

## СИСТЕМНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ГЕОЭКОЛОГИИ

*С.Л. Турков*

*Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск*

Рассматриваются результаты исследований проблемы формирования терминологического аппарата геоэкологии как нового междисциплинарного научного направления. Методологическую основу исследований составляют новая парадигма системного представления мира, теория синергетики, концепция “моды”, математические аппараты теории игр и распознавания образов.

**Ключевые слова:** системный подход, теория синергетики, понятия, определения, геоэкология.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно формуле специальности 25.00.36 (ВАК РФ), геоэкология – междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов. Основной задачей геоэкологии является изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек под влиянием природных и антропогенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль с целью сохранения для нынешних и будущих поколений людей продуктивной природной среды.

Геоэкология (в научную практику этот термин введен немецким исследователем К. Троллем в 1970 г.) выделилась из геологии, географии, экологии и как самостоятельная наука сформировалась у нас в стране в начале 80-х годов прошлого века. Геоэкология – относительно молодая наука, предмет и объект исследования которой в настоящее время постоянно уточняются и дополняются. При этом основной методический подход заключается в попытках использования исследователями понятийного аппарата и терминологии исходных и смежных с ней наук, таких как геология, геофизика, география, экология, экономика, социология и другие.

В научной практике объект глобального уровня исследования геоэкологии – геосферы планеты – обычно физически ограничивается рамками отдельных регионов, рассматриваемых и принимаемых в виде универсальных территориальных единиц окружающего нас мира. Предметом исследования геоэкологии, как правило, являются биосферные (ноосферные) процессы глобального, регионального и локаль-

ного уровней; чаще всего их интерпретируют через посредство функции и термина “природопользование” [9, с. 7]. Со стороны общественной практики цель геоэкологии как специальной науки заключается в изучении процессов регионального развития с системных, геолого-географических и биологических позиций, которые в конечном итоге сводятся к нахождению некоторого устойчивого (равновесного) состояния природных и социальных систем с точки зрения биоразнообразия их вещественной части и энергетической ценности. В этой части задачи геоэкологии на практике могут быть сведены к функции управления региональным природопользованием, когда управление рассматривается как специализированная “... функция организованных систем (биологических, технических, социальных), обеспечивающая сохранение их структуры, поддержание режима деятельности, реализацию ее программы, цели” [16, с. 496]. При этом общим объектом исследования геоэкологии должны стать сложно организованные системы класса “природа–общество” [13, 14].

Из теории познания (гносеологии) [16, с. 480] следует, что, помимо выделения некоторого объекта (его физический – элементный – состав и пространственные границы) и предмета исследования, необходимо определение общей целевой функции каждой конкретной науки, посредством которой может описываться вся ее проблемная область. Обычно эта функция определяется как четко выделенный общий функциональный процесс и формулируется в виде основных (фундаментальных) понятий и определений данной науки. Для геоэкологии подобным общим процессом должна стать функция управления региональным развитием (по А.А. Ляпунову: “Управление, основанное на передаче информации, является со-

ставной частью всякой жизнедеятельности, более того, управление можно объявить характеристическим свойством жизни в широком смысле”). К основным (фундаментальным) понятиям геоэкологии следует отнести понятия “равновесие” и “устойчивое развитие”.

В настоящее время понятия “равновесие” и “устойчивое развитие” в виде основных (фундаментальных, т.е. логически реализующих научную цель и задачи исследований) понятий в геоэкологии не исследованы и не сформулированы. Это является существенным недостатком формирующейся сегодня методологии и теории геоэкологии, поскольку методически эти понятия являются итоговыми и логически завершающими ее общий методологический и понятийный аппарат. Также известно, что вне рамок этих понятий невозможно правильно сформулировать концепцию и стратегию устойчивого развития страны и регионов на долгосрочную перспективу или достичь сбалансированного решения стоящих перед страной социально-экономических задач и проблем сохранения благоприятной окружающей среды и ее природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения потребностей нынешних и будущих поколений [5].

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использовались системный, программно-целевой и кибернетический методы (подходы). Методологическую основу исследования составляют новая парадигма системного представления мира, теория синергетики и концепция “моды”, математические аппараты теории игр и распознавания образов.

Известно, что все природные, в т.ч. биологические и социальные, системы независимо от их вида относятся к классу физических систем, которые характеризуются тремя входными элементами – масса, энергия, информация. Поэтому их изучение в принципе невозможно вне их физической (системной) интерпретации. В данной связи Д.Л. Арманд (1975) отмечал: “В конечном счете, все физико-географические процессы имеют в основе физические явления. Сведение географических закономерностей к геофизическим, а по мере возможности и к физическим законам представляется крайне желательным. Только физический анализ убеждает, что явление понято” [10, с. 5]. При этом основным – определяющим и синтезирующим все другие – методом исследования геоэкологии является системный подход.

Системный подход априори предполагает использование теорий общих [2] и самоорганизующих-

ся систем (синергетика) [3, 4, 6, 17]. В качестве специальных методов в исследовании использовались: теория биосферы (ноосферы) Э. Леруа, П.Т. де Шардена, В.И. Вернадского; теория общих систем (Л. Берталанфи) и сложно организованных диссипативных систем (Ф. Капра); новая парадигма системного представления мира – “биосферное” (за рубежом – “терапевтическое”) мышление; теория энтропии А.Н. Панченкова; теория бифуркаций И.Р. Пригожина; схема климатического социосистем А.В. Позднякова; теория “телеологических” систем Н. Винера; концепция “устойчивого развития” (Sustainable Development) комиссии ООН (Г.Х. Брундтланд) и “открытого общества” К. Поппера; определение термина “равновесие” Л. Брауна; концепция “моды” Г. Хакена; принципы “соответствия”, “дополнительности”, “неопределенности” и “зависимости” Н. Бора и В. Гейзенберга.

