УДК [55+551.24+574.4](985)



Ю.Г. Кутинов



З.Б. Чистова

Кутинов Ю.Г.*,
Чистова З.Б.**

Системные свойства геологической среды. Структура временных потоков и критические рубежи в эволюции геосистем[1]. Часть 1

*Кутинов Юрий Григорьевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН, академик Европейской академии естественных наук (Ганновер) и Итальянской академии социальных и экономических наук (Рим)

E-mail: kutinov@iepn.ru

**Чистова Зинаида Борисовна, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией глубинного геологического строения и динамики литосферы Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН

E-mail: zchistova@yandex.ru

Рассмотрены системные свойства геологической среды и даны их краткие характеристики. Показана роль структуры временных потоков в эволюции геосистем.

Ключевые слова: геологическая среда, системные свойства среды, временные потоки.

Большинство исследователей определяет в качестве основного объекта геоэкологии геологическую среду (ГС) – верхнюю часть литосферы, включая рельеф, подземные воды и геофизические поля, взаимодействующие с компонентами ландшафта, средой обитания человека и находящуюся под влиянием человеческой деятельности. Геологическая среда представляет собой сложную, иерархически построенную на всех уровнях организации, самоорганизующуюся и саморегулирующуюся систему с многочисленными связями, как внутренними, так и внешними. В подавляющем большинстве публикаций по геоэкологии проблеме динамики ГС, как целостной системы должного внимания не уделяется, хотя отдельные аспекты проблемы разрабатываются[2]. Динамика ГС определяется комплексом процессов, происходящих на всех ее иерархических уровнях от атомно-молекулярного до глобального[3].

Для изучения динамики ГС приоритетное значение имеют ее системные свойства. К ним относятся изменчивость, неоднородность (включая анизотропию), симметрия, организационность (наличие иерархической структуры), а также самоорганизация, саморегулирование, эмерджентность[4].

А.Г. Гамбурцев[5] к основным свойствам ГС относит следующие: сложное строение, наличие взаимодействующих неоднородностей разного масштаба и контраста, пустот заполненных флюидами; термочувствительность – зависимость параметров от давления; виброчувствительность – зависимость параметров от состава флюида, особенно сильно параметры изменяются при смене воды в трещинах и других пустотах на газ или сжимаемую жидкость (например, нефть с пузырьками газа); нелинейные свойства, в частности, не всегда адекватная реакция на слабые воздействия (сильная реакция на слабые воздействия); нестационарность протекающих во времени процессов; активность, проявляющаяся в микротресках, землетрясениях, медленных движениях; способность к самоорганизации и хаотизации, перестройке протекающих процессов; различные режимы изменения в разных объемах среды; иерархическая пространственно-временная подчиненность[6].

[1] **Работа выполнена при финансовой поддержке Программы ОНЗ РАН № 9 «Межгеосферные взаимодействия», проект «Изучение процессов взаимодействия геосфер в активных геологических структурах на севере Русской плиты» и гранта РФФИ-Север № 11-04-98802 а «Влияние тектонических структур и аномалий барического поля севера Русской плиты (на примере Архангельской области) на растительные ресурсы».**

[2] Геоэкологические исследования в СССР //Докл. сов. геологов к XXVIII Междунар. геол. конгрессу. М., ВСЕГИНГЕО, 1988. 149 с.; Геоэкология: проблемы и решения //Тез. докл. и сооб. Всесоюз. науч.-техн. конф. Ч. 1. Общие проблемы геоэкологии. М., ВСЕГИНГЕО, 1991. 210 с.

[3] Островский В. Н. Об изучении динамики геологической среды // Геоэкология, 1997, № 3. С. 101–110.

[4] Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М., Недра, 1981. 256 с.

[5] Гамбурцев А.Г. Сейсмический мониторинг литосферы. М., Наука, 1992. 200 с.

[6] Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.В. Деформация геофизической среды и сейсмический процесс. М., Наука, 1987. 100 с.

Подробные данные об этих свойствах приведены в многочисленных публикациях, комплексное рассмотрение некоторых из перечисленных свойств изложено в той же работе А.Г. Гамбурцева. Там же приведена подробная библиография.

На наш взгляд, эти свойства являются закономерным выражением системных свойств ГС, таких как организационность (иерархическая дискретность); эмерджентность; самоорганизация, обусловленная дискретностью земной коры и постоянством движений колебательного типа в ней; саморегулирование; симметрия; анизотропия, которые мы и рассмотрим более подробно. Все эти свойства тесно связаны между собой, и их деление носит искусственный характер с целью раскрытия их сущности.

Рассмотрим системные свойства геологической среды более подробно.

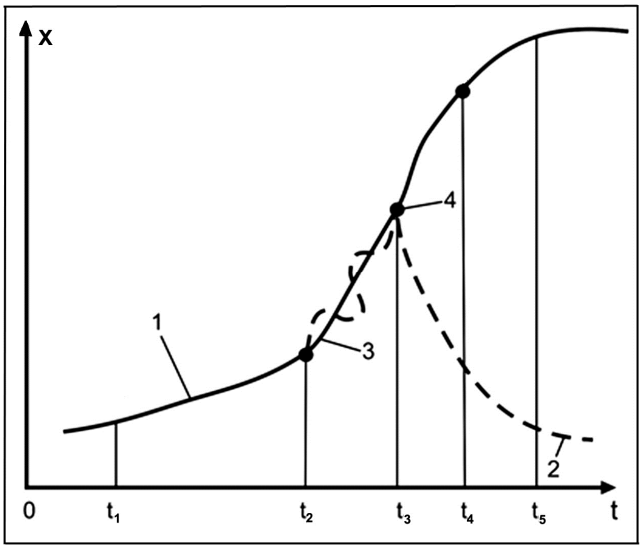


Рис. 1. Режимы развития природных и природно-техногенных процессов[1].

