

УДК 910.1

А. П. Ковалев

Уровни научного отображения геопространства

Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина

Аннотация. В статье намечены пути создания научного образа географической реальности. Рассматривается понятийный аппарат, позволяющий адекватно отразить сложность структуры геопространства, в том числе устанавливается связь между такими понятиями как «геосистема» и «геокомплекс». Показано, что дискурсивное представление географической реальности предполагает описание на двух уровнях - физическом и информационном. Делается попытка выделить тот физический базис, который позволяет составить «физический» образ объекта. Вводится представление о П-ГИС - природной геоинформационной системе, и информационной машине как её составляющей. Дается краткое описание представлений автора о эволюции геопространства.

Ключевые слова: геопространство, геосистема, геокомплекс, эволюция геопространства.

В наше время географическая наука переживает кризис, проявляющийся в "вымирании" многих взглядов, выработанных географами прошлого. Мысли, которые в своё время воспринимались большинством как "абсолютные истины", быстро утрачивают свою привлекательность под влиянием новых фактов, новых взглядов, новых общенаучных подходов. Всё чаще среди географов возникает мысль о необходимости создания теоретической географии. Много раз уже делались попытки разработать такие конструкты, но каждый раз оказывалось, что возникшие "теоретические" взгляды либо охватывают очень ограниченный спектр географических явлений, либо просто не дотягивают до статуса теоретических. И дело здесь - в особенностях самого объекта исследования географии, который отличается исключительной сложностью, многомасштабностью, многомерностью, наличием нескольких уровней организации, наконец, плохой наблюдаемостью и встроенностью наблюдателя в сам объект. Возможно, именно по этим причинам на протяжении многих десятилетий географы только и делала, что занимались описанием и классификацией состояний географической среды, иногда пытаясь вывести географические "законы", которые оказывались, в лучшем случае, только эмпирическими обобщениями. Частично эту проблему в своё время рассмотрел Анри Болиг [1], показавший природу различия между законами физики и "законами" геоморфологии - одного из на-

правлений географии. В то же время, без хорошо обоснованных теоретических взглядов невозможно построить компактное отображение объекта: теория - это способ организации эмпирических фактов. Совокупность теоретических взглядов - это магистральные пути, которые прокладываются коллективной мыслью в направлении фронта познания (с ним связаны события порождения фактов). Такой - фронт продвигается неравномерно, "нащупывая" слабые области. Имея сложный объект исследования, географам следует постоянно следить за развитием новых общенаучных концепций, которые по своей структуре позволяют всё более полно отражать географическую сложность. А пока что сложность географического мира "поглощала" всё, что появлялось в теоретической сфере.

Свой обзор начну с понятий. Наиболее важные из них - пространство и время. Итак, перед нами стоит задача: используя общенаучные представления о пространстве и времени, создать представления, которые отражали бы особенности именно объекта исследования географии. А дело как раз и состоит в том, что возможность создания таких понятий доказывает существование географии как самостоятельной ветви знания. В свою очередь, пространство и время глубоко связаны с понятием симметрии, поскольку именно потеря симметрии в некоторой изначально изотропной среде позволяет наблюдателю создавать представления о пространстве

как неоднородности и времени как необратимой последовательности событий, связанных с такими нарушениями симметрии. Время как возникновение нового также является проявлением асимметрии, проявляющейся в виде стрелы времени: необратимость является следствием невозможности преодоления энтропийного барьера при движении вспять. В условиях, в которых общие законы термодинамики перестают действовать, может проявиться конструктивность необратимости: эволюционный процесс находит необратимость, то есть неповторимую историческую память. Что же мы здесь имеем?

Имеем пространство-время Вселенной (как последовательность событий, связанных с дифференциацией среды на звёзды и межзвёздное пространство), имеем пространство-время звёздно-планетных систем, имеем пространство-время нашей планеты - земное. Его следует рассмотреть более подробно. Вследствие продолжительной геологической эволюции Земля стала стратифицированной в направлении от периферии к центру, то есть возникло пространство с так называемой сферической симметрией: образовалось несколько сфер, которые различаются между собой химическим составом и физическим состоянием. Среди этих сфер - литосфера, гидросфера и атмосфера, которые в своё время почему-то были названы геосферами, хотя такими не являются, поскольку имеют отношение только к структуре земного пространства. Эта ошибка существенно мешала разработке географических представлений. В то же время эти сферы являются опорным пространством развития географического пространства-времени. Если быть последовательным, возникновение последнего означает нарушение симметрии земного пространства, то есть сферической симметрии. Именно это является первым этапом географического исследования - поиск нарушений симметрии земного пространства в пределах лито-, гидро- и атмосферы. Примеры таких нарушений известны. Наиболее крупномасштабным из них является дифференциация земной коры на два основных типа - континентальный и океанический. Следовательно, мы имеем, чем заниматься - выявлением нарушений сферической симметрии, механизмов таких нарушений и поддержания их в состоянии устойчивой неравновесности.

Что касается механизма возникновения структуры, это всегда тайна. Какая-то начальная флуктуация, которая в ограниченном пространстве порождает состояние, контактирующее с окружением. Если флуктуация превышает некоторое критическое значение, при наличии внешней энергии может включиться машина, которая будет поддерживать порождённую неустойчивость. Такая географическая машина должна получить своё название. В географии есть термин, который хорошо подходит к такой функции: это геосистема. Как и любая другая физическая машина, геосистема работает за счёт потребления внешнего потока энергии, преобразуя её в работу по сохранению и даже усилению асимметрии определённой части земного пространства. Геосистема как форма организации гетерогенного потока вещества, которая создаёт и поддерживает асимметрию определённой части земного пространства, должна подчиняться законам организации. Задача географов состоит в том, чтобы, используя современные общенаучные достижения, построить образ такой географической машины. Нас интересует, действуют ли механизмы самоорганизации в геопространстве?

Самоорганизация - это спонтанное образование регулярных пространственно-временных структур в сильно неравновесных распределённых системах самой разной природы. Поскольку образование географического пространства происходит в пределах литосферы, вещество которой способно сохранять форму на протяжении длительного времени, действие геосистем должно отражаться в её структуре, которая постоянно воспроизводится. Это делает такую структуру относительно устойчивой. Так, устойчивой является структура земной коры, сотни миллионов лет сохраняется дифференциация земной поверхности на долинные понижения и водораздельные массивы, тысячелетиями сохраняется соотношение между степью и лесом в лесостепной зоне и т. п. Первое, что видит географ - структуру, которая требует общего названия. В географии давно существует термин, соответствующий подобным явлениям - геокомплекс. Таким образом, геокомплекс создаётся действием потоков вещества и, возникнув, начинает детерминировать отобранные оптимальные варианты такого движения. Можно согласиться с вариантом, что геокомплекс является составляющей геосистемы - пространственно организован-

ной совокупностью её элементов аппаратурной реализации. Динамика геосистемы отражается в морфологии геокомплекса и детерминирована ею. В определённой степени эта структура проявляется в рисунке дневной поверхности, в соответствии организации которого следует поставить термин ландшафт. Таким образом, ландшафт - это организация дневной поверхности. Совокупность геосистем определённого уровня организации позволяет ввести понятие о геосфере как области действия геосистем данного уровня организации. Мы можем говорить о минеральной геосфере, биосфере, антропофере и т. д.

Теперь, когда основные понятия введены, обратим внимание на главные "действующие лица" - геосистемы. Как и любые другие природные машины, они являются открытыми диссипативными системами, далёкими от равновесия, которые эволюционируют в определённом направлении, а именно - максимально эффективной организации, позволяющей максимально эффективно реализовывать свою функцию. Поскольку, в отличие от инженерных конструкций, такие машины работают в условиях изменчивой анизотропной среды, неустойчивости материально-энергетических потоков, одного физического отражения может не хватить: перед геосистемой возникает вопрос восприятия, переработки и «производства» (отбора) информации, то есть реализации функции отражения, что также требует определённых механизмов и структурных составляющих (элементов аппаратурной реализации). Итак, отражение геосистемы должно происходить на двух уровнях - физическом и информационном, что делает задачу значительно более сложной и интересной. Попробуем рассмотреть, как это можно сделать.

Физический уровень отражения: геосистема как физическая машина. На этом уровне функционирования главными аспектами являются масс-энергетический, то есть поток массы и энергии через систему и их преобразование, и морфологометрический, которые тесно связаны между собой. Первый аспект - масс-энергетический - имеет отношение к преобразованию энергии в системе и устойчивости воспроизводства рабочего цикла. Хорошим примером моделирования режимов, по сложности приближающихся к косным геосистемам, является модель водных циклов, которая основывается на

чисто физических показателях [2]. Энергия используется геосистемой для достижения определённой целевой функции, которая может быть сложной. На вход системы она поступает, обладая высоким качеством, проходит последовательность преобразований и выходит из системы в состоянии, менее пригодном для совершения работы.

