

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹

И. Р. Захария

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
 Филиал «Институт геологии»
 ул. Академика Купчевича, 7, 220084, Минск, Беларусь
 E-mail: ramzes0409@gmail.com

Для исследования геологических систем (структур) весьма важным является их изучение не только с позиций их строения и взаимосвязей, взаимодействия внутри самой структуры в каком-то временном срезе, но и с позиций функционирования и изменения системы во времени. Трансформация природных геологических систем – это не только стадия развития: полный процесс трансформации включает ряд стадий – генезис, развитие, деградацию, разрушение; общая направленность трансформации – диссипация, увеличение общей энтропии системы. Дискретные приносы энергии в геологическую систему могут вызывать процессы самоорганизации и временное уменьшение энтропии, но не устраняют общую диссипативную тенденцию трансформации системы. Самоорганизация в системах косной материи является звеном энтропийных процессов и в целом не переводит систему на более высокий уровень организации, организованности вещества.

Ключевые слова: геологические системы (объекты), системный подход (анализ), трансформация, развитие, диссипация, энтропия, самоорганизация.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение геологических объектов с позиций системного подхода показало необходимость их рассмотрения не только как статические структуры, но и с позиций функционирования и особенно трансформации систем. Поэтому рассмотрим это направление теоретического исследования геологических систем [2; 3] в попытке раскрытия, понимания вопросов их генезиса, развития, разрушения, увязав их в одну цепочку с позиций термодинамики.

Чем отличается система в понятиях системного подхода, системного анализа (СА) и система термодинамическая? Системообразование при системном подходе имеет предназначение познания сложных образований, процессов, явлений, и на начальных стадиях СА носит долю субъективизма при переборе элементов, компонентов системы. В то же время системы термодинамические в первую очередь рассматриваются с позиций их функциональности, а также трансформации, развития, деградации и т. п. А это именно то, что нам нужно для исследования геологических систем (структур).

Широко известна фраза Гераклита из Эфеса (ок. 554–483 до н. э.) «Все течет, все меняется». Направление того, куда течет и как меняется, – это второй принцип термодинамики. Так куда все-таки течет? На этот вопрос отвечает Роберт Фритц (2015): «Когда возникает структура, энергия движется внутри нее по пути наименьшего сопротивления. Ины-

ми словами, энергия идет туда, где пройти легче. Это относится... ко всему в природе. ...Ведь двигаться по пути наименьшего сопротивления – это закон природы» [7, с. 21].

А как меняется – вопрос сложный и неоднозначный. Если коротко, то трансформация систем живой и неживой (косной) материи происходит по-разному: первая – эволюционные изменения (приспособление, адаптация к изменяющимся условиям проживания вида и особей), вторая – деволюционные процессы, по направлению увеличения общей энтропии системы (деградация, диссипация, разрушение, рассеяние).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

По мнению М. Г. Родионова (2013), одним из первичных, а следовательно, основополагающих атрибутов системного подхода является недопустимость рассмотрения объекта вне его развития, под которым понимается необратимое, направленное, закономерное изменение материи и сознания [5]. В результате возникает новое качество или состояние объекта. Отождествление терминов «развитие» и «движение» позволяет выразиться в таком смысле, что вне развития немыслимо существование материи, в данном случае – системы. С этой мыслью М. Г. Родионова полностью можно согласиться с одной весьма существенной оговоркой – термин «развитие» в данном контексте некорректен, и его

¹ Статья публикуется в дискуссионном порядке.

необходимо заменить на «трансформация», ведь, собственно, развитие является только этапом в цикле трансформации системы наряду с генезисом, деградацией, разрушением. Все в этом мире проходит стадии рождения, развития, разрушения.

«Всякий геологический объект, начиная с нефтегазоносной провинции и заканчивая образцом породы или даже шлифом, при рассмотрении представляет собой сложную или диффузную (плохо организованную) систему. Это же относится и к геологическим процессам» [2, с. 123]. Изучение геологических объектов – сложных систем – требует рассмотрения их с позиций функционирования и трансформации систем (вопросы генезиса, развития, деградации, разрушения). Понимание этого, хотим мы или не хотим, необратимо ведет к термодинамике. Термодинамика – наука, которая занимается изучением необратимых ориентированных во времени процессов, изучением состояний и свойств физических систем, а также изучением их изменений, обусловленных протекающими в системах процессами.

Существуют два способа образования самоорганизующихся природных систем:

а) система может возникнуть как минимум из двух объектов любой природы в силу наличия связи между ними – это **процесс синтеза или генерации** (зарождения, генезиса в геологии);

б) система может быть образована вследствие распада существующей более сложной системы (**процесс деструкции или дегенерации**) [6, с. 88].

Оба этих процесса имеют место быть в формировании геологических объектов с преобладанием последнего: формирование целого ряда геологических объектов происходит в цепочке разрушения-переотложения разрушенных геологических образований, формируются новые геологические тела, горные породы, минералы.