1 – кривая развития по показателю X во времени; 2 – вариант развития процесса; 3 – флуктуации развития процесса; 4 – точка бифуркации.

Самоорганизация – строгая последовательность явлений в природных системах, обусловленная внешними и внутренними ограничениями и ведущая к возникновению физиономически однородного и функционально-целого и поливариантности развития сложноорганизованных систем[2]. Т.к. детерминированное развитие осуществляется лишь на определенном отрезке времени по мере нарастания флуктуаций система приходит в состояние неустойчивости (детерминированная область фазового пространства) (рис. 1).

В настоящее время идеи самоорганизации систем проникли в физику, химию, гидродинамику, биологию, экологию и другие науки. В геологии процессы тектогенеза и возникновения тектонических структур уже давно связывают с саморазвитием материи Земли. Об этом говорил, например, М.А. Усов[3]: «Сжатие и расширение земной коры суть не пассивные формы тектогенеза под влиянием каких-то внешних сил, а особые формы притяжения и отталкивания в саморазвитии материи Земли как части космоса». М.А. Садовский[4] в своей работе как бы конкретизировал идеи М.А. Усова о саморазвитии и самоорганизации Земли и ее составной оболочки – земной коры. На основе анализа современных фактических данных он пришел к выводу, что земная кора обладает двумя очень важными свойствами для возникновения самоорганизации.

Первое свойство – это **дискретность (организационность)**, которая выражается в том, что земная кора является не сплошным агрегатом, обладающим линейной упругостью, а раздробленным на отдельности разного масштаба – от мельчайших песчинок – до континентальных плит (наличие иерархической структуры). Причем в каждую крупную отдельность вложены более мелкие, а в них еще более мелкие и т.д. Примечательно, что кривая распределения этих отдельностей по размерам носит полимодальный характер и не зависит от физико-химических свойств пород, обуславливающих отдельности. При этом организуется иерархическая последовательность мод, характерных для кривой распределения: отношение моды, приуроченной к более крупным отдельностям, к последующей к ней моде имеет значение, практически близкое к постоянному, равному 3.5 ± 0.9[5]. Эти данные подтверждают вывод, сделанный в одной из работ[6], что наложение на геометрию геологической среды геометрии генетических процессов, происходящее в процессе генезиса геологического объекта не может увеличить симметрию вновь возникающей геологической среды. Т.е. геометрия генезиса не сказывается на вещественном составе геологических тел.

Изучение **иерархической дискретности** (одной из сторон организационности) земной коры связано с именами М.А. Садовского, В.Н. Родионова, В.В. Богацкого, В.Ф. Писаренко, В.И. Витязя и ряда других исследователей. На этой основе создавалась система структурной организации как планеты Земля в целом, так и отдельных ее регионов. Установлено, что земная кора дискретна и имеет четко выраженное блоковое строение. Среднее расстояние между границами отдельных геоблоков в системе подчиняется закону, выражаемому зависимостью

$$L_{i+1}/L_i = K,$$

где K – коэффициент дискретности, варьирующей от 2 до 5, в среднем – 3,5; L_i – ширина исследуемого геоблока; L_{i+1} – ширина геоблока последующего порядка.

Второе свойство – это **постоянство движений колебательного типа**. При поступлении энергии извне

[1] Каякин В.В. Прогноз чрезвычайных ситуаций, связанных с техно-природными процессами, и обеспечение безопасности объектов // Геоэкология. 1999. № 2. С. 10–110.
[2] Реймерс Н.Ф. Природопользование. М., Мысль, 1990. 638 с.
[3] Научное наследие М.А. Усова и его развитие. Новосибирск, Наука, 1984. 185 с. С. 119.
[4] Садовский М.А. Автомодальность геодинамических процессов // Вест. АН СССР. 1986. № 8. С. 3–12.
[5] Кноринг Л.Н., Деч В. Н. Геологу о математике. Советы по практическому применению. Л.: Недра, 1989. 208 с.
[6] Четвериков Л.И. Геокинематика, или геометрия развития геологических структур.// Идея развития в геологии: Вещественный и структурный аспекты. Новосибирск, Наука, 1990. С. 294–301.

Земля как открытая многокомпонентная система воспринимает (транспортирует) и преобразует (трансформирует) эту энергию. Из внешних источников энергии (например, энергии Солнца, поля тяготения и др.) формируется (полностью или частично) различные виды внутренней энергии планеты: тепловой поток, тектонические движения и т.п. В результате, если акцентировать внимание на механических движениях, возникающих при перераспределении энергии, блоки земной коры испытывают колебательные смещения относительно друг друга, а более мелкие отдельности блоков – своеобразную перегруппировку, переориентацию.

Таким образом, самоорганизация среды тесно связана с саморегулированием.

Саморегулирование – способность системы к самовосстановлению внутренних свойств и структур под влиянием внешнего воздействия[1]. В основе саморегулирования лежит механизм отрицательной обратной связи (аналог принципа Ле-Шателье): при внешнем воздействии на систему равновесие смещается в сторону ослабления эффекта воздействия. Элементы саморегулирования, несомненно, присущи геологической среде[2], но они менее выражены, чем в биологических системах, ввиду большей инерционности ГС, существования значительных шумов, нередко неявностью проявления обратных связей. Геомеханики и тектонофизики, изучающие характер деформирования земной коры под воздействием тектонических и технических (антропогенных) нагрузок давно уже пришли к выводу, что сложная блоковая структура верхней части литосферы, есть результат распределения диссипированной механической энергии, в связи, с чем сами зоны нарушений и их структуры получили название диссипативных[3].