С физической точки зрения, любую геосистему (любого уровня организации) можно представить как устройство, структура которого предназначена для преобразования и транспортировки вещества за счёт использования внешней энергии. Следовательно, такое устройство должно иметь структуру, размеры и форму, которые позволяют максимизировать эти функции. Геосистема должна буквально "всасывать" вещество, переводить его в необходимое физическое состояние и передавать далее к следующему иерархическому уровню. Ясно, что в условиях недостатка вещества его движение должно быть замкнутым. Следовательно, если такая замкнутость не очевидна, следует иметь в виду, что в действительности она имеет место. Так, например, незамкнутый характер флювиального бассейна просто означает, что он является составляющей геосистемы значительно большего - в данном случае континентального - масштаба (геоморфологической машины, которая закачивает вещество и солнечную энергию в зоны субдукции и поддерживает гравитационный потенциал и размеры всего континента). Обозначим поток энергии, который способна захватить и использовать геосистема через H . Часть этой энергии запасается в структуре системы (это может быть дифференциация поля высот топографической поверхности, массы рыхлых горных пород, органическое вещество растений и почв, топливно-энергетические ресурсы и т. п.). Тогда можно записать:

$$H = \alpha H_{\text{структ}} + H_{\Delta}$$

где α - показатель прироста структуры, $H_{\text{структ}}$ - энергия, связанная в структуре, H_{Δ} - энергия системы, которую можно использовать для совершения работы. Нас будет интересовать вопрос, как будет изменяться организация системы, которая предназначена для преобразования и переноса вещества?

Прежде всего, она должна наращивать площадь активной поверхности с источником ресурса (как вещества, так и энергии).

Во-вторых, геосистема должна создать механизмы более глубокого преобразования ресурса в направлении, обеспечивающем большую концентрацию энергии на единицу объёма. В-третьих, геосистема должна создать такую организацию, которая позволяет оптимизировать соотношение режимов преобразования вещества (что требует определённого уровня устойчивости активной поверхности) и его пропуска через структуру, то есть образования потоков с наименьшими затратами энергии на перемещение. Ясно, что эти две функции предполагают необходимость изменений в противоположных направлениях, поскольку транспортирование вещества требует создания высокоорганизованной транспортной сети и её поддержания: чем больше размеры системы, тем больше энергии следует затратить на создание и поддержание внутренней транспортной инфраструктуры. Кроме того, организация любой системы должна поддерживаться определёнными физическими механизмами, которые требуют наличия и поддержания соответствующих потенциалов (например, в флювиальных бассейнах - водного стока и гравитационного потенциала). К этому следует добавить, что при увеличении размеров системы энергетическая эффективность её функционирования будет уменьшаться. Таким образом, возникает задача оптимизации: увеличение размеров геосистемы требует роста затрат энергии, которые пропорциональны объёму (то есть L^3), в то время как поступление энергии пропорционально только площади (L^2). И хотя увеличение размеров геосистемы делает её менее чувствительной к флуктуациям, оно вызывает рост затрат (энергии и времени) на транспортирование вещества и воспроизводство структуры, функциональная эффективность которой к тому же падает. Можно допустить, что оптимальные размеры геосистемы будут определяться соотношением интенсивности масс-энергетических потоков на входе к метаболической интенсивности на выходе, то есть:

$$dV/dt = \alpha L^2 - \beta L^3$$

где V – объём, t – время, α и β – коэффициенты, связанные с входным потоком ресурса и потоком на выходе соответственно. Прекращение роста размеров геосистемы происходит тогда, когда $dV/dt = 0$, то есть максимальные размеры будут опре-

деляться отношением α/β – констант входного и выходного потоков.

В свою очередь, соотношение этих констант в значительной степени зависит от соотношения между площадью и объёмом. Чем больше это соотношение, тем легче будет протекать обмен со средой. Однако здесь также возникает интересная ситуация: относительное увеличение поверхности интенсифицирует обмен и, соответственно, увеличивает потребность в ресурсе, то есть делает систему более зависимой от среды, что снижает её устойчивость. Тогда небольшие системы должны эволюционировать к максимально упрощённой изометрической форме с минимальным соотношением поверхности и объёма, а начиная с определённого критического размера, системы должны эволюционировать в направлении более сложной формы, что позволяет увеличить соответствующее соотношение. Свободная поверхностная энергия F^s при постоянных температуре и составе поверхностного слоя равна работе, которую необходимо затратить на образование единицы новой поверхности: $F_s = A_s = \sigma$, где σ – свободная удельная поверхностная энергия [3]. Такая энергия может возникнуть только в виде локальной концентрации.

Но к этому обмену имеет отношение и производство энтропии как меры неупорядоченности, то есть проблема размеров и соотношения поверхности и объёма связана также с действием второго начала термодинамики и производством в системе энтропии, которое пропорционально объёму (L^3). В то же время сброс энтропии происходит через поверхность (L^2). Этот баланс выражается соотношением: $\Delta S = \Delta_s S + \Delta_e S$. Это означает, что система должна притягиваться к стационарному состоянию относительно приращения энтропии: $\Delta S = 0$. В таких условиях должна реализовываться стратегия, ведущая к увеличению отношения поверхности к площади, что означает всё большее расчленение. Мы видим, что расчленённость содержит информацию о метаболической активности системы.

Теперь коротко рассмотрим чисто физическую проблему работоспособности геосистем. Такой показатель известен как экзергия (например [4]). Экзергия – это рабочий потенциал, который может быть передан от некоторого ресурса другому ресурсу путём его расхода или преобразования. Во всех реальных процессах пре-

образование экзергии сопровождается её потерей, что может происходить с или без преобразования энергии. Рабочий потенциал, известный ещё как работоспособность, или доступная энергия, есть максимальное количество работы, которая теоретически может быть выполнена путём перевода ресурса в равновесие со средой через необратимый процесс. Из этого вытекает, что экзергия является физическим свойством как ресурса, так и среды. В отличие от массы и энергии, экзергия может быть перемещена от одного ресурса к другому, или полностью утрачена. Поэтому экзергия не является консервативным свойством. Экзергия всегда теряется при любых трансформациях энергии или вещества.

Общее выражение для удельной экзергии (e) и удельной энтропии (s) как ресурса, так и его среды с абсолютной температурой (T) (обозначенных как e_0 , s_0 , T_0) есть [4]:

$$\varepsilon = (e - T_0 s) - (e_0 - T_0 s_0).$$

Для лучшего понимания смысла уравнения, делается след/ующая перестановка:

$$\varepsilon = (e - e_0) - T_0 (s - s_0).$$

В такой записи ($e - e_0$) есть количество энергии, которую необходимо отвести от ресурса для того, чтобы этот ресурс оказался в состоянии равновесия со своей средой. Итак, это то количество энергии, которое отделяет ресурс от среды. Но это ничего не говорит нам о том, сколько энергии может быть получено от ресурса для совершения работы. Для определения доступного рабочего потенциала необходимо рассмотреть другую составляющую – $T_0 (s - s_0)$. Эта составляющая есть различие в качестве, то есть разность рабочего потенциала, отделяющая ресурс от его состояния в равновесных условиях. В ходе эволюции геопространства геосистемы должны были смещаться в направлении всё более полного использования рабочего потенциала.

Ещё один момент, имеющий отношение к проблеме оптимальных размеров геосистемы - устойчивое функционирование. Этот вопрос в своё время был поставлен автором в работе [5]. Достаточно сказать, что при увеличении размеров в системе может возникнуть неустойчивость, ведущая к возникновению структуры путём нарушения исходной однородности (это так называемый тьюринговский механизм структурообразования). Благодаря развитию локальных положительных и отрицательных дальнотействующих

связей, в системе возникает и стабилизируется функциональная структура, которая имеет выраженное пространственное проявление. Речь идёт о возможности достижения системой структурно-функционального насыщения, которое позволяет ей устойчиво воспроизводить все необходимые функции. Для этого, понятно, она должна иметь необходимые размеры и оптимальную форму. Больше того, в её составе и динамике должны присутствовать элементы и динамические режимы, позволяющие отслеживать не только изменения во внешней среде, но и внутреннее пространство состояний, что необходимо для выхода на оптимальный режим. Если геоситуация (как соотношение между состоянием геосистемы и её среды) приближается к так называемой бифуркационной границе, в геосистеме должны интенсифицироваться режимы поиска, волны неустойчивости, механизмы выбора и закрепления новых вариантов динамики, что требует развития "когнитивной" функции. Проблема размеров геосистемы имеет отношение к вопросу об оптимальности её структуры, что выводит на первый план морфолого-метрический аспект и вопросы, связанные со структурно-функциональной оптимизацией геосистем. Это выходит за пределы исключительно физических понятий и делает необходимым рассмотрение геосистем в терминах информационной концепции, рассмотренной ниже.

Морфолого-метрический аспект. Морфолого-метрический аспект объединяет вопросы построения оптимально организованного внутреннего пространства геосистемы - её геокомплекса. Начну с того, что морфология содержит в себе информацию о динамике системы. В большинстве случаев именно наблюдение за изменением пространственного паттерна даёт нам информацию об эволюции геосистем.