В качестве основного – подлежащего управлению – функционального процесса в исследовании был принят процесс регионального природопользования (активные сложные системы класса “природа–общество” [13]), поскольку только в его рамках и могут быть описаны все известные нам природные и общественно-социальные системы, их функционирование и развитие в пространстве и времени. По мнению экспертов ООН, целевая функция природопользования должна определяться на основе поиска оптимального соотношения системных параметров следующих пяти компонентов устойчивого социально-экономического развития регионов: “... производственной деятельности, потребления природных ресурсов, состояния экологических систем, качества окружающей среды и благосостояния человека” [18, с. 7].

#### ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

В многочисленных представлениях авторов о сущности и значении термина “природопользование” большинством из них выделяются два взаимосвязанных и дополняющих друг друга процесса: 1) использование и изъятие человеком каких-либо компонентов природных систем в виде природных условий и ресурсов; 2) антропогенное изменение отдельных компонентов природных систем. Например, П.Я. Баклановым дается следующее определение этого термина, которое на настоящий момент наиболее точно характеризует его сущность: “... под природопользованием понимают различные формы непосредственного взаимодействия и взаимоотношений человека (с его техническими средствами и технологиями) и природных систем и процессов в соответствующих пространственно-временных масштабах с целью получе-

ния общественно (социально) значимых продуктов, услуг, энергии” [9, с. 7]. Отсюда следуют два важных методологических вывода: 1) о наличии разных форм взаимосвязи явлений природы и общественно-социальной сферы жизни и деятельности общества; 2) все взаимодействия природных и социальных процессов должны одновременно рассматриваться в пространстве и времени.

В настоящее время методология и теория управления региональным природопользованием как система научных знаний, полностью соответствующая объекту и предмету исследования геоэкологии (геосферы планеты, процессы их взаимодействия), отсутствует. Системный анализ [13, с. 8, 12–14, 23, 140–154] показывает, что в теории и практике управления региональным природопользованием сегодня используется “механистический” подход (“механистическое мышление”, старая парадигма системного представления мира; лапласовский детерминизм, бэконская философия, картезианский механицизм; объектно-ориентированное представление мира, детерминированная постановка задач управления [3, 4]). При этом элементы системы “природа–общество” рассматриваются как части, доли или отдельные ресурсы, а не как компоненты взаимодействующих процессов. Отсюда в научных концепциях, теориях и на практике происходит теоретическое и физическое расчленение мира на отдельные элементы (нарушение принципа “эмерджентности”, или целостности, сложно организованных систем [2–4]). В результате не воспринимаются и разрушаются системные свойства природных объектов, а связи между ними устанавливаются как строго детерминированные (традиционный подход к управлению сложными системами заключается в том, что “... результат внешнего управляющего воздействия есть однозначное и линейное, предсказуемое следствие приложенных усилий, что соответствует схеме: управляющее решение → желаемый результат” [4, с. 4]).

На практике это находит свое выражение в территориальном и отраслевом принципах управления, когда усилия всех управляющих структур реализуются через посредство только внешнего управляющего воздействия на природные системы и объекты. При этом полностью игнорируется внутренний уровень их функционирования и развития. Так, обычно управлению подлежат некоторые производственные, технологические, социально-экономические (но не системные!), или только внешние по отношению к системе “природа–общество”, процессы, которые, в свою очередь, не сводятся к управлению территорией (регионом) как геосистемным образованием. Текущий

мониторинг природных объектов и процессов в итоге представляет собой лишь простую (количественную и качественную) констатацию ряда фактов о происходящих изменениях в окружающей нас природной среде. Отсюда решение проблем (задач) мониторинга приводит нас только к исходной точке принятия управляющих решений и не определяет условия и возможности оптимизации будущих (прогнозируемых) состояний природных систем или, иначе, не оставляет нам какой-либо возможности управлять ими.

Таким образом, “механистический” подход не позволяет в полной мере исследовать процессы, происходящие в системе “природа–общество”; из-за неадекватности изучаемого объекта управления реальным биосферным (ноосферным) процессам сегодня достигнут определенный “предел” информационной области принятия управляющих решений. Настоящая ситуация является следствием того, что объектная, предметная и задачная подобласти управления логически не связаны между собой, а зачастую и прямо противоречат сути информационной (кибернетической) теории управления [1]. В рамках данной парадигмы (“механистическое мышление”) нельзя также сформулировать основные понятия и определения теории биосферы (ноосферы) в ее интерпретации Э. Леруа, П.Т. де Шардена, В.И. Вернадского. Системный анализ и синтез показывают, что даже само понятие “региональное природопользование” в терминах данной парадигмы нельзя точно формализовать и представить в виде какой-либо логической (математической, информационной и алгоритмической) схемы принятия управляющих решений. Кроме того, она же не позволяет сформулировать такие исходные (базовые, характеризующие физический смысл управления региональным природопользованием как динамическим процессом) понятия геоэкологии, как “равновесие” и “устойчивое развитие”.

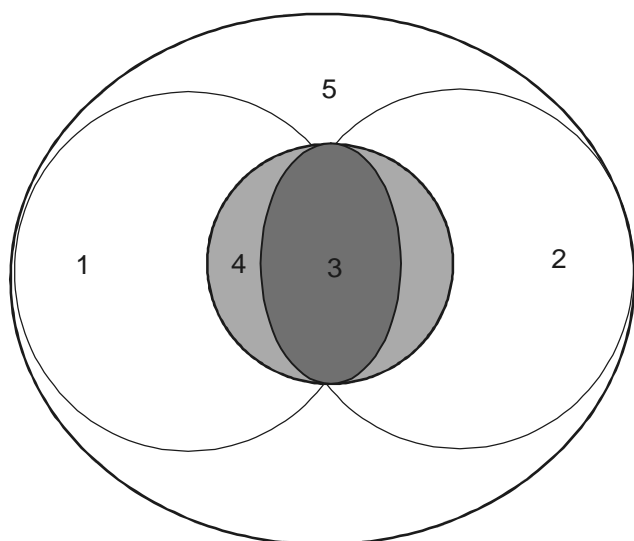
#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наши исследования [11–15, 19] показывают, что в качестве методологической основы геоэкологии как науки необходимо использовать новую – биосферную (ноосферную) – парадигму системного представления мира, которая предполагает переход от исследования отдельных (даже комплексных!) объектов природы к изучению отношений между ними [2, 3 и Приложения к работам 11, 13]). Этим обеспечивается естественно-научное (философское) требование адекватности объекта и предмета исследования реальным природным системам и процессам. Цель данного перехода также следует из известных принципов “соответствия” и “дополнительности” Н. Бора

(1913) [16, с. 438, 133]. Одна из возможных схем объединения фазового (информационного) пространства сферы природопользования, геоэкологии и других смежных (исходных) наук, иллюстрирующая действие этих принципов, представлена на рис. 1.