Так формируются различные структуры земной коры, которые по-своему приспосабливаются для передачи (транспорта) энергии на более низкие иерархические ступени, вплоть до возникновения некоторого динамического равновесия. Но новая флуктуационная волна энергии, поступающая извне, формирует новое движение, новую организацию. Все это и определяет автомодельные процессы упорядочения структуры, самоорганизацию системы, состоящей из блоков и отдельностей горных пород разного порядка. И поэтому, как полагал М.А. Садовский[4], горную породу можно рассматривать как часть значительно более широких природных открытых систем, способных к самоорганизации за счет энергии, поступающей извне.

Описанный механизм самоорганизации земной коры как некой системы, включающей лишь принципы механики, механического движения, не единственно возможный. К этой категории движений могут быть отнесены и процессы полиморфных фазовых превращений, при которых изменяются и структуры и химический состав систем. При этом возможны и одновременные действия разных механизмов.

В процессах, развивающихся в условиях, далеких от равновесия, в частности термодинамического; в процессах, для поддержания которых требуется непрерывный поток массы, импульса или энергии; в процессах самоорганизации материи важнейшую роль среди принципов отбора энергии играет принцип минимума диссипации энергии[5] или, что то же самое – принцип минимума роста (или максимума убывания энергии).

Он заключается в следующем: среди множества форм реализации процесса, согласующихся с законами физики, реализуется та, при которой энтропия системы растет наиболее медленно. Этот принцип выделяет наиболее экономный способ движения, при котором диссипация энергии минимальна.

Особого рассмотрения заслуживает **эмерджентность** ГС, которая как свойство среды, тесно связана с ее организационностью (наличием иерархической структуры).

Эмерджентность – свойства крупных геологических структур не сводятся к простой сумме, входящих в них геологических тел более мелких рангов, являются интегрированными и в определенной мере независимыми. Каждая частность и каждое единичное явление зависит не только от условий в нем самом, но и также от условий целого, в которое они включены. Целое обнаруживает свойства и отношения, которые отсутствуют у ее частей взятых отдельно.

Принцип эмерджентности впервые кратко выразил еще Платон: «целое больше своих частей». В соответствии с этим принципом при суперпозиции отдельных подсистем и формирующих их факторов и процессов должны возникать новые свойства и процессы, которые в исходных подсистемах не содержались. Механизмы формирования эмерджентности геологических систем изучены недостаточно. В.Н. Островский к ним относит[6]: лавинные процессы, которые характеризуются положительными обратными связями[7], в результате чего процесс развивается по принципу цепной реакции; барьерные эффекты; нарушение защитных функций других компонентов экосистем, взаимоувязанных с геологической средой; резонансные эффекты, когда отдельные ритмы процессов, накладываясь друг на друга, могут существенно усилить интенсивность изменения геологической среды; сложные природно-техногенные воздействия, приводящие к непредсказуемым результатам.

Геометрическая организация вещества в пространственно-временном континууме представляет собой другую модель объяснения эволюции мира.

Симметрия – это состояние пространства, связанное с физическими полями напряжений (мера эволюции системы). П. Кюри[8] связывал симметрию с физическими полями напряжений и говорил о состояниях пространства. Он установил, что для того чтобы возникло явление, требуется отсутствие некоторых элементов симметрии. Абсолютно симметричные системы мертвы. Действие же – это явление, для возникновения кото-

---

[1] Островский В. Н. Указ. соч.
[2] Геоэкология: проблемы и решения…; Пашкин Е.М. Синергетика геосистем: новый подход в инженерной геологии // Инж. геология. 1993. № 7. С. 97–102.
[3] Кюнтцель В.В., Семаков Е.И., Корженевский Б.И., Симонова И.Ю. Структурно-тектонические особенности Крымского региона и их влияние на экзогенные геологические процессы // Геоэкология. 1993. № 6. С. 94–99.
[4] Садовский М.А. Автомодальность геодинамических процессов…
[5] Четвериков Л.И. Указ. соч.
[6] Островский В. Н. Указ. соч.
[7] Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Мысль, 1988. 288 с.
[8] Кюри П. Избранные труды. М.-Л., 1996. С. 95–113.

рого всегда необходима диссимметрия. Диссимметрию Кюри называл в опытах наложением полей. Принцип симметрии имеет большое познавательное значение. Согласно теореме Нётер, каждое свойство симметрии пространства и времени можно сопоставить с каким-либо законом сохранения (импульса, количества движения, энергии)[1]. Антагонистически связаны между собой симметрия и информация. Максимальная симметрия сводит информацию (как память о предшествующем состоянии) до минимума. «Поведение симметрии, – отмечают А.В. Шубников и В.А. Копцик[2], – как функция состояния системы коррелирует с поведением ее энтропии». Возрастание энтропии можно понимать также как потерю информации о внутренней конфигурации системы при ее эволюции во времени[3].

Современная химия взаимодействие веществ объясняет встречей и взаимным гармоничным сложением трехмерных сложных по конфигурации волн. Еще В.И. Вернадский писал: «Симметрия охватывает свойства всех физических полей, с которыми имеет дело физик и химик»[4]. «Точное наблюдение реальности указывает, что в ней пространственные отношения – явления симметрии – лежат в основе всех ее физико-химических явлений»[5].

Исследование симметрии привело к установлению принципиальных различий между организацией косных и живых систем. Среди минералов наблюдается в равных количествах правые и левые формы симметрии, тогда как у природных (не синтетических) белков, сахаров, жиров и других соединений известны только левые формы[6].