Оптимизируется как внутренняя структура, так и общая форма образований, которые производятся действием геосистем. В своё время автором была выявлена интересная закономерность, касающаяся эволюции флювиальных бассейнов (здесь движение во времени заменено движением через ранги). Речь идёт об отношении площади бассейнов соседних рангов (для территории США), что показано на рис. 1. Мы видим, что в системе бассейнов разных рангов этот показатель очень быстро "сваливается" к своему аттрактору. Такая эволюция должна вызываться определёнными

ными изменениями в динамике. В данном случае можно сказать, что система развивается в "вязкой" среде, что вызывает действие сил трения. Именно они приводят к уменьшению амплитуды колебаний. Такие ситуации обычно описываются уравнением общего вида [6]:

$$\dot{x} = Ce^{At}$$

где x – координата, t – время. В нашем случае показатель степени будет отрицательным. Остаётся найти причины такой вязкости.

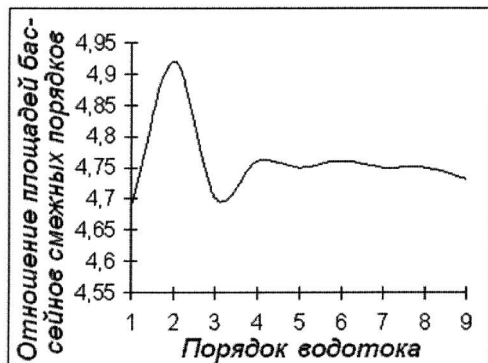


Рис. 1. Изменение отношения площадей бассейнов соседних порядков в направлении увеличения ранга бассейнов

Последние два десятилетия наибольшее количество работ по морфологической оптимизации посвящалось поиску метрических соотношений физических составляющих (элементов аппаратной реализации) геосистем. В наибольшей степени были развиты представления о том, что природные системы организованы по правилам фрактальной геометрии. Начиная с работ Б. Мандельброта относительно фрактальности речных сетей, берегов морей и т. п., в этом направлении было выполнено много исследований и выявлено много интересных закономерностей, которые проявляются в географических явлениях разных уровней организации (например [7, 8, 9] и другие). Но фрактальная идеология, как и любая другая идеология, имеет свои ограничения. Во-первых, фрактальность паттернов является условной, поскольку фрактальная размерность выявляется в ограниченном диапазоне масштабов, в то время как фрактал не имеет масштабных ограничений. Особенно важным это становится тогда, когда речь идёт о составляющих наименьшего масштаба. Это важная проблема, которую автор поднимал ещё в работе [10]. Дело в том, что наименьшие элементы – это наиболее важные составляющие геосистем, реализующие функционирова-

ние определённого типа, а, следовательно, они должны быть конечными по своим размерам. Это, например, клетки, из которых состоит живой организм, листья, элементарные флювиальные бассейны, элементарные социумы (группы), элементарные хозяйства в структуре региона и т. п. Во-вторых, фрактальность всегда проявляется как статистическое свойство. В-третьих, фрактальность не даёт никакого объяснения механизмов возникновения такой организации (не только пространственной, но и временной, поскольку в динамике систем также выявлены фрактальные размерности). И хотя выявление фрактальности является важной составляющей исследования, возникает вопрос об альтернативе этой идеологии (отсутствие альтернативности всегда заводит процесс познания в тупик).

В последнее время в литературе всё большее внимание уделяют новому подходу – так называемой конструктивной теории. Особенно интересными для нас являются работы Адриана Беяна (Adrian Bejan) [11]. Привлекательность этого подхода состоит в том, что возникающая морфологическая структура формируется под влиянием законов оптимизации движения вещества и энергозатрат. К тому же, с моей точки зрения, А. Беян совершенно справедливо начинает разговор с возникновения и оптимизации компонентов элементарного уровня, из которых впоследствии, если для этого есть соответствующие условия, формируются системы большего масштаба. Здесь уже нет статистики, а есть детерминированный расчет оптимальной структуры. Это настоящее конструирование, которое, согласно А. Беяну, имеет место и в природе. Больше того, этот автор вводит новую стрелу времени: от элементарного к большому, от простого к сложному. Примеры такого природного конструирования (самосборки) можно найти на самых разных уровнях организации геосистем – косном, биотизированном и антрополизированном.

Однако возникает вопрос, могут ли такие оптимизированные на основе детерминированных принципов образования существовать в изменчивой среде, которая содержит много случайностей? Ответ должен быть положительным. Как показал А. Беян [11], важным моментом здесь является тот факт, что найденные оптимальные соотношения (а речь идет, пре-

жде всего, о форме составляющих и морфологии паттернов путей быстрого движения потоков) могут несколько отклоняться от оптимальных значений, что не ведёт к существенному уменьшению эффективности функционирования структуры. Вот здесь мы и находим объяснение того, что не идеальность природных паттернов является следствием реагирования образующих их геосистем на внешние воздействия. Форма паттерна отклоняется от идеальной и приобретает признаки статистической. Именно необходимость такого реагирования требует от соответствующей системы способности реагировать на изменения в среде. Это означает, что морфология элементов должна быть не грубой (в физике существует понятие грубости системы), их структура должна

иметь возможность изменяться. Хорошим примером может служить развитие эрозионного канала и отображение его морфологии с помощью фазовых портретов изменения в пространстве его главных характеристик. Идеальный (прямой) канал вообще не порождает фазового портрета. Реальный канал демонстрирует сложную морфологию, отражая историю своего продвижения и движение воды в нём. "Алгоритм" такого движения практически не сжимается. Это показано на рис. 2 (полевую съёмку канала выполнили А. Жигилий и А. Малуша). Для отображения этого движения необходимо большое количество символов и сложные правила оперирования с ними. Уже сам поток воды, будучи гетерогенным, содержит в себе неустойчивость движения.

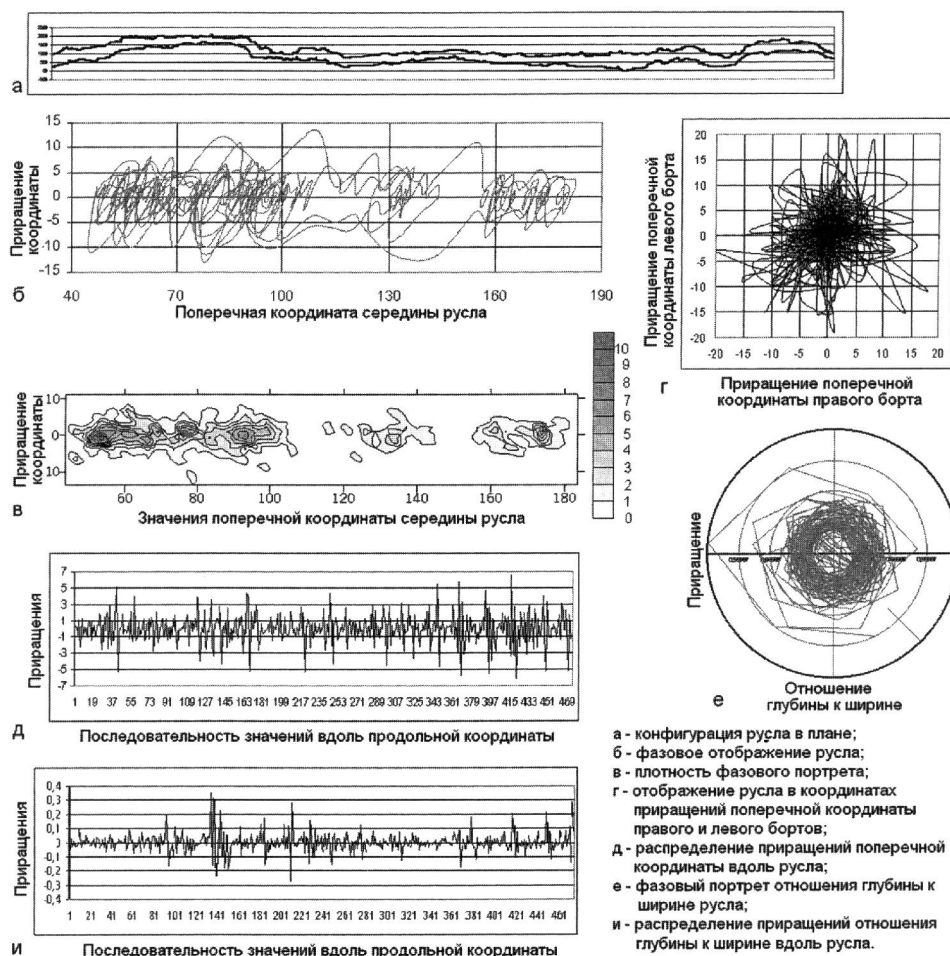


Рис. 2. Разные формы отображения русла водотока. Фазовый портрет отображения глубины к ширине демонстрирует наличие предельного цикла

"Онтогенез" геосистем. Теперь мы можем коснуться сложного вопроса "онтогенеза" геосистемы как целого. Любая организо-

ванность всегда является проявлением некоторой цели, достижение которой требует снятия определённых ограничений. В ходе

становления природная система, образно говоря, нащупывает эту цель - свою природную функцию, подбирая под неё структуру и форму. Здесь и возникает необходимость обратиться к принципам, лежащим в основе "онтогенеза" геосистем.