Эта схема показывает, что при исследовании проблем природопользования можно воспользоваться общим терминологическим аппаратом таких наук, как география, экономика и экология (действие принципа “соответствия”, согласно которому в каждый конкретный момент времени может быть установлена точная математическая связь различных естественно-научных теорий и семантическая – через понятия и определения – связь смежных дисциплин [16, с. 438]). Но при переходе к исследованию проблем геоэкологии так поступать уже нельзя; здесь необходимо применять так называемые “дополнительные” классы понятий и определений, которые только взятые вместе исчерпывают всю поддающуюся определению и передаче информацию [16, с. 133].

Отсюда следует, что все привлекаемые из других наук к исследованию проблем геоэкологии понятия, специальные термины и их определения теорети-



**Рис. 1.** Системное представление фазового (информационного) пространства геоэкологии и сферы природопользования.

1 – фазовое пространство природных процессов; область знаний географии; 2 – фазовое пространство общественных (социально-экономических) процессов; область знаний экономики; 3 – природопользование как взаимосвязанные и пересекающиеся процессы взаимодействия природы и общества; область знаний экономической географии и региональной экономики; 4 – физические, биологические и биосоциальные процессы взаимодействия природы и общества; область знаний экологии; 5 – биосферные (ноосферные) процессы взаимодействия и развития геосистем планеты; область знаний геоэкологии.

чески должны подлежать их полному переопределению (действие принципа “неопределенности” В. Гейзенберга, 1927). Согласно этому принципу утверждается, что характеризующие физическую систему так называемые дополнительные физические величины (например, координаты и импульс) не могут одновременно принимать точные значения. Из данного принципа также следует, что при уточнении координат какого-либо процесса (в нашем случае – это переход к качественно иной и более высокой области научных знаний, что априори предполагает появление новой информационной области принятия управляющих решений) мы неизменно теряем в точности определяемого нами импульса или же его координат. Необходимость переопределения исследователем координат системы и импульса процесса также следует из известного принципа “зависимости” Н. Бора и В. Гейзенберга (1927), согласно которому невозможно указать ни одной физической системы, имеющей независимое существование отдельно от наблюдателя (возникновение неустранимой неопределенности из-за влияния наблюдателя на наблюдаемый объект; так называемая связь “система + прибор”) [13, с. 103–105].

Таким образом, в процессе перехода к новым областям знаний системный подход требует не только увеличения степени вложенности и уточнения уровня организации элементов в системе, но и соответствующей теоретической переоценки режимов, нормативов и механизмов функционирования системы в целом, а также целевой и программной функции существования и развития системы со стороны всего комплекса возможных задач управления [13, с. 99].

Применительно к сфере управления региональным природопользованием естественно-научное требование расширения информационной области принятия управляющих решений должно предусматривать ввод принципиально иного объекта и уточнения предмета исследования геоэкологии. В качестве такого общего объекта исследования геоэкологии, по нашему мнению, необходимо принять Активные Сложные Системы (АСС) класса “природа–общество”. Предлагается следующее определение этого понятия: АСС представляет собой взаимно интегрированные целостности систем и объектов, свойства которых не могут быть сведены к свойствам составляющих подсистем и рассматриваются как живые системы, где основным движущим механизмом функционирования и развития является конфликт [13, с. 128–129]. Напомним, что под конфликтом в теории игр понимается всякое явление, применительно к которому можно говорить, кто и как в этом явлении участвует, каковы могут быть у этого явления исходы, кто в этих исхо-

дах заинтересован и в чем эта заинтересованность состоит (Н.Н. Воробьев, 1971). В самом общем виде конфликт в АСС класса “природа–общество” можно сформулировать как стремление природы сохранить свое физическое (материально-вещественное), энергетическое и информационное состояние в противовес стремлению человека его нарушить. Следует специально отметить, что конфликт представляет собой особое (перманентное) свойство всех природных, биологических и социальных систем; другими словами – это процесс, в результате которого и происходит функционирование и развитие сложно организованных систем. При этом он всегда проходит в условиях неопределенности. “Активность” систем класса “природа–общество” заключается в том, что они рассматриваются как самоорганизующиеся (в рамках теории синергетики – “диссипативные”, т.е. далекие от равновесия, устойчивые и неинвариантные относительно переносов и поворотов материальной точки) системы. Их “сложность” определяется тем, что они существуют и развиваются не в линейном, а в функциональном (биологическом) пространстве, где события (по

И.Р. Пригожину, 1985) представляют собой процессы, локализованные во времени и пространстве, а не только траектории движения [4, 6, 17].

Исходя из основных положений теории синергетики (теория самоорганизующихся систем; [3, 4, 6, 17] и др. работы), теоретически состав и связь объекта и предмета геоэкологии в терминах синергетики могут быть ограничены следующими элементами и обеспечивающими их теориями (рис. 2).

В определении термина “управление” (см.: с. 90) следует выделять две последовательно связанные части: первая – имеет временную направленность на настоящее (структура, режим деятельности) или теоретически определяет некоторое (возможное) состояние “равновесия” системы; вторая – направлена на будущее (программа, цель развития), т.е. теоретически позволяет реализовать какие-либо условия “устойчивого развития” системы.

Исследования [11–15, 19] показывают, что понятия “равновесие” и “устойчивое развитие” относятся к классу фундаментальных понятий геоэкологии; они



Рис. 2. Основные (базовые) понятия геоэкологии и обеспечивающие их теории.