С явлением симметрии тесно связана **анизотропия (неоднородность)** геологической среды. Все породные геологические тела в зависимости от масштаба, вещественного состава и генезиса имеют иерархически-мозаичное строение, представляя собой иерархические системы. При этом геологические тела вытянутой первичной (т.е. не нарушенной) формы имеют анизотропную структуру, а тела изометричной формы – изотропную и концентрически зональную, причем, чем больше вытянутость, тем выше анизотропия[7]. Эти явления касаются структуры и морфологии геологических образований и не затрагивают их вещественную сторону. Следовательно, можно предположить, что морфоструктурные особенности геологических объектов определяются именно пространственной геометрической основой их генезиса, или геометрией генезиса.

Особенность геометрии генезиса геологических объектов заключается в том, что она непосредственно не связана с вещественной, физико-химической стороной ГС и протекающих в ней генетических процессов[8]. При таком подходе к симметрии ей обладают не только геометрические фигуры, но и различные свойства геологических тел, структур и процессов. По мнению Л.И. Четверикова[4], для описания симметрии этих свойств больше всего подходит аппарат симметрии векторов и тензоров, разработанный А.В. Шубниковым для описания симметрий физических свойств[9].

В общем случае для геологической среды характерны три основных типа анизотропии: трехосная, двухосная и одноосная. Оси анизотропии могут быть и прямолинейными и криволинейными. В большинстве своем они или взаимно перпендикулярны или взаимно ортогональны. Отдельно взятая ось анизотропии может иметь симметрию либо вектора, либо тензора. Различные комбинации осей анизотропии, имеющих разную симметрию, позволяют установить все теоретически возможные варианты симметрий анизотропии геологической структуры и, следовательно, геометрий геологической среды: от лишенных симметрии до имеющих симметрию шара.

С понятиями самоорганизации и симметрии тесно связаны **цикличность (ритмичность)** как характеристики полихронности геологических процессов. Они отражает два типа времени – непрерывное и прерывистое (рис. 2).

Общим для всех вышеперечисленных механизмов является их нелинейность, существование определенных **критических параметров** (рубежей), приводящих в действие цепные реакции. Критические рубежи – отражают переломные моменты коренной перестройки геологических структур и отражают инволюционный путь развития Земли (ускорение критических рубежей). Геологическая среда, как система, обладает рядом особенностей. В первую очередь это высокая инерционность, т.е. способность в течение относительно продолжительного времени противостоять действию внешних факторов без существенного изменения своего состояния и структуры (во всяком случае, внешне), а также полихронность, под которой понимается разномасштабность во времени динамики компонентов. Вопрос структуры времени, ее полихронности имеет важнейшее значение при изучении геологической среды и слагающих ее компонентов.

Структура временных потоков. Структура временных потоков и критические рубежи в эволюции геосистем относятся к весьма слабо разработанным вопросам, и пока эти факторы сложно применить к процедуре геоэкологического прогноза (кроме анализа временных рядов). Но и отмахиваться от этих проблем вряд ли целесообразно. В геологии проблема времени сводится к установлению теми или иными методами возраста структуры и хронологии геологических событий и явлений, привязанных к шкале абсолютного (геологического) времени. Однако Н.А. Флоренсов[10], подчеркивая единство пространства и времени, писал о неравномерном характере последнего и непрерывно-прерывистом развитии. В этом он следовал за В.И. Вернадским[11], идеи

[1] Мигдал А.Б. Так рождаются физические теории. М., 1984.
[2] Шубников А.В., Копцик В.А. Симметрия в науке и искусстве. М., 1972.
[3] Ковалев В.П. Принципы организации и развития материальных систем - методологическая основа истолкования геологической истории литосферы // Идея развития в геологии: Вещественный и структурный аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 190–199.
[4] Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн.1: Пространство и время в живой природе. М., 1975. С. 42.
[5] Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн.2: Научная мысль как планетарное явление. М., 1977. С. 129.
[6] Ковалев В.П. Указ. соч.
[7] Четвериков Л.И. Теоретические основы моделирования тел твердых полезных ископаемых. Воронеж, 1968.
[8] Шафрановский И.И. Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды // Зап. Всесоюзн. минерал. об-ва. 1954. Ч. 83. Вып.3.
[9] Шубников А.В. Перспективы развития учения о симметрии: Кристаллография. М., 1991.
[10] Флоренсов Н.А. Некоторые аспекты понятия возраста рельефа //Геоморфология, 1976. № 1. С. 13–22.
[11] Вернадский В.И. Проблемы времени в современной науке // Изв. АН СССР. Сер. ОМЕН, 1932. № 4. С. 511–541.

которого о неразрывности пространства и времени, о различных типах времени, о его дискретности и структурности существенно меняют подходы к трактовке времени в геологии, возраста структур, геологической цикличности и ритмичности. В.И. Вернадский показал, что если пространство и время не разделимы, а пространство обладает определенной структурой, то и время обладает структурой[1]. Наиболее отчетливо это проявляется в цикличности и ритмичности геологических процессов (рис. 2).