Со времени работы А. Лотка проблема эволюционных принципов не давала покоя многим специалистам в области эволюции систем. На сегодня вырисовывается два таких принципа, которые включают изменения системы по отношению к потоку энергии. Первый связан с ростом потока энергии через систему, второй - с ростом эффективности её использования (то есть интенсификацией системы). Несколько позднее, в 1955 году И. Пригожиным был сформулирован принцип минимума производства энтропии. С этим принципом находится в соответствии и принцип оптимальной структуры Р. Розена [6], согласно которому требуется минимизация "метаболической цены", которая измеряется количеством энергии, затрачиваемой системой для создания и поддержания структуры. Однако к этому следует добавить, по крайней мере, ещё два момента:

это уменьшение зависимости от источника ресурса, что влечёт за собой замыкание потока вещества, и создание механизмов обработки информации и её "порождения" внутри самой геосистемы. Первый аспект является физическим, второй - информационным, хотя и предполагает наличие определённой физической реализации.

Понятно, что на этапе становления геосистемы количество энергии, которая расходуется на образование структуры, будет расти с увеличением её размеров, после чего наступает уменьшение энергозатрат, обусловленное именно процессом оптимизации. Замечательным примером может быть развитие флювиальной сети (рис. 3): на последних этапах наблюдается упрощение её структуры, что, соответственно, должно сопровождаться уменьшением затрат энергии на её обновление (графики получены в результате обработки паттернов, помещённых в работе [12]). Но такое упрощение может иметь место только в "мёртвой" среде, то есть такой, в которой нет изменений (что и имело место в ходе эксперимента).

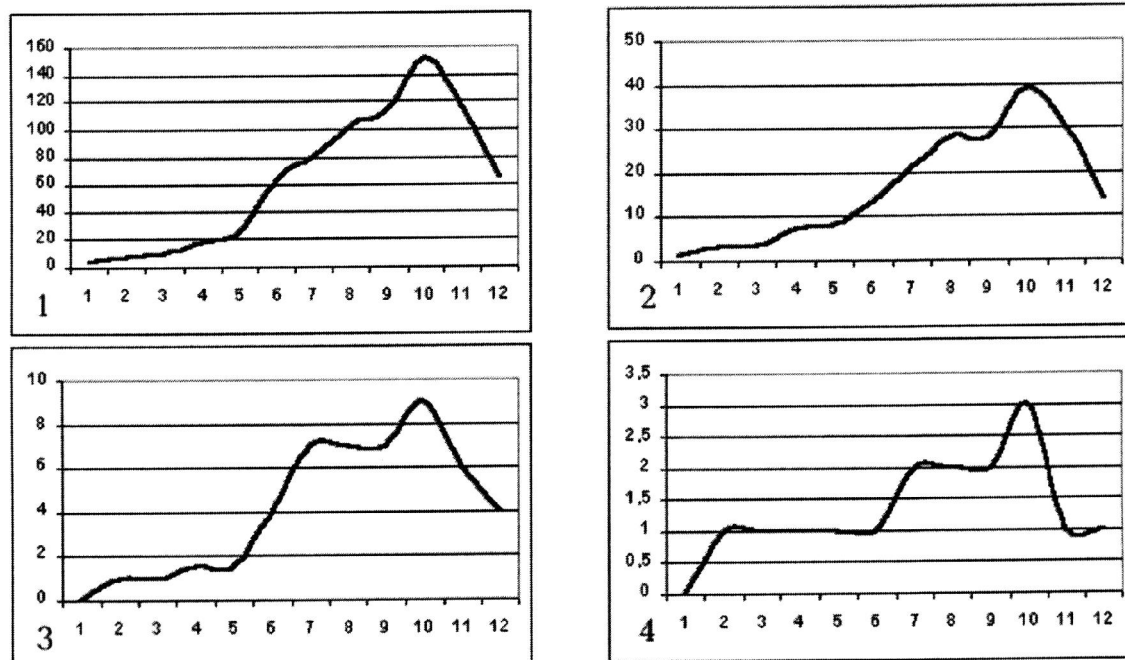


Рис. 3. Изменение количества водотоков разных порядков в ходе развития флювиальной сети: 1 – водотоки 1-го порядка, 2 – водотоки 2-го порядка, 3 – водотоки 3-го порядка, 4 – водотоки 4-го порядка.

Введём показатель уровня энергетического развития, который отражает интенсивность использования энергии на единицу воспроизводимой структуры:

$$K = H / \alpha H_{\text{структ.}}$$

Становится понятным, что энергетическая оптимизация в геосистеме ведёт к образованию дополнительного количества свободной энергии. Возникает вопрос, на что она может расходоваться. Автор вы-

сказывает гипотезу, что эта энергия идёт на интенсификацию и порождение внутренней неустойчивости, которая имеет характер флуктуации. Как будет показано ниже, именно это позволяет геосистемам прощупывать пространство внутренних состояний (режимов функционирования) и отслеживать изменения, приходящие в окружающей среде. Но это опять требует обращения к информационному аспекту.

В ходе становления геосистема постепенно осваивает собственное пространство внутренних состояний. На рис. 4 показано очень упрощённое отображение структуры внутреннего пространства состояний, поскольку такая структура описывается n -мерным пространством. По причине ресурсной ограниченности, реализуются далеко не все состояния (геотермы), что даёт возможность геосистеме вести постоянный поиск новых, более эффективных вариантов. Но переходы между состояниями (треки системы) требуют преодоления потенциальных барьеров, что возможно только в случае наличия необходимой концентрации энергии (геотермы "сидят" в потенциальных ямах и их состояниям соответствуют максимумы плотности вероятности). Это адаптивные системы, а их движение в пространстве состояний сходно с конформационной динамикой. Для реализации контактного состояния система должна иметь определённую конформационную свободу в виде степеней свободы, что даёт ей возможность производить выбор. Это требует, чтобы система была в определённой степени внутренне неустойчивой. Обозначим оптимальное состояние системы через A^0 с координатами $(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$. Тогда уравнение [13]

$$P^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - x_i^0)^2$$

задаёт отклонение системы от оптимального режима (структуры). Такое детерминированное движение можно связать с целенаправленностью системы, что, однако, свойственно только человеку с его опережающим отражением (разные по размерам группы людей могут достигать поставленной цели), и то имеющим ограничения. На более низких уровнях организации такое движение происходит, так сказать, "в слепую", что выводит на первый план представления о случайном выборе, а это опять таки не физический уровень отображения.

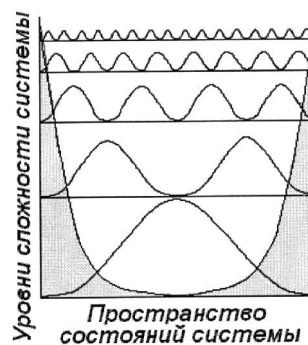


Рис. 4. Схема, которая демонстрирует смену количества устойчивых состояний (функциональных режимов) системы в ходе увеличения сложности (информативности). Область запрещенных состояний затемнена.

На этапе экстенсивного развития геосистема затрачивает много энергии на развитие структуры. Сначала появляются составляющие, которые быстро развиваются в условиях отсутствия внутренней конкуренции за ресурс. Двигаясь от меньшего разнообразия элементов и режимов к максимально возможному, система порождает внутреннюю конкуренцию. При этом происходит всё большая дифференциация функциональных ниш, между которыми также происходит конкуренция за ресурс. Функция, которая на определённом этапе развития геосистемы обеспечивает ей определённые преимущества, будет захватывать больше ресурса за счёт других функций. Это называется гипертрофией функции. Такой ход событий неизменно ведёт к возникновению внутреннего кризиса и, в конце концов, приведёт (путём согласования) к росту энергетической и функциональной эффективности структуры в целом (в ином случае геосистема просто разрушится). Но выход на устойчивый оптимальный режим ведёт к усилению гомеостазиса, что существенно уменьшает вероятность выхода на новые динамические режимы, а необходимость в таких режимах существует. Происходить это должно путём постоянного разрушения старой и генерированная новой структуры. Речь идёт о том, что в каждой геосистеме должны присутствовать деструктивно-конструктивные циклы [5], благодаря которым как раз и происходит её эволюция в направлении целевой функции. Это движение должно иметь асимптотический характер. Можно привести много примеров действия механизмов разрушения структур. Это - денудация, паводки, пожары, войны, экономические кризисы и т. п. Однако к какому состоянию стремятся геосистемы, и какие принципы лежат в основе

их движения? С точки зрения автора, отбираются системы, способные создавать комплементарные структуры, т. е. внутренне неравновесные, реализующие кооперативное функционирование.