взаимосвязаны, но неоднозначны, поэтому должны иметь разные определения. Вне определения их физической сущности и системной интерпретации управление региональным природопользованием как функциональный и технологический процесс невозможен и теряет всякий смысл. Здесь следует напомнить, что понятия “равновесие” (по Л. Брауну, Международный экологический конгресс, Рио-де-Жанейро, 1992) и “устойчивое развитие” (Sustainable Development, Комиссия Г.Х. Брундтланд, Стокгольмская конференция ООН по окружающей среде, 1972) до сих пор не имеют четких функциональных определений, что не позволяет их прямо использовать в текущей практике геоэкологических исследований. В настоящее время эти понятия, сформулированные как “... такое состояние общества, при котором удовлетворение сегодняшних потребностей общества не уменьшает шансы будущих поколений на достойную жизнь”, используются практически повсеместно. Например, это определение признано в качестве основополагающих национальных доктрин при создании Президентского совета по устойчивому развитию в США (1993) и разработке аналогичной стратегии и концепции для Российской Федерации (1996) [5].

Понятия “равновесие” и “устойчивое развитие” в определении Л. Брауна и Комиссии Г.Х. Брундтланд всегда подвергались серьезной научной критике (например, работы М. Arnold, R. Day, П.Я. Бакланова, А.С. Шейнгауза и других исследователей). Ее суть может быть сведена к следующим методологическим аспектам. Так, исходя из них, эффективное управление биосферными (ноосферными) процессами возможно только в том случае, если мы будем иметь четкие представления о том, что такое “достойная жизнь” и “что захотят будущие поколения”. Однако хорошо известно, что характеризующие эти понятия элементы в принципе (априори) неопределимы. Поэтому они, скорее всего, могут выступать только в виде некоторых общепризнанных (суггестивных) норм поведения общества по отношению к окружающей его природной среде. Они не имеют большого смысла и с точки зрения математики и информатики, поскольку их невозможно каким-либо образом формализовать (в математическом смысле на них не могут быть установлены какие-либо отношения предпочтения).

С целью теоретического обоснования исследования устойчивых и неустойчивых природных и социальных процессов нами рекомендуется использовать теорию синергетики [2–4, 6, 7, 17 и др.], теорию энтропии А.Н. Панченкова (1999), теорему неравновесных процессов И.Р. Пригожина (1947), принципы

“минимума роста энтропии” Л. Онсагера (30-е гг. XX в.), “неопределенности” и “зависимости” (В. Гейзенберг, Н. Бор, 1927), концепцию “моды” Г. Хакена [17] и теорию управления региональным природопользованием [13]. В основу системного анализа и синтеза этих процессов должны быть положены широко известная схема бифуркаций И.Р. Пригожина [6, с. 88] и схема климакса социосистем (по А.В. Позднякову [8, с. 31]). При этом схему бифуркаций И.Р. Пригожина следует реконструировать в направлении симметрии физических процессов, поскольку она не описывает такое известное состояние диссипативных систем, как их гибель. Подобная реконструкция представлена на рис. 3 (здесь  $X$  – переменная состояния системы); при этом полная энтропия системы рассматривается в представлении А.Н. Панченкова [7], когда она всегда постоянна ( $H_f = \text{const}$ ) и состоит из двух элементов:  $H_f = \{H_q | H_p\}$ , где  $H_q$  – структурная энтропия и  $H_p$  – энтропия импульса.

Настоящая диаграмма показывает, что на отрезке 1–2 состояние диссипативных систем характеризуется асимптотической устойчивостью (по А.Н. Панченкову, оно поддерживается калибровочной симметрией [7]). Подобное состояние в синергетике называют “термодинамической ветвью”; здесь системе приписывается единственное решение, которое можно определить как состояние ее “равновесия”. Единственность решения заключается в том, что оно, во-первых, всегда возвращает систему на один и тот же возможный режим ее движения и, во-вторых, связано с большой долей неопределенности ее поведения, поскольку здесь невозможно задать точные исходные (координаты и импульс) условия. Какой-либо оптимальности поведения системы в данном случае нет; здесь возможно решение только первого класса задач управления региональным природопользованием – задачи интерпретации, диагностики и мониторинга, для чего можно использовать математическую теорию распознавания образов.

В точках 1, 2 происходит переход через критические значения параметра состояния системы  $X$  (одновременное уменьшение  $H_q$  и увеличение  $H_p$ ;  $H_f = \{H_q | H_p\} = \text{const}$ ). Здесь возникает конфликт, который заключается в том, что система не может развиваться далее по пути неустойчивого развития и должна осуществить некоторый качественный – бифуркационный – скачок, который (теоретически) характеризуется ее переходом на ветви устойчивого развития ( $a_1$  или  $a_2$  и  $b_1$  или  $b_2$ ; оптимальной будет ветвь, где наблюдается наименьший рост энтропии). Выход из данного конфликта заключается в том, что системе необходимо, во-первых, оценить свое текущее состояние

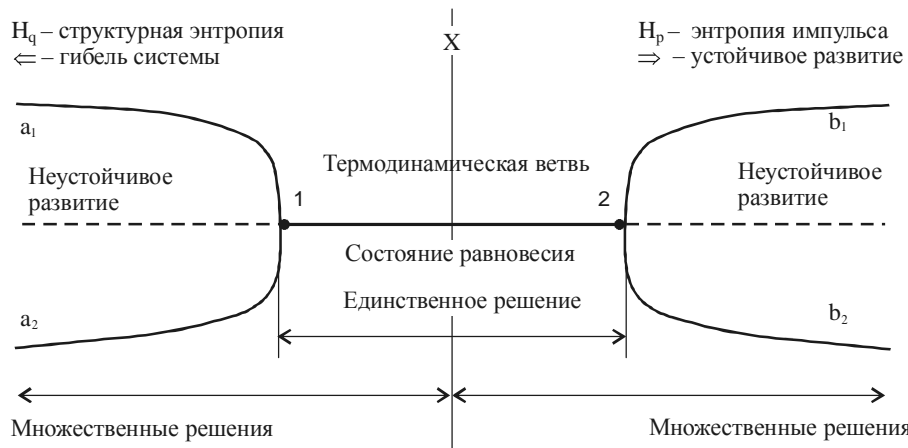


Рис. 3. Диаграмма состояний сложно организованных диссипативных систем класса “природа–общество”.