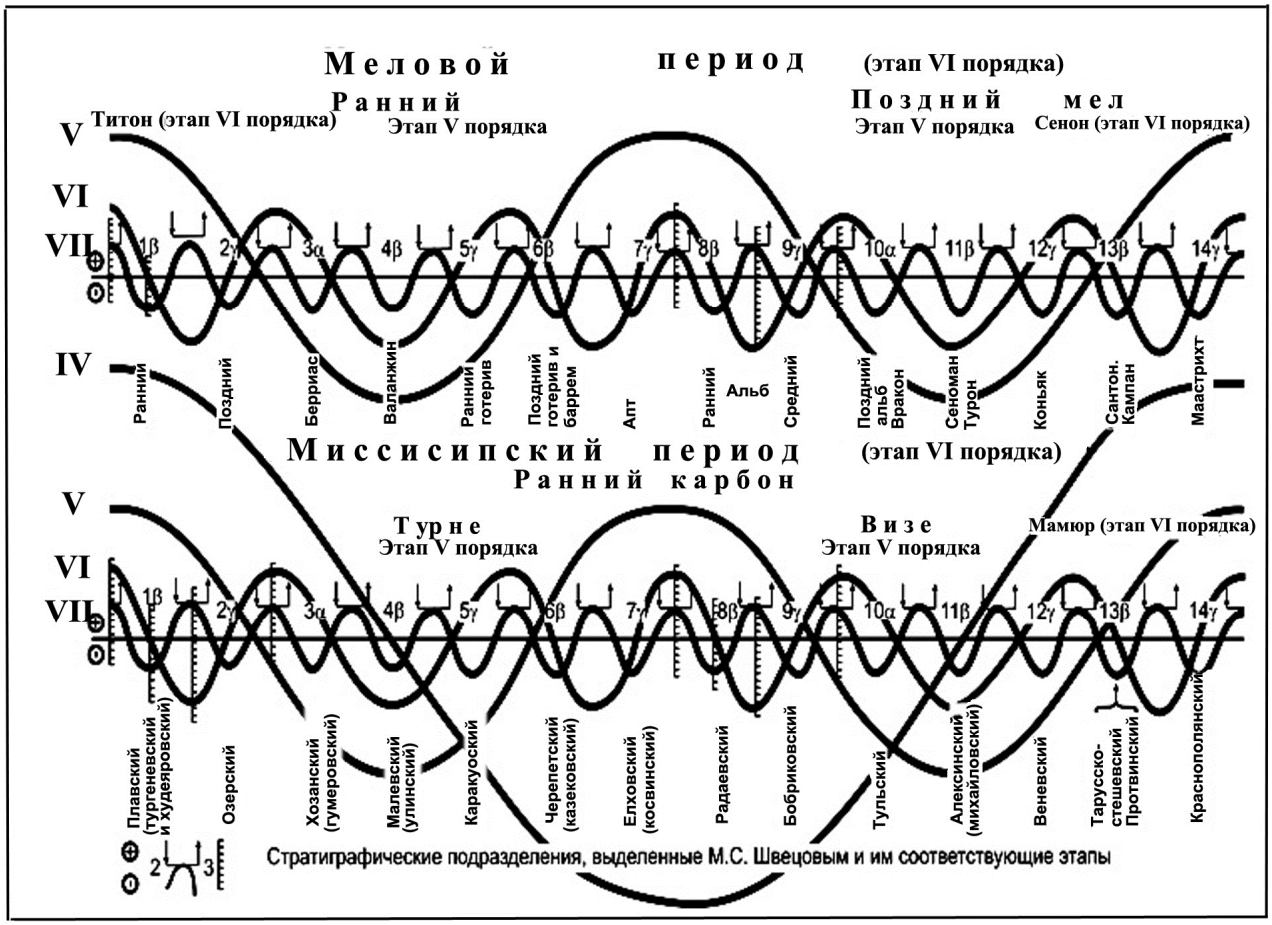


Рис. 2. Цикличность осадконакопления[2]

Сейчас становится ясно, что традиционный подход к геологическому времени, с ограничением всей этой сложной проблемы лишь датированием геологических событий и форм структур, не удовлетворяет всех возможностей геологического анализа, особенно в его динамических аспектах. Исходя из общепризнанных положений В.И. Вернадского, следует различать: 1) время индивидуального бытия – время существования отдельной структуры или ее элемента, время элементарного геологического процесса; 2) время видовое – продолжительность существования геологических структур или типов структур, характерное для действия типов структурообразующих процессов; 3) эволюционное время – отрезки времени, соответствующие сменам парагенетических комплексов и крупных комплексов процессов (например, орогенез, пенепленизация), охватывающие периоды геологических циклов. Ю.А. Косыгин[3] в одной из своих работ полагал, что следует различать лишь индивидуальное и групповое время, подчеркивая: «…поскольку вещество (в том числе энергетические поля и лучи) дискретно, постольку и время дискретно». Однако для аналитических целей принцип В.И. Вернадского с его делением на три, а не на два типа, более рационален, особенно в геоэкологических целях.

В любой геологической системе и любом ее элементе содержится информация об их истории, прошедших временах, новообразованиях и о возможности развития и преобразования в будущем.

Поэтому, помимо астрономического (абсолютного времени Аристотеля – Гераклита – Ньютона – Энгельса, которым мы обычно оперируем (геологическое время, геоморфологическая хронология)[4], справедливо и представление Лейбница, сводящиеся к тому, что время – это последовательность событий[5]. Исходя из этого, следует признать,

[1] Тимофеев Д.А. Геоморфологическое время и пространственно-временные соотношения в рельефе земной поверхности // Изв. АН. Сер. географическая, 1992. № 4. С. 12–18.
[2] Наливкин В. Д., Кузьмин В. И., Лукьянова В. Г. Естественные границы в ряду распределения месторождений нефти и газа по запасам //Доклады АН СССР, 1982. Т. 266. № 4. С. 947–951.
[3] Косыгин Ю.А. Земля и время. Хабаровск, 1990. 64 с.
[4] Флоренсов Н.А. Указ. соч.; Свиричевская З.А., Селиверстов Ю.П. Эволюция рельефа и время. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 240 с.
[5] Косыгин Ю.А. Указ. соч.

что геологические структуры существуют и развиваются в структурно организованном времени, текущем дискретно – непрерывно – прерывисто. На отдельных отрезках времени структура развивается активно, в другие – относительно (может быть и абсолютно) стабильна. В периоды стабильности, когда со структурой или с тем или иным элементом ничего не происходит, время для них как бы останавливается, его нет, по Бергсону. Зачатки понимания такой структуры времени можно видеть в выделении критических возрастных рубежей[1], в попытках определить характерное время форм рельефа, в теории тектоно-магматических активизаций.