Закон свободной конкуренции и развитие геосистем. По Б. А. Трубникову [14], существует "закон распределения конкурентов", который является следствием их движения через ранги. Общий характер интегральных спектров распределения можно записать так:

$$n_m = A / m^2,$$

где n_m – погонное количество объектов, приходящихся на единичный линейный интервал (ранг), или дифференциальный спектр (масс или массивности объекта), m – масса (или массивность), A – константа, которая не зависит от m . Такой поток массы вдоль координаты масс можно записать так:

$$n_m = Q_m / mm'',$$

где m'' – скорость движения объектов вдоль координаты масс. Этот автор приводит примеры таких спектров для фирм и городов. В своё время мною был получен такой спектр для флювиальной сети и интересные соотношения между площадями территорий, на которые распространяется влияние городов разных рангов [15]. В работе [16] К.М. Хайлов поднимает вопрос о сравнительной организованности Гео и Био в земном геопространстве, демонстрируя подобные распределения для объектов разной природы.

Массивность – это важная характеристика системы, но динамические системы, с которыми имеет дело географ, следует описывать в терминах масс-энергетического переноса. Показателем здесь может быть количество движения, то есть поток. Этот поток должен быть пропорциональным единичной массе m , скорости x , а также "погонному" числу элементарных масс n_x , и с развитием геосистемы должен расти, достигая максимума. Поток (Q_x) вдоль координаты, совпадающей с направлением градиента, можно задать так:

$$Q_x = m \cdot x \cdot n_x \rightarrow \max$$

Таким образом, на первое место выходит вопрос пропускной способности структуры. Известно, что со временем геосистемы (в том числе антропогенные, которые включают производственные циклы) смещаются в направлении функциональной интенсификации, что возмож-

но только путём увеличения темпа круговорота вещества (замкнутого потока). Но такое увеличение может стать причиной неустойчивости, по крайней мере, в отдельных частях геосистем и в отдельные периоды времени.

Отображение на информационном уровне: геосистема как информационная система. Частично эта идея связана с высказываниями некоторых авторов. Так, Анри Пуанкаре писал: «Наше тело сложено из клеток, клетки – из атомов. Составляют ли эти клетки и эти атомы всё, что есть реального в человеческом теле? Не является ли способ, которым эти клетки собраны и который предопределяет единство индивида, также реальностью и реальностью значительно более интересной» [17, с.358]. Ещё более определённо по этому поводу высказывались Г. Николлис и И. Пригожин: "... для определённого класса стохастических динамических систем естественно ввести ещё более высокий уровень абстракции и говорить о символах и информации" [18, с.223]. Но наиболее выразительно высказался харьковский физик Ю.В. Романов: "...все предметы, окружающие нас, включая нас самих, есть ни что иное, как проявление некоторых сложных Ψ -функций, которые, строго говоря, и следовало бы считать этими предметами, а не наоборот" [19, с. 12]. Следует отметить существенный вклад географов в развитие этого аспекта, среди которых особая роль принадлежит А.Д. Арманду (например, [20] и другие работы).

С позиции приведенных взглядов, геосистемы также следует рассматривать как такие объекты, которые в своей глубинной основе имеют информационную природу. Она "спрятана" от наблюдателя за своим физическим проявлением в виде тех физических, химических, биологических и социальных процессов, благодаря которым тот или иной геокомплекс формируется. И действительно, эти процессы разной природы, и объекты, которые входят в состав геокомплекса, сами по себе не являются географическими. Но тогда благодаря чему они создают более или менее организованное геосистемное единство? Благодаря чему появляется упорядоченность и достигается сродство разнородных составляющих?

Следует согласиться, что наряду с физическим взаимодействием объектов, которое отражается в терминах масс-энергетического переноса, существует нечто, что требует для своего отображения использования таких понятий как символ и информация. Это совсем другой слой отображения, на котором сложная динамика воспринимается как последовательность некоторой ограниченной совокупности символов, из которых формируются природные тексты - ландшафты. В таком же плане высказываются Г. Хакен [21], который даёт розширенный взгляд на информацию, и Р. Л. Томпсон, утверждающий, что "природа изначально сложна и содержит в некотором закодированном виде информацию о строении живых организмов, как простейших, так и высших" [22, с. 123]. Их появление может быть связано с разными процессами. Это как раз и позволяет моделировать символическую динамику, которая связана с одной категорией физических явлений, с помощью физических процессов совсем другой природы. Речь идёт о существовании чего-то, что "подстигает" физические процессы и проявляется независимо от конкретной физической природы явления. Следом за Дж. Николисом [23], будем называть его программным обеспечением. Именно этот момент делает принципиально возможным как природное когнитивное отображение мира, так и отображение на основе компьютерных технологий. Таким образом, в геосистемах должно существовать два слоя, которые воспринимаются как "физический" (Н-уровень), и уровень "программного обеспечения" (S-уровень).

В своё время в работе [24] автором, вместе с В.В. Богомоловым и А.В. Сидоровым было введено понятие о П-ГИС - природной геоинформационной системе. В чём его суть? С помощью термина "географические информационные системы" (ГИС) чаще всего ссылаются на некоторую разновидность компьютерных систем, или автоматизированных информационных систем. Такого же рода и системы автоматизированного проектирования, автоматизированного управления технологическими процессами, системы поддержки принятия решений и т. п. Однако термин "географические информационные системы", с точки зрения автора, может претендовать на роль отдельного понятия, что отражает «информационную» сущность географи-

ческих объектов. Кстати, только существованием реальных П-ГИС, производящих природные тексты, можно объяснить возникновение компьютерных ГИС-технологий (К-ГИС): символическая динамика П-ГИС воспроизводится с помощью элементов аппаратной реализации компьютеров и их программного обеспечения. Думаю, что геоинформационные системы - это реалии, то есть это режимы, динамика которых ведёт к образованию природных текстов. Добавлю, что действие геосистем и проявляется внешне именно через такие тексты, поскольку сами геосистемы как таковые мы визуальнo наблюдать не можем.

Информацию можно рассматривать как меру организованности системы в данной среде, как меру снятия начальной неопределённости, или как меру отклонения системы от полной свободы действия. Любая организованность есть, прежде всего, ограничение. В интересной работе [25] В. Эбелинг и Л. Фрёммел определили основные особенности информации и информационных процессов. Как считают Г. Николис и И. Пригожий, информация связана с двумя фундаментальными условиями: асимметрией и случайностью [18]. Это положение непосредственно касается геосистем. Дело в том, что геосистемы принадлежат к классу так называемых диссипативных систем. Крайне важной чертой таких систем является более или менее выраженная неупорядоченность, неустойчивость движения, что и "позволяет системе непрерывно прощупывать собственное пространство состояний, образуя тем самым информацию и сложность" [18, с.224]. И хотя случайность ведёт к генерированию астрономического количества состояний и их последовательностей, "будучи результатом некоторого физического механизма, эти состояния возникают с вероятностью единица" [18, с. 224]. А это уже очень интересно: конечное количество процессов, которые физически проявляются, ведёт к снятию бесконечной информации, т. е. природные системы, включая геосистемы, можно рассматривать как способ подавления неограниченной информации. Остаётся найти ответ на вопрос, почему в спектре природных процессов (например, связанных с грунтовой и водно-грунтовой средами переноса грунтовых масс) появляется такое неравномерное распределение вероятностей, при котором движения с определёнными характеристиками возникают значи-

тельно чаще, чем промежуточные варианты. Эти выделенные разновидности являются аттракторами.

Если стать на позицию Ю.В. Романова, такое отображение должно осуществляться через совокупность пакетов Ψ -функций, которые определяют поле плотности вероятности проявления процессов на H -уровне геосистем. Согласно [26], в квантовой физике волновая функция является понятием, подобным понятию электрического или магнитного поля, но имеет вероятностную интерпретацию. Итак, мы имеем "программу" геосистемы, которая к тому же постоянно изменяется. Можно допустить, что именно природные ГИС и в том числе их Ψ -функции являются ключевыми, глубинными объектами исследования географии, поскольку именно на этом фундаментальном уровне заложено организующее начало становления структуры геопространства и процесса его развития. Речь идёт об алгоритмах, по которым происходит движение. Проникновение на этот глубинный уровень становится важным условием становления теоретической географии, поскольку понимание того, что происходит в геосистемах на "физическом" уровне тем ближе к истине, чем точнее идентифицированы соответствующие природные геоинформационные системы.

Информационный аспект появляется в тех случаях, когда мы сталкиваемся с явлением управления и самоорганизации. Такое возможно только в динамических системах, которые имеют сложность, превышающую некоторое критическое значение, и определённый уровень организованности, то есть те, которые в ходе эволюции способны порождать новые иерархические уровни. Это так называемые диссипативные системы, которые, в отличие от консервативных систем, не сохраняют меру в фазовом пространстве. Кроме того, такие системы не являются инвариантными относительно обращения времени. Если такую систему поместить во внешнее поле, мы можем наблюдать случай нарушения симметрии, то есть асимптотическое поведение - стремление к некоторой выделенной ситуации - состоянию динамического равновесия. Сложность системы при этом возрастает, если иметь в виду длину инструкции, которая необходима наблюдателю для восстановления такой системы. Повышение сложности требует повышения уровня организации.