с учетом возможных степеней свободы в фазовом пространстве среды и, во-вторых, установить (согласно теореме неравновесных процессов И.Р. Пригожина и принципа “минимума роста энтропии” Л. Онсагера) некоторые отношения предпочтения своего будущего поведения, т.е. осуществить выбор стратегии развития в зависимости от собственного состояния, условий окружающей среды и с учетом возможностей ее самоорганизации. Теоретически здесь должны возникать классы задач планирования, реконструкции, прогноза, управления. Исходя из необходимости обеспечения адекватности реальной системы происходящим в ней и окружающей среде процессам, их решение сводится к использованию математического аппарата теории игр (появление множественности решений и оптимальности поведения отдельных элементов системы и их групп, т.е. классов игроков и их коалиций).

Основной (конструктивный) вывод, который следует из перечисленных выше теорий и принципов, а также рис. 3 заключается в следующем. Во-первых, для любых природных, биологических и социальных (диссипативных) систем, в т.ч. и АСС класса “природа–общество”, в каждый конкретный момент времени можно определить их текущее положение (равновесное состояние, точки неустойчивого или устойчивого развития – флуктуационные и бифуркационные процессы). Во-вторых, на основе системного анализа и синтеза динамики происходящих процессов теоретически могут быть спрогнозированы возможные (будущие) формы их существования и пути развития. То есть для таких систем в принципе возможна реализация функции внутреннего или внешнего (пассивного и активного) управления.

Таким образом, в теории и практике управления сложно организованными системами класса “природа–общество” следует выделять четыре типа (в физическом смысле различных, но последовательно связанных между собой и переходящих друг в друга) функциональных состояний: равновесие, неустойчивое развитие, устойчивое развитие, гибель системы. Отсюда текущая практика управления подобными системами (функция лица, принимающего решения) должна сводиться к следующим процедурам. 1) Определение текущего на настоящий момент времени положения системы по отношению: во-первых, к левой или правой частям термодинамической ветви; во-вторых, к точкам бифуркаций, соответствующим развитию или гибели системы; в-третьих, к аналогичным ветвям, связанным с текущими процессами перехода (ее развитие или гибель). 2) Определение потребных ресурсов (масса, энергия, информация), времени и способов (непосредственного или опосредованного) воздействия на систему, в результате чего может быть обеспечено ее сохранение в положении, соответствующем ее размещению на термодинамической ветви (состояние “равновесие” системы). 3) То же, что и в п. 2, но посредством чего достигается вывод системы в положение ее “устойчивого развития” (рост энтропии), или же когда обеспечивается ее гибель.

Здесь также нужно напомнить следующие фундаментальные выводы теории синергетики, которые принципиально важны для практики управления биосферными (ноосферными) процессами: “... синергетика дает знание о том, как надлежащим образом оперировать со сложными системами и как эффективно управлять ими. Оказывается, главное – не сила, а правильная топологическая конфигурация, архитектура воздействия на сложную систему (среду).

Малые, но правильно организованные – резонансные – воздействия на сложные системы чрезвычайно эффективны” [4, с. 5]. Необходимо обратить особое внимание и на следующий, часто упускаемый многими исследователями (например, при разработке долгосрочных целевых программах социально-экономического развития регионов), аспект: достижение системой положения в точках 1 или 2 – ее состояние на этот момент – определяется ранее действующими законами; но далее (на бифуркационных ветвях развития –  $a_1$  или  $a_2$  и  $b_1$  или  $b_2$ ) меняется не только сама система, но и законы, выводящие ее в это положение (И.Р. Пригожин, 1985). Другими словами, прогнозировать развитие сложно организованных систем на долгосрочную перспективу на основе использования одних и тех же законов их развития нельзя, поскольку теоретически должны происходить качественные изменения “ядра” структуры-аттрактора или “пятна” процесса [4, с. 6]; в наших исследованиях этим определяется геосистемный каркас территории [15], а также фазового пространства (области притяжения, или воздействия) ее существования. Напомним, что в природе не существует физических систем, не имеющих своего аттрактора (аттрактивной цели). В синергетике (школа С.П. Курдюмова) под структурами-аттракторами понимаются такие “... реальные структуры в открытых нелинейных средах, на которые выходят процессы эволюции в этих средах в результате затухания в них переходных процессов” [4, с. 7].

Из вышеизложенного следует, что при разработке функциональных определений понятий “равновесие” и “устойчивое развитие” основному изучению подлежат процессы внутреннего и внешнего управления, позволяющие или “удерживать” диссипативные системы на термодинамической ветви, или же “выводить” их в бифуркационные состояния. С целью решения настоящей проблемы рассмотрим эти процессы подробнее.

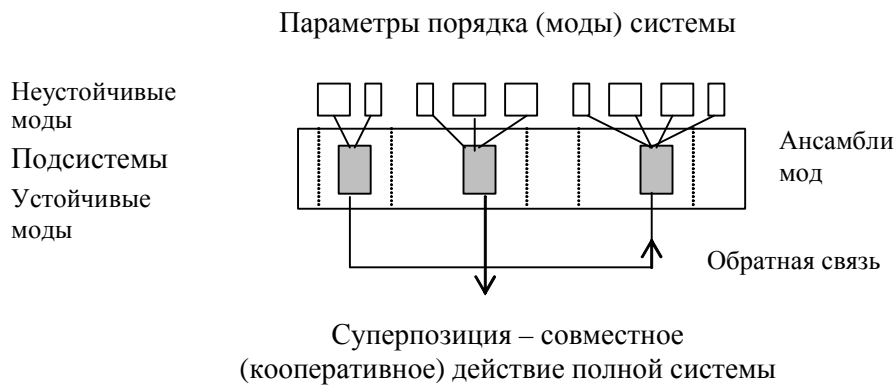
Анализ показывает, что сегодня одной из наиболее конструктивных теорий, позволяющих реализовать процесс управления диссипативными системами, является теория синергетики и, в ее рамках, концепция “моды” [17]; последняя рассматривается в физике и термодинамике (параметры порядка в теории фазовых переходов, они определяют все другие подсистемы). В физике “мода” – это тип собственных электромагнитных колебаний, возбуждаемых в резонаторе или распространяющихся в волноводе или других (например, упругие колебания) направляющих системах; в статистике “мода” – величина признака (варианта), чаще всего встречающаяся в совокупности единиц в вариационном ряду. Эта концепция

позволяет разработать следующую физическую (системную) интерпретацию процесса формирования структуры-аттрактора систем класса “природа–общество” (ее графическое – абстрактное – представление, выраженное в терминах синергетики и основанное на концепции “моды”, представлено в работе [14] и на рис. 4).