Геологическое время дуалистично: оно существует и как внешнее по отношению к ГС свойство материального мира, и как внутреннее свойство самой геологической среды. С другой стороны, и внутреннее время ГС и особенно его внешнее время могут проявляться и как непрерывная (вечная) субстанция (абсолютное время), и как прерывистое явление (относительное время, характерное время)[2]. Абсолютное время удобно для измерения, но не для познания внутренней сущности механизмов изменения ГС (развития).

Итак, время – фактор развития геологической среды. Но и другие факторы структурообразования действуют во времени. При этом время, необходимое для того, чтобы геологическая система (или ее элемент) отреагировала на действие того или иного фактора, будет разным. Уже в этом заключается фундаментальное свойство времени как дискретного (структурированного) явления. Точнее, дискретность времени проявляется при его взаимодействии с пространственно-вещественными свойствами объекта.

Таким образом, при анализе геологических и геоэкологических процессов мы сталкиваемся с явлением полихронности, под которым понимаем разномасштабную во времени динамику компонентов ГС.

Традиционно сложившееся мнение гласит следующее[3]:

- породная компонента, формировавшаяся, как правило, в течение сотен миллионов лет, находится преимущественно в статистическом равновесии с окружающей средой, а если изменения и происходят, то для решения некоторых геоэкологических задач их можно не учитывать;
- наиболее динамичный компонент ГС - подземные воды. В зоне свободного водообмена подземные воды находятся во взаимодействии с горными породами, атмосферой, биотой и другими компонентами, которые могут измениться за считанные годы;
- промежуточное положение между породами и подземными водами по степени инерционности занимают почвы.

Наиболее ярко эти положения нашли свое отражение в работе Дж. Фортескью[4], который предлагает следующую иерархию времени: техногенное ≤ 200 лет; экологическое ≤500 лет; педологическое ≤ 5000 лет; геологическое >10000 лет. Следует отметить, что в условиях интенсивно развивающихся техногенных процессов даже геологическое время, т.е. время образования новых геологических тел, может снизиться до десятков лет. Кроме того, время, в течение которого может быть осуществлено изменение отдельных компонентов, как уже указывалось ранее, неоднородно.

Да и так ли длителен процесс образования породной компоненты, особенно рудного вещества?

Проведенное сравнение ряда стратиформных рудных месторождений дает возможность обосновать некоторые общие закономерности, проливающие свет на длительность процессов рудообразования и периодичность смены окислительно-восстановительных условий при развитии эксгаляционных процессов[5]. Последние могли оказывать влияние на состояние природной среды в бассейнах, где происходило рудоотложение. В частности, периоды восстановительной дегазации могли быть причиной бескислородного состояния вод бассейнов и вызывать биосферные кризисы.

Ответы на эти вопросы дает расшифровка особенностей строения и формирования стратиформных месторождений. Несмотря на неоднозначность интерпретации их генезиса, дискуссионность условий их локализации, источников рудного вещества, синхронность рудоотложения с формированием вмещающих пород, многие исследователи стратиформных месторождений различных металлов отмечают приуроченность их к узким стратиграфическим интервалам, ритмичное и циклическое строение рудовмещающих отложений, локализацию рудоносных горизонтов в определенных частях седиментогенных ритмов и циклов, периодическую смену состава руд – сульфидных и окисных.

Указанные черты стратиформных месторождений позволили этим же авторам[6] с известной долей условности оценить длительность формирования их рудоносных и продуктивных рудовмещающих толщ и, соответственно, определить время усиления или ослабления восстановительных или окислительных условий на поверхности Земли.

Анализировались следующие месторождения и рудопроявления: свинцово-цинковые и железо-марганцевые руды рудных узлов Жаильминской мульды Центрального Казахстана; рудопроявление в горах Калкан-Ата Узбекистана; свинцовые и медные руды месторождения Икичат в Северной Киргизии; медные руды месторождения Болео в Мексике; пластовые и линзовидные залежи медных руд месторождения Диабло в Центральном Чили; месторождения меди Наукат в Фергане; колчеданно-полиметаллическое месторождение Озерное в Бурятии. Приведенные авторами примеры особенностей строения стратиформных месторождений разного возраста свидетельствуют о наличии определенной цикличности в смене от преимущественно восстановительных условий осадко-

[1] Ганешин Г.С., Соловьев В.В., Чемеков Ю.Ф. Концепция критических рубежей формирования рельефа // Проблемы эндогенного рельефообразования.
[2] Тимофеев Д.А. Указ. соч.
[3] Островский В.Н. Указю соч.
[4] Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды. М.: Прогресс, 1985. 360 с.
[5] Томсон И.Н., Курчавов А.М. Ритмичность стратиформных месторождений - индикаторы изменения окислительно-восстановительных условий геологического прошлого //Доклады АН, 1995. Т. 345. № 1. С. 96–98.
[6] Там же.

накопления к преобладающим окислительным условиям. Длительность подобных циклов варьирует в диапазоне от 60 тыс. до 1–2 млн. лет. На этом фоне обособляются более узкие интервалы резкого усиления восстановительных или окислительных условий, обусловленных подтоками глубинных флюидов. Длительность таких интервалов колеблется в пределах 1–2 тысяч – первых десятков тысяч лет.

Подмеченные особенности смены окислительно-восстановительных условий на поверхности Земли отражают, очевидно, более общие закономерности развития и дегазации глубин и являются локальными критическими рубежами.

