci., 1950, N 1, p. 134—165.
Bertalanffy L., von. General system theory.— General Systems, 1956, 1, p. 1—10.
Chapman R. N. Animal ecology. With special reference to insects.— N. Y.— L.: McGraw-Hill, 1931.— 464 p.
Chitty D. Self-regulation of numbers through changes in viability.— Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., 1958, 22, p. 277—280.
Chitty D. Population processes in the vole and their relevance to general theory.— Can. J. Zool., 1960, 38, N 1, p. 99—113.
Christian J. J. The adreno-pituitary system and population cycles in mammals.— J. Mammal., 1950, 31, N 3, p. 247—259.
Clarke G. L. Elements of ecology.— N. Y.: John Wiley & Sons, 1954.— 534 p.
Clark W. C., Jones D. D., Holling C. S. Lessons for ecological policy design: a case study of ecosystem management.— Ecol. Modell., 1979, 7, p. 1—53.
Clements F. R., Shelford V. E. Bioecology.— N. Y.— L.: John Wiley & Sons, 1939.— 425 p.
D'Arcy Thompson W. On growth and form.— Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1942.— 1116 p.
Development of ecological perspectives for the 21st Century. Abstracts of the plenary, symposium papers and posters presented at the V International Congress of Ecology (Yokogama, Aug. 23—30, 1990).— Yokogama, 1990.— 503 p.
Elton C. Periodic flucuations in the numbers of animals, their causes and effects.— J. Exper. Biol., 1924, 2, p. 119—163.
Elton C. Animal ecology.— L.— N. Y.: Macmillan, 1927.— 207 p.
Holling C. S. Resilience and Stability of ecological systems.— Ann. Rev. Ecol. Syst., 1974, 4, p. 1—23.
Hutchinson G. E. Concluding remarks.— Cold Spring Harbor Symp. Qant. Biol., 1957, 22, p. 415—427.
International Energy Workshop: IIASA Options, 1989, p. 6—7.
Jones D. D. The application of catastroph theory to ecological systems.— Simulation, 1977, N 1, p. 1—15.
Leslie P. H. On the use of matrices in certain population mathematics.— Biometrika, 1945, 33, p. 183—212.
Levins R. Evolution in changing environments.— Princeton — N. Y.: Princeton Univ. Press, 1968.— 120 p.
Lidiker W. Z., Jr. Regulation of numbers in small mammal populations — historical reflections and synthesis.— In: Populations of small mammals under natural conditions. Pymatuning Symp. Ecol., 1978, vol. 5, p. 122—141.
Lindemann R. L. The trophic-dynamic aspect of ecology.— Ecology, 1941, 33, N 2, p. 399—418.
Lovelock J. E. Gaia: A new look at the life on Earth.— N. Y.: Oxford Univ. Press, 1979.— 157 p.
Lotka A. J. Elements of physical biology.— Baltimore: Williams & Wilkins, 1925.— 460 p.

MacArthur R. H., Wilson E. O. The theory of island biogeography.— Princeton — N. Y.: Princeton Univ. Press, 1967.— 203 p.
May R. M. Stability and complexity in model ecosystems.— In: Monographs in population biology, Princeton — N. Y.: Princeton Univ. Press, 1973.— 235 p.
May R. M. Biological populations obeying difference equations: stable points, cycles, and chaos.— J. Theor. Biol., 1975, **51**, N 2, p. 511—524.
May R. M. When two and two do not make four: nonlinear phenomena in ecology.— Proc. Roy. Soc., 1986, N 228, p. 241—266.
Nicholson A. J. The balance of animal population.— J. Anim. Ecol., 1933, **2**, p. 132—178.
Odum E. P. Energy flow in ecosystems: a historical review.— Amer. Zool., 1968, **8**, p. 11—18.
Pearl R. The growth of populations.— Quart. Rev. Biol., 1927, **2**, p. 532—548.
Prigogine I. La thermodynamique de la vie.— Recherche, 1972, N 3, p. 547—562.
Prigogine I. Time, structure, and fluctuations.— Science, 1978, **201**, N 4358, p. 777—785.
Prigogine I., Wiame J. M. Biologie et thermodynamique des phenomenes irreversibles.— Experimentia, 1946, N 2, p. 451—453.
Pyke G. H. Otimal foraging theory: a critical review.— Ann. Rev. Ecol. Syst., 1984, **15**, p. 523—575.
Pyke G. H., Pulliam H. R., Charnov E. L. Optimal foraging: a selective revew of theory and tests.— Quart. Rev. Biol., 1977, **52**, N 2, p. 137—154.
Riger F. H. Introduction to theme one.— Proc. 1st Internat. Congress of Ecology: the Haague, the Netherlands, 8—14 Sept. 1974.— Wageningen: Centre for Agric. Publ. and Documentation, 1974, p. 10.
Schultz A. M. The nutrient recovery hypothesis for arctic microtine cycles. II. Ecosystem variables in relation to arctic microtine cycles.— In: Grazing in terrestrial and marine environments. Oxford, 1964, p. 77—93.
Shelford V. E. Laboratory and field ecology.— Baltimore, 1929.— 608 p.
6th European Ecological Congress. Marseille, 7—12 Sept. 1992. Conferences abstracts.— Bull. Mus. D'Histoire Natur. Marseille, 1992, **52**, 122 p.
Stenseth N. C. Mathematical models of microtine cycles: models and the real world.— Acta Zool. Fennica, 1985, N 173, p. 7—12.
Thom R. Topological models in biology.— Topology, 1969, **8**, p. 313—335.
Thom R. Structural stability, catastrophe theory, and applied mathematics.— SIAM Rev., 1977, **19**, p. 189—201.
Thom R., Zeeman E. C. Catastrophe theory: Its present state and future perspectives.— In: Dynamical systems. Lecture notes in mathematics. (Warwick, 1974). Berlin: Springer, 1975, p. 366—389.
Verhulst P. F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissment.— Corresp. Math. Phys., 1838, **10**, p. 113—121.
Volterra V. Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically.— Nature, 1926, **188**, p. 558—560.
Weiner N. Cybernetics.— N. Y.: John Wiley & Sons, 1948.— 226 p.
Whittaker R. H. Communities and ecosystems.— N. Y.: Macmillan, 1970.— 162 p.
Wynne-Edwards V. The control of population through social behaviour: a hypothesis.— Ibis, 1959, **101**, p. 436—441.
Wynne-Edwards V. Self-regulating systems in populations of animals.— Science, 1965, **147**, p. 1543—1548.
Zeeman E. C. Levels of structure in catastrophe theory illustrated by applications in the social and biological sciences.— Proc. Internat. Cong. of Math., Vancouver, 1974, p. 533—546.