При определённом уровне сложности возникает необходимость в «сжатии» описания системы, что требует введения символического отображения. Но такое отображение, если оно носит организованный характер, является языком. Язык - это способ исследования, моделирования (построения внутренних образов) и управления ситуацией. Язык - это форма отклика системы обработки информации. Он определяет когнитивные пути системы в мире. Это - способ генерации многими способами огромного количества альтернативных аperiodических последовательностей символов («гипотез»), которые система сравнивает с данной последовательностью сигналов, поступающих на вход, и интерпретирует с помощью наиболее вероятной «модельной» последовательности, которая наилучшим образом коррелирует с последовательностью, поступающей на вход [23]. Языки - это также самоорганизующиеся системы, действие и эволюция которых зависит от связи между H -уровнем и динамикой символов на S -уровне. Центральной проблемой здесь является выяснение того, каким образом символические взаимодействия «возникают» из энергетической динамики. Иногда всё выглядит так, будто в динамику были встроены «грамматические правила». Как пишет Дж. Николис, проблема состоит в создании интерфейса между структурами системы, и её функциями, где динамика проявляется в виде последовательности взаимозависимых символов [23]. Особой проблемой здесь является выявление механизмов взаимодействия между уровнем «аппаратурной реализации» (H) и функциональным «программным обеспечением» (S). Согласно [23], связь $H \rightarrow S$ порождает передачу коллективных свойств динамики в H на фоне флуктуации окружающей среды, а связь $S \rightarrow H$ порождает управление с опережением, что накладывает ограничения на динамику в H . Существование на H -уровне колебательных структур, которые самоподдерживаются, следует рассматривать как предпосылку для возникновения символов. Отмечу, что символы, с одной стороны, являются сигналами для возникновения структур, с другой - характеристиками, или «метками» этих структур.

Понятие об информационной машине и энтропийном барьере. В физике существует понятие о тепловой машине, которая совершает рабочий цикл за счёт внешнего

источника тепла. В ходе такого цикла рабочее вещество расширяется, а затем сжимается, передавая тепло от нагревателя к холодильнику и тем самым, совершая рабочий цикл. Автор поставил перед собой вопрос, а нельзя ли с такой точки зрения посмотреть на информационные процессы? Имеется ли в структуре П-ГИС нечто, подобное информационной машине?

Информационную машину определим как структуру, динамические режимы которой позволяют совершать работу по отбору, обработке и закреплению информации на основе использования негэнтропии внешнего потока энергии. Здесь мы действительно имеем «информационный цикл», поскольку на входе такой машины информация о ситуации расширена (большая информационная энтропия, неопределённость), но благодаря внутренней динамике, информация сжимается, и поведение системы приобретает организованный характер. Эффективность такой машины будет определяться степенью и качеством сжатия информации в моделях, которые она генерирует (внутренняя динамика) на единицу её аппаратной реализации. Машина, которая обрабатывает большее количество информации с наименьшими затратами ресурса (энергии, времени, операций и т.п.), будет наиболее эффективной.

Теперь снова обратимся к рис. 4, на котором показан "профиль" пространства состояний. Переход от одного геотерма к другому должен протекать путём преодоления энтропийного барьера (рис. 5), то есть сначала система должна накопить дополнительную энтропию (внутреннюю неупорядоченность) и только после этого она может выйти на новый функциональный режим. Чем выше уровень сложности, тем больше становится возможных потенциальных вариантов, тем больше неопределённость. Таким образом, периоды организованного функционирования обязательно должны сменяться периодами дезорганизации и внутренней неопределённости. Системы, которые не способны накапливать в себе энтропию, не могут функционировать в сложной среде.

Как считает Дж.С. Николис, «информация порождается не только каскадом бифуркаций, приводящих к нарушению симметрии, но и последовательными итерациями, приводящими к всё более тонкому разрешению» [23, с.11]. Но это именно то, что происходит с флювиальными сетями и

биогеоценозами. В последнем случае возростание специализации видов и дифференциация экологических ниш является ни чем иным, как последовательностью бифуркаций и итераций в природе. Свои "экологические" ниши имеют и геосистемы. Новая информация в геосистеме порождается путём её производства и закрепления в морфологии геокомплекса. Именно эти структурные составляющие выступают в качестве носителей информации. Динамические режимы, в свою очередь, являются операторами, которые эту информацию кодируют. Именно динамика производит отбор того или иного варианта, который, в конце концов, закрепляется в морфологии. Отобранная форма — это аттрактор, в который попала динамическая система. Морфология отражает динамику.

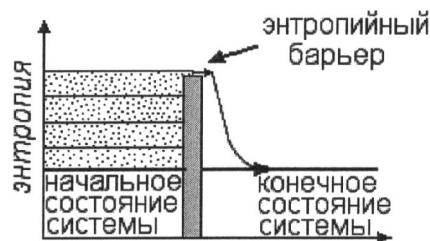


Рис. 5. Характер динамики системы при переходе через энтропийный барьер

Это как раз и ведёт к росту вероятности выхода на целевой -режим, то есть на оптимальное значение условной вероятности. Отклонение от равномерного распределения является достаточно эффективным способом отбора выделенных последовательностей (режимов) из огромного количества всевозможных случайных последовательностей. Таким образом, именно неустойчивость следует рассматривать как естественное условие совершения отбора. Такой отбор должен обеспечить максимум взаимной информации между системой и внешней средой путём или подбора соответствующего режима функционирования и структуры, или, если это возможно, путём выхода на контролируемые параметры среды. Как показано в работе [27], ограниченность ресурсов (энергии, времени, количества операций) делает максимум информации условным, но путём введения целевой функции системы (функции полезности) можно выйти на безусловный максимум информации.

В системах информация должна не только возникать, но также сохраняться и транслироваться во времени и в пространстве. Здесь следует помнить, что информация всегда связана с тем или иным носителем, природа которого определяет её количественные ограничения и структуру, а распространяться она может только с помощью того оператора, который она кодирует. Хорошим примером действия и распространения «оператора» в геопространстве является действие флювиации, которая ведёт к образованию

отдельных форм (например, эрозионных каналов) и целых флювиальных сетей. Что касается передачи информации внутри системы, здесь определённую роль может играть так называемый нелинейный резонанс. Итак, перед географами возникает вопрос поиска таких режимов, которые можно идентифицировать как нелинейный резонанс. Он связан с проявлением хаоса, который, таким образом, становится источником новых структур.

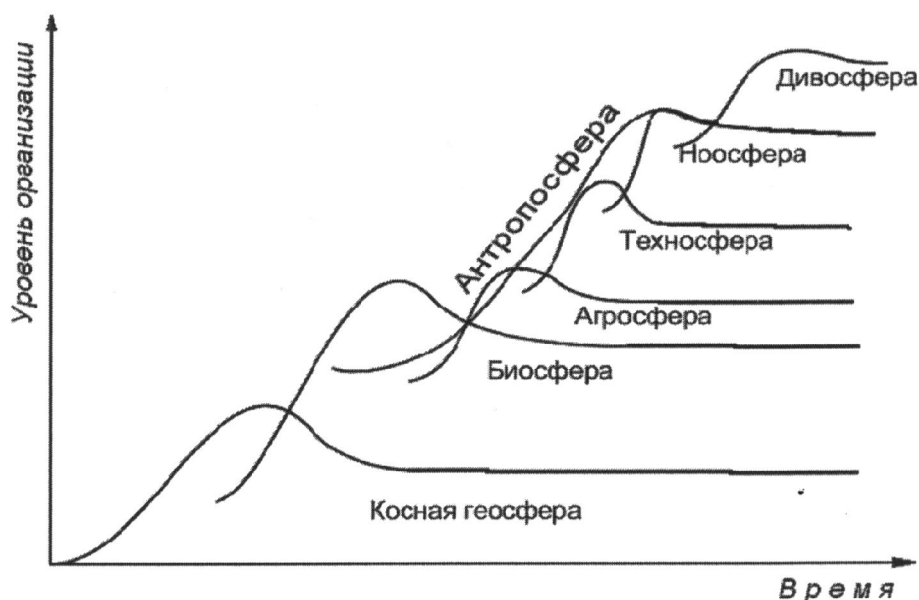


Рис. 6. Главные этапы становления структуры географической оболочки конкретной реализации геопространства.

Отмечу, что возможность освоения «новых режимов с всё большей размерностью (прогрессивная эволюция), позволяющих проникать в более сложные среды, определяется тем количеством информации, которое может перерабатываться системой, что в значительной степени зависит от её способности адекватно реагировать на те или иные воздействия среды, т. е. от уровня её когнитивности. Далеко не все системы способны двигаться по такой эволюционной траектории, поскольку такое движение предполагает возникновение новых иерархических уровней, на которых информация сжимается ещё больше, что существенно ускоряет её обработку. Интересные идеи по этому вопросу приведены в работе Е.А. Седова [28], который показал, что при $n = 4$ (де n - количество уровней иерархии), избыточность как показатель упорядоченности приближается к своему мак-

симуму (точнее, оптимуму), который составляет примерно 0.8 (при абсолютном максимуме $R = 1$, где R - избыточность).