Большинство рудных месторождений генетически тесно связано с тектоническими нарушениями, являющими диссипативными структурами земной коры. Многие годы сведения о процессах залечивания разломов и трещин получались только из данных полевой геологии, что и определяло применение этого термина исключительно к процессам длительного восстановления сплошности горных пород. Однако в последние время появились как лабораторные, так и полевые исследования, свидетельствующие о достаточно быстром изменении прочностных и деформационных характеристик нарушения сплошности: сотни-десятки тысяч минут в лабораторном эксперименте, месяцы-первые годы в полевых исследованиях[1]. Таким образом, все системные свойства геологической среды отражают пространственно-временную структуру материи (вещества) Земли и влияние на нее планетарных факторов. В двойственности свойств (детерминированность – стохастичность, симметрия – диссимметрия, анизотропность – изотропность) выражено корпускулярно-волновое единство материи. При анализе геоэкологической обстановки обычно основной упор делается на вещественный состав среды, в то время как ее системные свойства не зависят от характера вещества ее слагающего, а выражаются через вещество.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Арманд А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем. М.: Мысль, 1988. 288 с.
   Armand A.D. (1988). Samoorganizatsiya i samoregulirovanie geograficheskikh sistem. Mysl'. Moskva. 288 p.
2. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
   Bondarik G.K. (1981). Obshchaya teoriya inzhenernoi (fizicheskoi) geologii. Nedra. Moskva. 256 p.
3. Вернадский В.И. Проблемы времени в современной науке // Изв. АН СССР. Сер. ОМЕН. 1932. № 4. С. 511–541.
   Vernadskii V.I. (1932). Problemy vremeni v sovremennoi nauke. Izv. AN SSSR. Ser. OMEN. № 4. Pp. 511–541.
4. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн.1: Пространство и время в живой природе. М., 1975.
   Vernadskii V.I. (1975). Razmyshleniya naturalista. Kn.1: Prostranstvo i vremya v zhivoi prirode. Moskva.
5. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн.2: Научная мысль как планетарное явление. М., 1977.
   Vernadskii V.I. (1977). Razmyshleniya naturalista. Kn.2: Nauchnaya mysl' kak planetarnoe yavlenie. Moskva.
6. Гамбурцев А.Г. Сейсмический мониторинг литосферы. М.: Наука, 1992. 200 с.
   Gamburtsev A.G. (1992). Seismicheskii monitoring litosfery. Nauka. Moskva. 200 o.
7. Ганешин Г.С., Соловьев В.В., Чемеков Ю.Ф. Концепция критических рубежей формирования рельефа // Проблемы эндогенного рельефообразования. М.: Наука, 1976. С. 34–47.
   Ganeshin G.S., Solov'ev V.V., Chemekov Yu.F. (1976). Kontseptsiya kriticheskikh rubezhei formirovaniya rel'efa. In: Problemy endogennogo rel'efoobrazovaniya. Nauka. Moskva. Pp. 34–47.
8. Геоэкологические исследования в СССР // Докл. сов. геологов к XXVIII Междунар. геол. конгрессу. М.: ВСЕГИНГЕО, 1988. 149 с.
   Geoekologicheskie issledovaniya v SSSR. Dokl. sov. geologov k XXVIII Mezhdunar. geol. kongressu. VSEGINGEO. Moskva. 1988. 149 p.
9. Геоэкология: проблемы и решения // Тез. докл. и сооб. Всесоюз. науч.-техн. конф. Ч.1. Общие проблемы геоэкологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1991. 210 с.
   Geoekologiya: problemy i resheniya. Tez. dokl. i soob. Vsesoyuz. nauch.-tekhn. konf. Ch.1. Obshchie problemy geoekologii. VSEGINGEO. Moskva. 1991. 210 p.
10. Каякин В.В. Прогноз чрезвычайных ситуаций, связанных с техно-природными процессами, и обеспечение безопасности объектов // Геоэкология. 1999. № 2. С. 10–110.
    Kayakin V.V. (1999). Prognoz chrezvychainykh situatsii, svyazannykh s tekhno-prirodnymi protsessami, i obespechenie bezopasnosti ob"ektov. Geoekologiya. № 2. Pp. 10–110.
11. Кноринг Л.Н., Деч В.Н. Геологу о математике. Советы по практическому применению. Л.: Недра, 1989. 208 с.
    Knoring L.N., Dech V.N. (1989). Geologu o matematike. Sovety po prakticheskomu primeneniyu. Nedra. Leningrad. 208 p.
12. Ковалев В.П. Принципы организации и развития материальных систем – методологическая основа истолкования геологической истории литосферы // Идея развития в геологии: вещественный и структурный аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 190–199.
    Kovalev V.P. (1990). Printsipy organizatsii i razvitiya material'nykh sistem – metodologicheskaya osnova istolkovaniya geologicheskoi istorii litosfery. In: Ideya razvitiya v geologii: veshchestvennyi i strukturnyi aspekty. Nauka. Novosibirsk. Pp. 190–199.
13. Косыгин Ю.А. Земля и время. Хабаровск, 1990. 64 с.
    Kosygin Yu.A. (1990). Zemlya i vremya. Khabarovsk. 64 s.
14. Кочарян Г.Г. Механизмы восстановления прочности сейсмогенных разломов // Проблемы взаимодействия геосфер. Сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 77–87.
    Kocharyan G.G. (2009). Mekhanizmy vosstanovleniya prochnosti seismogennykh razlomov. In: Problemy vzaimodeistviya geosfer. Sb. nauchn. tr. IDG RAN. GEOS. Moskva. Pp. 77–87.

[1] Кочарян Г.Г. Механизмы восстановления прочности сейсмогенных разломов // Проблемы взаимодействия геосфер. Сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 77–87.