Из рис. 4. следует, что в физическом смысле структура-аттрактор представляет собой комплекс (комбинацию) устойчивых и неустойчивых мод, сведенных в ансамбли и формирующих некоторую относительно устойчивую (во времени, определяемом минимумом роста энтропии) суперпозицию, в которой наиболее полно и адекватно реализуется кооперативное действие полной системы. Структура-аттрактор формируется в результате “... незатухающих мод, нарастающих до макроскопических значений и определяющих динамику системы в окрестностях точки неустойчивости. Эти моды образуют остов, вырастающий из флуктуаций, превышающий порог неустойчивости. Они, таким образом, описывают “эмбриональное” состояние возникающей пространственно-временной структуры” [17, с. 244]. Отличие понятий реальной системы и структуры-аттрактора заключается в том, что первая характеризуется параметрами порядка, неустойчивыми (затухающими) и устойчивыми модами, их ансамблями и некоторой неустойчивой (развивающейся) суперпозицией системы, в то время как вторая выражается (главным образом) устойчивыми модами и устойчивой во времени суперпозицией системы (изменения происходят в результате перехода первой ко второй; основное значение здесь имеет процесс свертывания сложного – достижение минимума роста энтропии в конце данного перехода).

Вышеизложенный подход позволяет принципиально по-иному сформулировать такие основные (фундаментальные) понятия геоэкологии, как “равновесие” и “устойчивое развитие”. Например, “равновесие”, рассматриваемое как некоторое физически устойчивое во времени состояние сложно организованных систем, представляет собой процесс относительно постоянного сохранения в фазовом пространстве “ядра” структуры-аттрактора (геометрии, состояния и величины структурной энтропии  $H_q$ , которые поддерживаются калибровочной симметрией) и энтропии импульса ( $H_p$ ) системы. Этим обеспечивается сохранение структуры и поддержание режима деятельности системы, т.е. выполняется первая часть определения термина “управление” (см.: с. 90, 94). В терминах синергетики, “равновесие” – управляемый процесс, в результате которого обеспечивается относительно по-





**Рис. 4.** Абстрактное (графическое) представление процесса формирования структуры-аттрактора активной сложной системы класса “природа–общество”.

стоянное сохранение суперпозиции исходной системы (“ядра” структуры-аттрактора или подмножества потенциала ускорений со структурой [7, с. 12]) в фазовом пространстве окружающей среды. На практике – это, во-первых, процесс постоянной подпитки “ядра” структуры-аттрактора, т.е. восполнение массы, энергии и информации системы, и, во-вторых, сохранение размера и структуры фазового пространства ее притяжения.

Физический смысл “устойчивого развития” будет заключаться в последовательном и регулярно повторяющемся переходе от состояния “равновесие” к будущей (прогнозируемой) структуре-аттрактору более высокой (по структурной энтропии) форме ее организации,  $H_p \leftrightarrow H_q$ . В терминах синергетики – это регулярно повторяющийся процесс, в результате которого происходит одновременное изменение “ядра” структуры-аттрактора, а также ее суперпозиции (т.е. совместного – кооперативного – действия полной системы). Этим процессом обеспечивается реализация программы, цели развития системы, что соответствует второй части определения термина “управление” (см.: с. 90, 94).

В основе предлагаемой нами методологии и теории управления региональным природопользованием [13] лежит положение о двойственной (биосоциальной) сущности человека, согласно которому он (и общество в целом) одновременно входит в объект управления (“объект природы”) и систему управления (“субъект природы” – разумное существо и лицо, имеющее возможность принимать решения; см.: широко известную схему управления “телеологическими” системами Н. Винера [1] и принцип “зависимости” – “система + прибор” – Н. Бора и В. Гейзенберга, 1927). В работе [13, с. 178–199, (рис. 3.3.)] представлены основные элементы теории управления регио-

нальным природопользованием и формализованные представления общей, глобальной и локальной моделей управления системами класса “природа–общество”. Согласно этим моделям, управление (в теоретико-игровой постановке) следует рассматривать как процесс разумного и целенаправленного принятия решений, который определяется множествами состояний объекта управления и внешней среды, множеством функций лица, принимающего решение, действующего в направлении реализации функции управления для достижения глобального и локального критериев оптимизации, с учетом реакции объекта управления на управляющее воздействие и на реакцию внешней среды. Отсюда оптимальность управления системами класса “природа–общество” в терминах синергетики будет заключаться в последовательном “сжатии” структуры и времени перехода от исходной к прогнозируемой структуре-аттрактору [13, с. 130, рис. 2.3]. Основные методы решения подобных задач управления – распознавание образов и математический аппарат теории игр.

С точки зрения методологии и теории управления важное значение имеет процесс разработки специальных схем перехода реальной системы к будущей (прогнозируемой) структуре-аттрактору (оценка возможности систем класса “природа–общество” формировать область притяжения будущей структуры-аттрактора, поскольку развитие самой природы во времени происходит в результате последовательных бифуркаций). Или, что также возможно, способности реализации процесса ее “скатывания” в область притяжения предыдущей структуры-аттрактора. Одна из возможных схем подобного перехода представлена в работах [13, 14, 19] и на рис. 5 (здесь под “реальной структурой АСС” понимаются положения системы в точках 1 и 2, см.: рис. 3).