Реализуется ли всё это в геопространстве? Думаю, да. Феномен географического пространства-времени - это очень динамичный объект с хорошо выраженными следами эволюции, который продолжает эволюционировать. Это позволяет утверждать, что к нему можно применить все те положения, которые высказаны выше. Но степень выраженности "информационности" должна зависеть от уровня организации геосистем. Ясно, что эта выраженность должна возрасти от геосистем косного уровня к геосистемам антропо-тизированного уровня и, далее - когнитизированного уровня. Так самоорганизация свойственна флювиальным структурам: флювиальный бассейн содержит механизмы, которые работают в режиме информационно-формационной машины. Ярким примером

могут быть биотизированные геосистемы. Современные представления позволяют допустить, что они могут иметь достаточно тонкие механизмы саморегулирования. Как считает А.И. Морозов, почвы следует рассматривать как «полисы» грибов. Именно последние в значительной степени определяют видовую структуру терминальных состояний биогеоценозов, то есть играют роль своеобразных «ДНК», которые управляют деятельностью организмов определённого функционального уровня [29]. Формирование лугового дёрна, когда в нём соседствуют стержневые корни одуванчика и сплошное переплетение тонких корней тимopheевки, а в это вплетены длинные корни осота и разные промежуточные формы корней ромашки и многих видов луговых трав, всё это напоминает нейронную сеть. Хаос корней не является случайным, он в определённой степени детерминирован концентрацией питательных веществ в почве: если добавить в почву азотные удобрения, начнёт разрастаться тимopheевка, при увеличении концентрации хлористого калия исчезает лютик и т. д. Выходит, что видовая структура травянистого покрова является символьным отображением геохимической ситуации в почвах.

Ещё более выраженными являются информационные процессы в антропогенных геосистемах, где они принимают более целенаправленный характер и становятся осмысленными. Общая схема движения информации в таких геосистемах приведена в работе [30]. Понимание этих механизмов становится необходимой предпосылкой возникновения и развития прикладной географии – прежде всего её инженерного и конструктивного направлений.

Самоорганизующаяся критичность и функционирование П-ГИС. Начиная с 1979 года, группа математиков, которую возглавлял П. Бек (P. Bak), начала разработку новой концепции эволюции сложных динамических систем, получившая название самоорганизующейся критичности. Анализ соответствующей математической модели позволил найти ответы на некоторые важные вопросы. Разработка модели началась с изучения динамики чисто "геоморфологического" объекта - ограниченной краями стола кучи песка, на которую сыпали песок [31]. Такая система достигает так называемого критического состояния, что проявляется в образовании пе-

сочных лавин самого разного размера. Их образование невозможно предвидеть. Интересно, что распределение размеров таких лавин и промежутков времени между ними является не экспоненциальным, (которое характерно для динамических систем), а степенным, то есть, имеет длинный "хвост". Больше того, такое состояние является достаточно устойчивым (снова аттрактор). Позднее выяснилось, что такое поведение характерно для систем самой разной природы. Так происходила эволюция живых организмов (здесь аналогом лавин являлись вымирания), эволюция социально-экономических систем (здесь аналогами лавин выступают экономические и социальные кризисы) и т. п. [32, 33]. Состояние самоорганизующейся критичности оказалось аттрактором, попадание в который делает систему способной к эволюционному развитию. Концепция оказалась универсальной. Автор считает, что именно к такому состоянию стремятся и геосистемы. Среди трёх возможных состояний, которые являются аттракторами - хаотическое, достигаемое при попадании системы на термодинамическую ветвь эволюции, детерминированное (при условии жесткой детерминации связей и максимальной специализации структурных составляющих) и критическое - только последнее даёт возможность системе находиться на дарвиновской ветви эволюции и устойчиво разрешать проблему адаптации к изменчивой среде. Я не имею возможности в этой статье описывать детали этой концепции, тем более, что существует достаточно большая литература, посвящённая этой проблеме. Остановлюсь только на вопросе, который, с моей точки зрения, очень важен. Дело в том, что критичность предполагает постоянное обновление внутреннего пространства состояний, которое, понятно, является ограниченным, для новых режимов. Но это требует присутствия в системе внутренних механизмов дестабилизации, понятно локальной. Попробуем найти такие механизмы в геосистемах разного уровня организации, поскольку именно их наличие проявляет присутствие в системе информационно машины.

Механизмы физической реализации локальной дестабилизации состояний геосистем. Первым возьмём флювиальный бассейн. Здесь такими механизмами являются а) меандрирование: продвигаясь по пойме, меандры подходят к высо-

ким крутым берегам, подрезают их, образуя активные денудационные фронты, которые, в случае потери устойчивости, порождают овраги и балки; б) регрессионные эрозионные волны (также фронты, только значительно меньшего масштаба), которые распространяются по дну балок, достигают верховий и дестабилизируют их, Q_x порождая овраги; в) в активных оврагах крутые стенки передового фронта (зона продвижения), где возникает сложная морфология, которая складывается из микроовражков ("пальцев"), с помощью которых передний фронт прощупывает возможные направления движения [34]. Генераторами дестабилизирующих волн являются и области бифуркации русел: слияние потоков ведёт к порождению хаотических режимов (например [35]), а это, как известно, является необходимой предпосылкой надёжной обработки сигналов (хаос не содержит выделенных гармоник).

В биотизированных геосистемах мы имеем сложную пространственную структуру (особенно это касается травянистого яруса), в которой участки с одновидовым заполнением разделяются достаточно узкими полосами с многовидовым заполнением. Можно сделать предположение, что биотизированная геосистема имеет в своём арсенале волны хаоса, которые, двигаясь в пространстве биогеоценоза, дестабилизируют участки с повышенной устойчивостью (например, куртины сныти обыкновенной в дубравах) и способствуют обновлению структуры. Такие волны хаоса могут служить и механизмом передачи информации внутри биогеоценоза. Более того, такие дестабилизирующие режимы выходят на периферию биогеоценозов, увеличивая их неустойчивость, что опять-таки ведёт к увеличению надёжности обработки сигналов. Важным моментом здесь является то, что такие режимы, судя по всему, являются порождением внутренней динамики самой биотизированной геосистемы, для чего используется свободная энергия, имеющаяся в системе.

В антрополизированных геосистемах мы также имеем разнообразные механизмы порождения хаоса, который ведёт к потере устойчивости и разрушению старой структуры. В таких геосистемах, наряду с регулярными режимами (например, циклы Кондратьева), существуют режимы, которые можно идентифицировать как

хаотические. Рынок - это информационная машина, которая осуществляет обработку и производство новой информации экономического характера. Они связаны с экономическими или социальными (часто их нельзя разделить) кризисами, в том числе войнами. Интересно, что именно разрушительные войны дают толчок социально-экономическому прогрессу (достаточно вспомнить примеры Германии и Японии в период после Второй Мировой войны).

Эволюция географической оболочки как процесс самосборки. Следующим важным вопросом является изменение организации «географических машин - геосистем - то есть движение геопространства по дарвиновской ветви эволюции, что требует введения образа стрелы времени. На рис. 6 показаны главные этапы такой эволюции. Каждый такой этап ведёт к очередному нарушению симметрии, только уже в другой плоскости — организационной. Мы видим последовательное напластование минеральной геосферы (создаётся косными геосистемами), биосферы (область действия биотизированных геосистем), антропосферы (область действия антрополизированных геосистем), которая дифференцируется на агросферу, техносферу и ноосферу, наконец, дивосферы — особого образования, с появлением которого, с точки зрения автора, становление структуры геопространства завершается. Такая эволюция всегда начинается с возникновения элементов аппаратной реализации определённого уровня организации, которые начинают организовывать среду, пытаясь обеспечить более устойчивые условия своего существования. Таким образом, эволюционирует весь блок, включающий организующий элемент и его среду. В таком элементарном функциональном образовании постепенно развиваются обратные связи. Достигнув определённой критической плотности, такие элементы начинают конкурировать между собой, что включает механизм естественного отбора. Итак, на определённом отрезке времени мы имеем множество разнообразных функциональных единиц, которые, к тому же, стремятся создать симбиотические объединения, что увеличивает их устойчивость и эффективность благодаря распределению функций. В условиях жёсткой конкуренции за ресурсы (вещество, энергию, пространство) побеждают не режимы, отличающиеся максимально возможной эффективностью, дос-

тигаемой за счёт максимальной специализации составляющих и жёсткой детерминации отношений (такие системы способны существовать только в очень стабильной среде), а те, которые содержат в своей функциональной структуре механизмы хаотической динамики - информационные машины, что позволяет отслеживать как пространство внутренних состояний, так и изменения в окружении. Ещё лучше, если такие системы располагают внутренними режимами символьного отображения и символьной динамики, что обеспечивает способность моделировать геоситуацию, её динамику и на этой основе строить опережающее отражение - прогноз. Именно это мы видим в эволюции геопространства, которая ещё далека от завершения. На очереди - возникновение когнитизированных геосистем, основой которых должны стать искусственные нейронные системы вместе с Интернет. Такие геосистемы должны возникать (и это уже происходит) на основе развития регионов, нормальный процесс становления которых возможен только при условии глобального разгосударствливания. Однако все эти вопросы требуют специального рассмотрения.