Стадия развития конкретных геологических объектов – от роста кристаллов, кристаллизации минералов из флюидных растворов, отложения осадков и образования осадочных горных пород до формирования крупных тектонических структур.

Стадия деградации, деформаций новообразований может накладываться на стадию развития; тогда как неминуемой стадии распада, полного разрушения в геологически обозримом времени на практике достигают не все геологические объекты (но теоретически – все!).

Любое действие, изменение любых систем требует затрат энергии. Ни одно действие, даже самое ничтожное, невозможно без затрат энергии, потому что действие – это всегда взаимодействие между системами и/или их элементами. А взаимодействие –

это связь между системами или ее элементами, которая для своего создания требует вложения в нее энергии. Следовательно, любые системы потребляют энергию, в том числе и пассивные [4; 8].

При отсутствии притока энергии или ее недостатке системы приходят в упадок, разрушаются с той или иной скоростью. Распад любой системы – неизбежный процесс.

Практически все реальные системы являются открытыми и все реальные процессы являются необратимыми (термодинамически необратимые – это процессы, при проведении которых в прямом и обратном направлениях система не возвращается в исходное состояние без каких-либо изменений в окружающей среде). Реальные системы эволюционируют к состоянию термодинамического равновесия, т. е. максимума энтропии.

«Согласно второму началу термодинамики, необратимые процессы производят энтропию. Обратимые же оставляют энтропию постоянной» [4, с. 22–23].

Энтропия (термодинамическая энтропия) – термин, обозначающий меру необратимого рассеивания энергии или бесполезности энергии (не всю энергию системы можно использовать для превращения в какую-нибудь полезную работу); это функция состояния системы, количественно характеризующая степень беспорядка системы, мера хаоса. Изменение энтропии характеризует стремление систем к наиболее вероятному состоянию, т. е. к состоянию с максимальной энтропией [4; 8]. В неравновесных (необратимых) процессах энтропия также служит мерой близости состояния системы к равновесному: чем больше энтропия, тем ближе система к равновесию (в состоянии термодинамического равновесия энтропия системы максимальна). Закон возрастания энтропии у Л. Больцмана получил следующую интерпретацию: система стремится к наиболее вероятному состоянию; самопроизвольно протекают только те процессы, в которых система из менее вероятного состояния переходит в более вероятное [1].

Системы, в которых энергия упорядоченного движения с течением времени убывает за счет диссипации, переходя в другие виды энергии, например, в теплоту или излучение, называются диссипативными. Если диссипация энергии происходит в замкнутой системе, то энтропия системы возрастает. В неравновесной термодинамике интенсивность диссипации напрямую связана с производством энтропии системы.

Так как практически все реальные системы являются открытыми и все реальные процессы являются необратимыми и деволюционируют

к состоянию термодинамического равновесия, геологические системы в целом также являются диссипативными, и направленность геологических процессов – увеличение общей энтропии.

На фоне эволюционирования (трансформации) реальных геологических систем (которые нельзя относить к закрытым системам) к состоянию термодинамического равновесия *происходят периодические привносы энергии и вещества*, дискретные во времени и пространстве. В эти моменты система начинает самоорганизовываться и противостоит тенденции ее разрушения средой. Самоорганизация в системах косной материи (такowymi являются и геологические объекты) может проявляться как эпизодический процесс при привносе энергии и вещества, при этом не нарушается главная энтропийная направленность трансформации системы; изменения системы в точках бифуркации имеют общую направленность уменьшения комплексных показателей РТВ – давления, температуры, объема как приспособление (адаптация) системы к новым условиям, что может быть причиной образования новых минералов, руд, полезных ископаемых. Таким образом, формируются (могут формироваться) новые структуры для новых, измененных (в целом в сторону уменьшения) комплексных показателей РТВ – давления, температуры, объема системы. То есть трансформация геологических систем во времени имеет общую диссипативную направленность, которая в целом при периодических поступлениях в систему энергии и вещества временно может замедляться: в точках (в моменты) привноса в систему энергии и вещества происходят перестройка системы и процессы самоорганизации (с формированием неких новых образований – например, могут образовываться новые более устойчивые минералы (с большей плотностью, меньшего объема и т. п.), рост кристаллов из насыщенных растворов). Они могут быть точками бифуркации (но это не обязательно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из приведенных рассуждений вытекают следующие выводы.

1. Все геологические системы диссипативны с нарастающей энтропией.

2. Периодические привносы энергии (дискретные во времени и пространстве) не могут изменить энтропийное направление трансформации геологических систем.

3. Процессы самоорганизации в природных геологических системах, относящихся к косной материи, происходят на фоне адаптации к новым условиям, идут по пути наименьшего расходования энергии (пути наименьшего сопротивления), в целом снижения общего РТВ систем: могут образовываться новые более устойчивые минералы (с большей плотностью, меньшего объема и т. п.), рост кристаллов из насыщенных растворов, образование графита и алмазов из углисто-го вещества, синтез и конденсация УВ из глубинных флюидно-газовых смесей и т. п. То есть в целом самоорганизацию в диссипативных системах можно рассматривать как часть энтропийных процессов.