Обозначения на схеме следующие:  $S(t)$  – структура перехода;  $T(t)$  – время перехода; АСС – активная сложная система класса “природа–общество”; 1–2 – расстояние перехода; 3–4 – время перехода; точки А–В – оптимум перехода АСС к будущей (прогнозируемой) структуре-аттрактору. Здесь же необходимо еще раз напомнить, что все конкретные ситуации перехода в реальных условиях реализуются в функциональном (биологическом) пространстве, где события представляют собой процессы, локализованные во времени и пространстве, а не только траектории движения (И.Р. Пригожин, 1985).

Из схемы (рис. 5) следует, что реальная АСС класса “природа–общество” может существовать в двух формах: устойчивой, когда в ней сформировано “ядро” структуры-аттрактора и система удерживается областью его притяжения (фазовым пространством), и не устойчивой, когда подобной области нет. Тогда теоретически возможны два способа ее движения: путем ее “скатывания” в область притяжения предыдущей структуры-аттрактора (на схеме это показано двойной стрелкой) и путем движения в область притяжения новой (будущей, прогнозируемой) структуры-аттрактора (на схеме ломаной линией показан один из возможных путей такого перехода). Однако теоретически также возможен некоторый “оптимальный” путь (вектор) перехода; на схеме он обозначен жирной прямой стрелкой. Тогда точки А–В, полученные путем разложения вектора перехода на составляющие, и пересекающая их прямая дадут нам искомый оптимум перехода системы к будущей (прогнозируемой)

структуре-аттрактору; теоретически этот оптимум представляет собой процесс “сжатия”  $S(t)$  и  $T(t)$ , или расстояния (структуры) и времени перехода, что может быть записано в следующем виде (1).

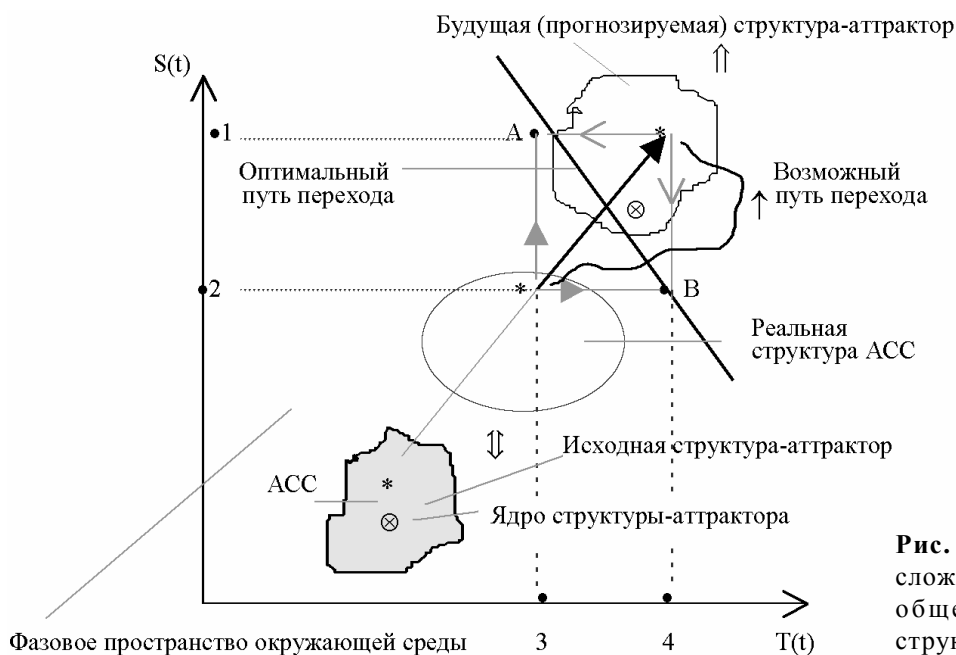
$$R_t(S) = \langle (\{H_n(S, \Omega, t=0)\} \Rightarrow^{\text{opt}} \{H_{sn}(S, \Omega_0, \Gamma, T)\}) \rangle$$

где:  $R_t(S)$  – управляющее решение в ситуации  $S$ , или оценка качества состояния АСС класса “природа–общество” на каждом шаге возможного перехода от исходной ( $t=0$ ) структуры к планируемой структуре-аттрактору;  $t$  – время,  $t \in T$ ;  $n$  – варианты решения;  $\{H_n(S, \Omega, t=0)\}$  – функция выигрыша (в теоретико-игровой постановке,  $\langle \dots \rangle$ ) по вариантам перехода;  $\Omega$  – фазовое пространство среды;  $\{H_{sn}(S, \Omega_0, \Gamma, T)\}$  – планируемая структура-аттрактор для глобального критерия оптимизации управления;  $\Omega_0 \in \Omega$ ;  $\Gamma$  – новое фазовое пространство среды.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

В научном плане предлагаемый в статье подход позволяет решать следующую проблему устойчивого развития регионов, которая рассматривается сегодня в качестве основной практической задачи геоэкологии как специализированной области знаний.

Прежде всего, он обеспечивает требуемую адекватность объекта и предмета исследования геоэкологии реальным природным и социальным системам и процессам. В текущей практике управления государственным и региональным природопользованием ре-



**Рис. 5.** Схема перехода активной сложной системы класса “природа–общество” к прогнозируемой структуре-аттрактору.

лизация этого положения должна обеспечиваться переходом на качественно иной и более высокий – геосистемный – уровень управления, который предполагает исследование геосфер планеты в территориальных (региональных) границах с одновременным учетом функций внутреннего и внешнего управления природными и социальными системами. Этот уровень управления, в контексте концепции и стратегии перехода Российской Федерации к устойчивому развитию [5], должен определять структуру и функции нового демократического государственного (функционального) института управления региональным природопользованием. Здесь же необходимо отметить, что, исходя из принципа “соответствия” Н. Бора (1913), активно используемые сегодня территориальный и отраслевой принципы управления должны в известной степени сохранять свою роль и значение (методически они принимают вид частного случая в новой теории более высокого уровня познания [16, с. 438]).