15. Кюнтцель В.В., Семаков Е.И., Корженевский Б.И., Симонова И.Ю. Структурно-тектонические особенности Крымского региона и их влияние на экзогенные геологические процессы // Геоэкология. 1993. № 6. С. 94–99.
Kyunttsel' V.V., Semakov E.I., Korzhenevskii B.I., Simonova I.Yu. (1993). Strukturno-tektonicheskie osobennosti Krymskogo regiona i ikh vliyanie na ekzogennye geologicheskie protsessy. Geoekologiya. № 6. Pp. 94–99.

16. Кюри П. Избранные труды. М.–Л., 1996.
Kyuri P. (1996). Izbrannye trudy. Moskva–Leningrad.

17. Мигдал А.Б. Так рождаются физические теории. М., 1984.
Migdal A.B. (1984). Tak rozhdayutsya fizicheskie teorii. Moskva.

18. Наливкин В.Д., Кузьмин В.И., Лукьянова В.Г. Естественные границы в ряду распределения месторождений нефти и газа по запасам // Доклады АН СССР. 1982. Т. 266. № 4. С. 947–951.
Nalivkin V.D., Kuz'min V.I., Luk'yanova V.G. (1982). Estestvennye granitsy v ryadu raspredeleniya mestorozhdenii nefti i gaza po zapasam. Doklady AN SSSR. T. 266. № 4. Pp. 947–951.

19. Научное наследие М.А. Усова и его развитие. Новосибирск, Наука, 1984. 185 с.
Nauchnoe nasledie M.A. Usova i ego razvitie. Nauka. Novosibirsk. 1984. 185 p.

20. Островский В.Н. Об изучении динамики геологической среды // Геоэкология. 1997. № 3. С. 101–110.
Ostrovskii V.N. (1997). Ob izuchenii dinamiki geologicheskoi sredy. Geoekologiya. № 3. Pp. 101–110.

21. Пашкин Е.М. Синергетика геосистем: новый подход в инженерной геологии // Инж. геология. 1993. № 7. С. 97–102.
Pashkin E.M. (1993). Sinergetika geosistem: novyi podkhod v inzhenernoi geologii. Inzh. geologiya. № 7. Pp. 97–102.

22. Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 638 с.
Reimers N.F. (1990). Prirodopol'zovanie. Mysl'. Mysl'. 638 p.

23. Садовский М.А. Автомодальность геодинамических процессов // Вест. АН СССР. 1986. № 8. С. 3–12.
Sadovskii M.A. (1986). Avtomodal'nost' geodinamicheskikh protsessov. Vest. AN SSSR. № 8. Pp. 3–12.

24. Садовский М.А., Болховитинов Л.Г., Писаренко В.В. Деформация геофизической среды и сейсмический процесс. М.: Наука, 1987. 100 с.
Sadovskii M.A., Bolkhovitinov L.G., Pisarenko V.V. (1987). Deformatsiya geofizicheskoi sredy i seismicheskii protsess. Nauka. Moskva. 100 p.

25. Свиричевская З.А., Селиверстов Ю.П. Эволюция рельефа и время. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 240 с.
Svirichevskaya Z.A., Seliverstov Yu.P. (1984). Evolyutsiya rel'efa i vremya. Izd-vo LGU. Lenmngrad.240 p.

26. Тимофеев Д.А. Геоморфологическое время и пространственно-временные соотношения в рельефе земной поверхности // Изв. АН. Сер. географическая. 1992. № 4. С. 12–18.
Timofeev D.A. (1992). Geomorfologicheskoe vremya i prostranstvenno-vremennye sootnosheniya v rel'efe zemnoi poverkhnosti. Izv. AN. Ser. geograficheskaya. № 4. Pp. 12–18.

27. Томсон И.Н., Курчавов А.М. Ритмичность стратиформных месторождений – индикаторы изменения окислительно-восстановительных условий геологического прошлого // Доклады АН. 1995. Т. 345. № 1. С. 96–98.
Tomson I.N., Kurchavov A.M. (1995). Ritmichnost' stratiformnykh mestorozhdenii – indikatory izmeneniya okislitel'no-vosstanovitel'nykh uslovii geologicheskogo proshlogo. Doklady AN. T. 345. № 1. Pp. 96–98.

28. Флоренсов Н.А. Некоторые аспекты понятия возраста рельефа // Геоморфология. 1976. № 1. С. 13–22.
Florensov N.A. (1976). Nekotorye aspekty ponyatiya vozrasta rel'efa. Geomorfologiya. № 1. Pp. 13–22.

29. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды. М.: Прогресс, 1985. 360 с.
Fortesk'yu Dzh. (1985). Geokhimiya okruzhayushchei sredy. Progress. Moskva. 360 p.

30. Четвериков Л.И. Геокинематика, или геометрия развития геологических структур // Идея развития в геологии: вещественный и структурный аспекты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 294–301.
Chetverikov L.I. (1990). Geokinematika, ili geometriya razvitiya geologicheskikh struktur. Ideya razvitiya v geo-logii: veshchestvennyi i strukturnyi aspekty. Nauka. Novosibirsk. Pp. 294–301.

31. Шафрановский И.И. Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды // Зап. Всесоюзн. минерал. об-ва. 1954. Ч. 83. Вып.3.
Shafranovskii I.I. (1954). Vneshnyaya simmetriya real'nykh kristallov i simmetriya pitayushchei sredy. Zap. Vse-soyuzn. mineral. ob-va. Ch. 83. Vyp.3.

32. Шубников А.В., Копцик В.А. Симметрия в науке и искусстве. М., 1972.
Shubnikov A.V., Koptsik V.A. (1972). Simmetriya v nauke i iskusstve. Moskva.

33. Шубников А.В. Перспективы развития учения о симметрии: Кристаллография. М., 1991.
Shubnikov A.V. (1991). Perspektivy razvitiya ucheniya o simmetrii: Kristallografiya. Moskva.