Итак, геопространство демонстрирует настоящую эволюцию, в соответствие которой ставится понятие о геопроцессе. Этот процесс предполагает отображение как на физическом, так и на информационном уровнях. В последнем случае, мы имеем движение в информационном пространстве, как это показано в работе [36]. Геосистемы всё большей сложности, в которых возникает и развивается последовательность уровней символьной динамики, проникают в среды, отличающиеся всё большей сложностью и неопределённостью.

Проблема существования теоретической географии. Завершая статью, коснусь очень сложного вопроса: возможности создания теоретической географии. У разных видов когнитивной деятельности есть одна очень важная деталь, которая в значительной степени определяет её эффективность. Речь идёт о компактности представлений. Значительная компактность достигается в том случае, если удаётся отобразить сжатые теоретические высказывания с помощью математических структур, поскольку последние, вследствие их общности, отличаются богатством логических построений. Ситуация в гео-

графии, которую видит математик, следующая. На некотором поле элементарных состояний с достаточно малой вероятностью заданы некоторые существенные по своим последствиям события. Если одно из них реализуется, то сразу возникает другое поле состояний с другим распределением вероятностей. Такая динамика является существенно нелинейной. К тому же, географические объекты являются распределёнными системами. Примерами могут быть плоскостной поток на склоне, который преобразует его поверхность и сам изменяется под влиянием этих изменений, или биогеоэкологические циклы, которые связаны с концентрацией химических веществ, которую определяют сами организмы. Сложности в развитии теоретической географии связаны именно с трудностями компактного отображения эмпирических данных. Отображение геомира в его целостности требует когнитивной деятельности иного, более высокого уровня в сравнении с отображением тех явлений, которыми занимается физика, поскольку здесь редукция не ведёт к улучшению когнитивной ситуации. $Q_x Q_x$

Литература

1. Болиг А. Очерки по геоморфологии. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. – 261 с.
2. Найдёнов В.И., Швейкина В.И. Земные причины водных циклов // Природа, 1997. – № 5. – С. 19-30.
3. Айзатуллин Т.А., Лебедев В.Л., Хайлов К.М. Океан. Активные поверхности и жизнь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 192 с.
4. Connolly L., Koshland C.P. Exergy and industrial ecology - Part 1: An exergy-based definition of consumption and a thermodynamic interpretation of ecosystem evolution // Exergy Int. J. – 2001. – 1 (3). – P. 146-165.
5. Ковальов О.П., Борзенков И.А. Деяю риси організації геопростору та її зображення у територіальних структурах: теоретичний аспект / Укр. геогр. журнал, 1996. – № 1. – С. 3-9.
6. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. Пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 215 с.
7. Федер Е. Фракталы / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 260 с.
8. Nykanen D.K., Foufoula-Georgiou E., Sapozhnikov V.B. Study of spatial scaling in braided river patterns using synthetic aperture radar imagery // Water Resour. Res., 1998. – Vol. 34. – N. 7. – P. 1795-1807.
9. Sapozhnikov V.B., Foufoula-Georgiou E. Self-affinity in braided rivers // Water Resour. Res., 1996. – Vol. 32. – N. 5. – P. 1429-1439.
10. Ковалёв А.П. Проблема элементарности в географии // Физическая география и геоморфология. – Киев: Лыбидь, 1991. – № 38. – С. 20-29.
11. Bejan A. Constructal Theory: from Thermodynamic and Geometric Optimization to Predicting Shape in Nature // Energy Corners. Mgmt Vol. 39, 1998. – N. 16-18. – P. 1705-1718.

12. Schumm S. A., Mosley M. P., Weaver W. E. *Experimental Fluvial Geomorphology*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. New York Chichester Brisbane Toronto Singapore. – 411 p.
13. Трубников Б.А. Закон распределения конкурентов // *Природа*, 1993. – № 11. – С. 3-13.
14. Ковалёв А. Территориальность как отражение самоорганизации геосистем и основа формирования стратегии регионального развития // *Регион: проблемы и перспективы*, 1997. – №1. – С. 37-41.
15. Пуанкаре А. *Наука и метод* / В кн.: О науке. – М.: Наука, 1990. – С. 369-522.
16. Хайлов К.М. Междисциплинарные вопросы на границе наук о жизни и наук о Земле // *Известия РАН. Серия географическая*. – 2000. – № 3. – С. 30-37.
17. Пуанкаре А. *Наука и метод* / В кн.: О науке. – М.: Наука, 1990. – С. 369-522.
18. Николис Г., Пригожий И. *Познание сложного*. – М.: Мир, 1990. – С. 344 с.
19. Романов Ю.П. ^-технологии в пределах видимости? // *Компьютеры + программы*, 1997. – №9. – С. 10-12.
20. Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. – М.: Наука, 1988. – 264 с.
21. Хакен Г. *Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам*. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
22. Томпсон Р.Л. *Механистическая и немеханистическая наука. Исследование природы сознания и формы*. / Пер. с англ. – М.: Изд-во «Философская книга», 1998. – 302 с.
23. Николис Дж. *Динамика иерархических систем. Эволюционное представление*. – М.: Мир, 1989. – 488 с.
24. Богомолов В.В., Ковальов О.П., Сидоров О.С. Конструктивна географія і ПС: новий погляд на проблему / *Ландшафт як інтегруюча концепція ХХ сторіччя. Збірка наукових праць*. –К., 1999. – С. 327-332.
25. Ebeling W., Frommel C. *Entropy and predictability of information carriers* // *BioSystems*, 1998. – V. 46. – P. 47-55.
26. Акоста В., Кован К., Грэм Б. *Основы современной физики*. – М.: Просвещение, 1981. – 495 с.
27. Голицын Г.А., Петров В.М. *Информация, поведение, творчество*. – М.: Наука, 1991. – 272 с.
28. Седов Е.А. *Взаимосвязь энергии, информации и самоорганизации / Информация и управление. Философско-методологические аспекты*. – М.: Наука, 1985. – С. 169-193.
29. Морозов А.И. *О природе почв / Информационные проблемы изучения биосферы*. – М.: Наука, 1988. – С. 201-230.
30. Ковалев А.П. Проблема взаимодействия в системе «общество - природная среда» в контексте эволюции геопространства // *Вісник Харківського університету. Геологія. Географія. Екологія*. –Харків: Основа, 1998. – № 402. – С. 99-103.
31. Bak P., Chan K. *Self-Organized Criticality* // *Scientific American*, 1991, January. – P. 26-33.
32. Bak P., Paczuski M. *Complexity, Contingency, and Criticality* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol. 92, pp. 6689 - 6696, July, 1995.
33. Sneppen K., Bak P., Flyvbjerg H., Jensen M. H. *Evolution as a Self-Organized Critical Phenomenon* // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 1995, May. – Vol. 92. – P. 5209-5213.
34. Ковалёв А.П. Ротационные денудационные фронты / *Эколого-географические исследования в речных бассейнах. Материалы международной научно-практической конференции*. – Воронеж, 2001. – С. 37-41.
35. Serres B. De, Roy A. G., Biron P. M., Best J. L. *Three-dimensional structure of flow at a confluence of river Channels with discordant bends* / *Geomorphology*, 1999. – Vol. 26. – P. 313-335.
36. Корогодина В.И., Кутлахмедов Ю.А., Файси Ч. *Информация, эволюция, техногенез* // *Природа*, 1991. – № 3. – С. 74-82.
37. Кратчфилд Д.П., Фармер Дж.Д., Паккард Н.Х., Шой Р.С. *Хаос* // *В мире науки*. 1987. – № 2. – С. 16-28.

Анотація: О. П. Ковальов Рівні наукового відображення геопростору. У статті намічено шляхи створення образу геоінформаційної реальності. Розглянуто понятійний апарат, який дозволяє адекватно відобразити складність структури геопростору, у тому числі встановлюється зв'язок між такими поняттями як „геосистема” і „геокомплекс”. Показано, що дискурсивне представлення географічної реальності допускає опис на двох рівнях – фізичному і інформаційному. Зроблено спробу відокремити той фізичний базис, котрий дозволяє скласти „фізичний” образ об'єкту. Введено уяву про П-ГІС – природну геоінформаційну систему, і інформаційну машину як її складові. Надано короткий опис уяв автора про еволюцію геопростору.

Ключові слова: геопростір, геосистема, геокомплекс, еволюція геопростору.

Abstract. O. P. Kovalyov **Two levels of the scientific geospace's reflections and the problem of the theoretical geography creating** Some ways of creating of the scientific geographical reality patterns have been drawn up in this article. The abstract apparatus allowing reflecting adequately the geospace structure complexity including the establishing of the relation between such abstracts as 'geosystem' and 'geocomplex' is considered. It is shown that the discursive overview of the geographical reality requires the description at two levels: physical and informational. It is made a try to separate physical block that allows composing the "physical" object pattern. The idea about N-GIS -the Nature Geoinformation System - as well as the information machine as the part of it is introduced. It is given the brief description of the author view about the geospace evolution.

Key words: geosystem, geocomplex, geosystem evolution.

Поступила в редакцію 01.08.2004.