Второй важный научный и практический результат предлагаемого в статье подхода заключается в том, что он предполагает существенное расширение информационной области принятия управляющих решений. Это следует из известных принципов “дополнительности” и “неопределенности” Н. Бора (1913) и В. Гейзенберга (1927), а также из факта моделирования природных и социальных процессов на основе использования математического аппарата теории игр. Кроме того, он же позволяет на практике перейти от принятых сегодня последовательных к параллельным методам определения и принятия оптимальных управляющих решений в сфере регионального развития. Напомним, что в текущей практике принятия управляющих решений, они, как правило, принимаются последовательно; сначала просчитывается экономическая составляющая решения, а затем она корректируется (обычно – это экологическая экспертиза) со стороны экологических, социальных и прочих ограничений (при создании особо охраняемых природных зон – заповедники, заказники, природные парки и т.д. – эта процедура становится обратной). Предлагаемый в статье подход позволяет совмещать эти процедуры, что достигается уже самим фактом использования теоретико-игровых моделей принятия управляющих решений (антагонистические игры;  $H_f = \text{const}$  и  $H_f = \{H_q | H_p\}$ ).

Особый интерес представляют возможности использования настоящего подхода при разработке будущих эколого-экономических механизмов управления региональным природопользованием. Подобные механизмы должны предусматривать следующие этапы и процедуры. 1) Достижение состояний “равнове-

сия” и “устойчивого развития” систем класса “природа–общество”, при котором экономический рост допустим только в тех случаях, когда он поддерживает и обогащает внутреннюю и внешнюю связи системы.

2) Ориентация на экологически осознанное управление, при котором затраты в природоохранные мероприятия рассматриваются как капиталовложения в будущее и как средство достижения конкурентного превосходства [13, с. 341–344]. Поэтому в разрабатываемых на основе данного подхода эколого-экономических механизмах возможно принципиально иное решение этой проблемы (в математическом смысле – это переход от последовательной – со стороны экономики с ограничениями по экологии или наоборот – к параллельной процедуре принятия управляющих решений). При этом необходимо рассматривать не отдельные природные ресурсы и условия в качестве источников сырья и энергии, а “потенциальные” возможности биосферы, которые в сочетании с внешними силами природы и при “поддержке” их интеллектом общества позволяют осуществлять расширенное воспроизводство необходимых нам и биосфере в целом природных ресурсов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кратко изложенные в статье научные результаты исследования позволяют сделать следующий вывод. Правильно сформулированный (с системных позиций) терминологический аппарат геоэкологии позволяет уже сегодня перейти к новому этапу исследования биосферных (ноосферных) процессов – этапу научного переосмысления парадигмы системного представления мира, интеграции всех доступных нам знаний о природных системах и объектах, переоценки общественных отношений в сфере государственного и регионального природопользования. На этой основе возможно создание новых и высоко эффективных (интеллектуальных, т.е. человеко-машинных) структур и систем управления, а также эколого-экономических механизмов, посредством чего и должно обеспечиваться решение стоящих перед нами проблем согласования стратегий развития природы и общества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Под ред. Г.Н. Поварова М.: Сов. радио, 1968. 328 с. (Пер. с англ.).
2. Исследование по общей теории систем. М.: Прогресс, 1969. 599 с.
3. Капра Ф. Системное управление в 90-е годы // Проблемы теории и практики управления. 1991. №4. С. 5–9.
4. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика как новое мировидение: диалог с И. Пригожиным // Вопросы философии. 1992. №12. С. 3–20.

5. Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Утверждена Указом Президента РФ от 01.04.1996 г. №440 // Собрание законодательства РФ №15. Ст. 1572.
6. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. М.: Мир, 1990. 344 с. (Пер. с англ.).
7. Панченков А.Н. Энтропия. Н. Новгород: Изд-во об-ва "Интелсервис", 1999. 592 с.
8. Поздняков А.В. Механизм циклического развития социосистем // Принцип неопределенности и прогноз развития социально-экономических систем: Матер. III Всерос. научн. семина. "Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе". Томск: Спектр, 1999. С. 29–38.
9. Региональное природопользование: методы изучения, оценки, управления / П.Я. Бакланов, П.Ф. Бровко, Т.Ф. Воробьева и др.: Под ред. П.Я. Бакланова, В.П. Каракина: Учебное пособие. М.: Логос, 2002. 160 с.
10. Сысуев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения. М.: Географ. факультет МГУ, 2003. 175 с.
11. Турков С.Л. Принятие решений в системах управления природными ресурсами (вопросы методологии и теории) // Вычислительный центр ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1994. 240 с.
12. Турков С.Л. Неопределенность в управлении региональными программами экономического и социального развития // Принцип неопределенности и прогноз развития социально-экономических систем: Матер. III Всерос. научн. семина. "Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе". Томск: Спектр, 1999. С. 52–58.
13. Турков С.Л. Основы теории управления региональным природопользованием. Владивосток: Дальнаука, 2003. 367 с.
14. Турков С.Л. Ноосфера, теория синергетики и проблемы управления сложно организованными системами класса "природа–общество" // Закономерности строения и эволюции геосфер: Матер. VI междунар. междисциплин. научн. симпоз. Хабаровск: ДВО РАН, 2004. С. 576–589.
15. Турков С.Л. О функциональном определении понятия геосистемного каркаса территории // Матер. VII междунар. симпоз. "Проблемы устойчивого развития регионов в XXI веке". Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, БПИ, 2004. С. 58–59.
16. Философский словарь / Под ред. И.Т. Фролова 5-е изд. М.: Политиздат, 1987. 590 с.
17. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
18. Environmental aspects of the activities of transnational corporations: A survey. N.Y.: United Nations, 1985. 144 p.
19. Turkov S.L. Control of the region natural resources use. The problems of methodology and theory. Preprint N47. Computer Center FEB RAS. Khabarovsk: 2000. 29 p.

Поступила в редакцию 7 июня 2005 г.

Рекомендована к печати Б.А. Вороновым

*S.L. Turkov*

### **System interpretation of the principal concepts of geoeology**

Under consideration are results of research into the problem of formation of the terminology apparatus of geoeology as a new interdisciplinary scientific trend. The method base of the research is a new paradigm of the system conception of the world, the synergetics theory, the "mode" concept, the mathematical apparatuses of the game-theory modeling and pattern recognition.

**Key words:** system approach, synergetics theory, concepts, definitions, geoeology.