Следовательно, самоорганизация в объектах, системах косной материи в целом не переводит систему на более высокий уровень организации, организованности вещества. В системах косной материи появление (образование) чего-то нового является обязательно следствием разрушения старого при внешнем воздействии, которым может быть привнос в систему энергии, вещества.

Отсюда весьма важным для геологических исследований, и в нефтегазовой отрасли особенно, является изучение глубинных процессов как основного поставщика энергии и вещества в геологическую среду, установление характера, временных и количественных параметров воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Больцман, Л.** О связи между вторым началом механической теории теплоты и теорией вероятностей в теоремах о тепловом равновесии / Л. Больцман // Избранные труды. – М.: Наука, 1984. – С. 190–235.
2. **Захария, И. Р.** Перспективы применения системного анализа для решения задач нефтяной геологии / И. Р. Захария, А. А. Кравцова // Літасфера. – 2021. – № 1 (54). – С. 121–127.
3. **Захария, И. Р.** Системный анализ в геологии / И. Р. Захария // Тенденции и проблемы развития наук о Земле в современном мире: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: ГГУ, 2024. – Ч. 1. – С. 73–77.
4. **Пригожин, И. Р.** Конец определенности: время, хаос и новые законы природы / И. Пригожин. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 208 с.
5. **Родионов, М. Г.** Системный подход к построению новой теории структур / М. Г. Родионов // Вестн. Сибир. ин-та бизнеса и информационных технологий. – 2013. – № 8. – С. 19–24.

6. Родионов, М. Г. Типология организации систем как элемент теории структур на основании положений общей теории систем / М. Г. Родионов // Вестн. Сибир. ин-та бизнеса и информационных технологий. – 2017. – № 4. – С. 87–91.

7. Фритц, Р. Путь наименьшего сопротивления / Р. Фритц. – М.: МИФ, 2015. – 345 с.

8. Юричев, А. Н. Метаморфизм: учеб. пособие / А. Н. Юричев. – 2-е изд., доп. – Томск: Изд. Дом ТГУ, 2016. – 194 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 07.03.2025

Рэцэнзент Я. А. Кухарык

ТРАНСФАРМАЦЫЯ ПРЫРОДНЫХ ГЕАЛАГІЧНЫХ СІСТЭМ

І. Р. Захарыя

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: ramzes0409@gmail.com

Для даследавання геалагічных сістэм (структур) вельмі важным з'яўляецца іх вывучэнне не толькі з пазіцый іх структуры і ўзаемных сувязей, узаемадзеяння ўнутры самой структуры ў нейкім часавым зрэзе, але і з пазіцый функцыянавання і змянення сістэмы ў часе. Трансфармацыя прыродных геалагічных сістэм – гэта не толькі стадыя развіцця: працэс трансфармацыі ўключае генезіс, развіццё, дэградацыю, разбурэнне; агульная накіраванасць трансфармацыі – дысіпацыя, павелічэнне агульнай энтрапіі сістэмы. Дыскрэтныя прыўносы энергіі ў геалагічную сістэму могуць выклікаць працэсы самаарганізацыі і часовае памяншэнне энтрапіі, але не выключаюць агульную дысіпатыўную тэндэнцыю трансфармацыі сістэмы. Самаарганізацыя ў сістэмах коснай матэрыі з'яўляецца звязаным энтрапійным працэсам і ў цэлым не пераводзіць сістэму на больш высокі ўзровень арганізацыі, арганізаванасці рэчыва.

Ключавыя словы: геалагічныя сістэмы (аб'екты), сістэмны падыход (аналіз), трансфармацыя, развіццё, дысіпацыя, энтрапія, самаарганізацыя.

TRANSFORMATION OF NATURAL GEOLOGICAL SYSTEMS

I. Zakharia

State Enterprise “Research and Production Center for Geology”
Branch “Institute of Geology”
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: ramzes0409@gmail.com

For the study of geological systems (structures), it is very important to study them not only from the standpoint of their structure and interrelationships, interactions within the structure itself in some time slice, but also from the standpoint of the functioning and change of the system over time. The transformation of natural geological systems is not only a stage of development: the transformation process includes genesis, development, degradation, destruction; the general direction of the transformation is dissipation, an increase in the total entropy of the system. Discrete energy injections into a geological system can cause self-organization processes and a temporary decrease in entropy, but they do not eliminate the general dissipative tendency of system transformation. Self-organization in systems of inert matter is a link in entropic processes and, in general, does not transfer the system to a higher level of organization of matter.

Keywords: geological systems (objects), system approach (analysis), transformation, development, dissipation, entropy, self-organization.