

СИНЕРГЕТИКА ГЕОСИСТЕМ КАК ЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ УЧЕНИЯ О ГЕОСРЕДЕ

Е.Г. Мирлин

Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН
egm.sgm.ru

Что представляет собой та природная среда, которую изучают геологи и геофизики? Обычно считается, что это - «каменная» оболочка Земли, которая, в отличие от других, внешних ее оболочек – воздушной и водной, является твердой и относительно хрупкой. Основные положения тектоники литосферных плит, которая является ведущей теоретической парадигмой в геологии в течение последних почти сорока лет, такой точке зрения, казалось бы, не противоречат. В основе ее лежит простое геометрическое наблюдение – сходство очертаний континентов, окружающих Атлантический океан. Когда-то они составляли единый массив, а затем раскололись и раздвинулись, сохранив, в первом приближении, первоначальные очертания. Таким образом, подразумевается, что геосреда представляет собой сплошной монолит, состоящий из твердых горных пород. Монолит механически дробится на осколки разных размеров (отдельным вопросом является причина такого дробления), а задача тектонистов, условно говоря, состоит в том, чтобы собрать их воедино и восстановить историю океанов, морей, складчатых поясов и т.д. Однако за последние два десятилетия произошел коренной пересмотр традиционных представлений о геосреде, и в настоящее время она представляется скорее субстанцией, обладающей свойством нестабильности и текучести. Именно поэтому в геологической литературе процессы, происходящие в «твердых» оболочках, все чаще сравниваются с процессами, свойственными жидкой и газообразной оболочкам нашей планеты.

Приоритет в пересмотре свойств среды принадлежит отечественным геофизикам (Садовский, 1986, Keilis-Vorok, 1990). Ими сформулированы принципиально новые представления о ней, в основе которых не сплошность и монолитность ее, а, напротив, дискретность: и земная кора, и литосфера состоят из отдельных частей самого разного масштаба: от мельчайших зерен горных пород до гигантских плит литосферы. Кроме того, важнейшим свойством такой «агрегатной» среды, является постоянные колебательные движения в широком спектре частот: от микросейсм до периодических возмущений, возникающих в системе Земля-Луна. Как следствие, в энергонасыщенной, дискретной среде земных недр большинство взаимодействий различной природы и самого разного масштаба является нелинейным. Использование этого теоретического принципа, имеющего концептуальное значение, обусловило принципиально новые подходы к решению проблем геодинамики (Пушаровский, 1993). Природным средам с такого рода свойствами имманентно присущи процессы самоорганизации, а геологические исследования получают новый фундамент - синергетический (Горяинов, Иванюк, 2001).

Весьма важную роль в коренном пересмотре свойств геологической среды сыграли наблюдения за структурной геометрией самых разнообразных геологических объектов. Было установлено, что очертания берегов и русел рек, подводный рельеф, сеть разломов, распределение зерен в горных породах, пространственное распределение очагов землетрясений и рудных объектов, сейсмическая расслоенность Земли, делимость литосферы на плиты и блоки, и др. относятся к категории масштабно-инвариантных, т.е. фрактальных организованных. Это показано как на качественном, так и на количественном уровнях. Один из наглядных примеров такого масштабного изоморфизма относится к строению центров раздвига литосферных плит на гребнях срединно-океанских хребтов (СОХ), где происходит разрастание и аккреция океанской литосферы – спрединг. Отличительной особенностью структурной геометрии и гребней, и срединных хребтов в целом является разноранговая сегментация. Сегменты, границами которых являются трансформные разломы, разделяются на сегменты, отделенные друг от друга кулисообразно смещенными вулканическими постройками, фиксирующими ось аккреции, различными по размеру перекрытиями линейных вулканических хребтов, а также другими

структурными элементами. Эти сегменты, в свою очередь, делятся на еще более мелкие, и т.д.; в итоге выделяют до шести и более сегментов разных порядков. Структурно-геометрический изоморфизм подводного рельефа отчетливо виден на гребнях СОХ с высокими (от 8 до 12 см/год) и промежуточными (от 4 до 8 см/год) скоростями раздвига плит, в пределах которых весьма распространены перекрытия (в плане) центров спрединга (ПЦС) самого разного размера. Геометрия их достаточно проста и вполне поддается сравнительному изучению. Так на гребне Восточно-Тихоокеанского поднятия в интервале от 16° с.ш. до 20° ю.ш., где зафиксированы указанные выше скорости раздвига, детально изучены 13 ПЦС разного ранга. На генеральных схемах этих структур показаны как линейный вулканические гряды, фиксирующие оси растяжения, так и расположенные между ними структурные депрессии, представляющие собой удлиненные впадины, вытянутые вдоль простирания гребня (рис.1).

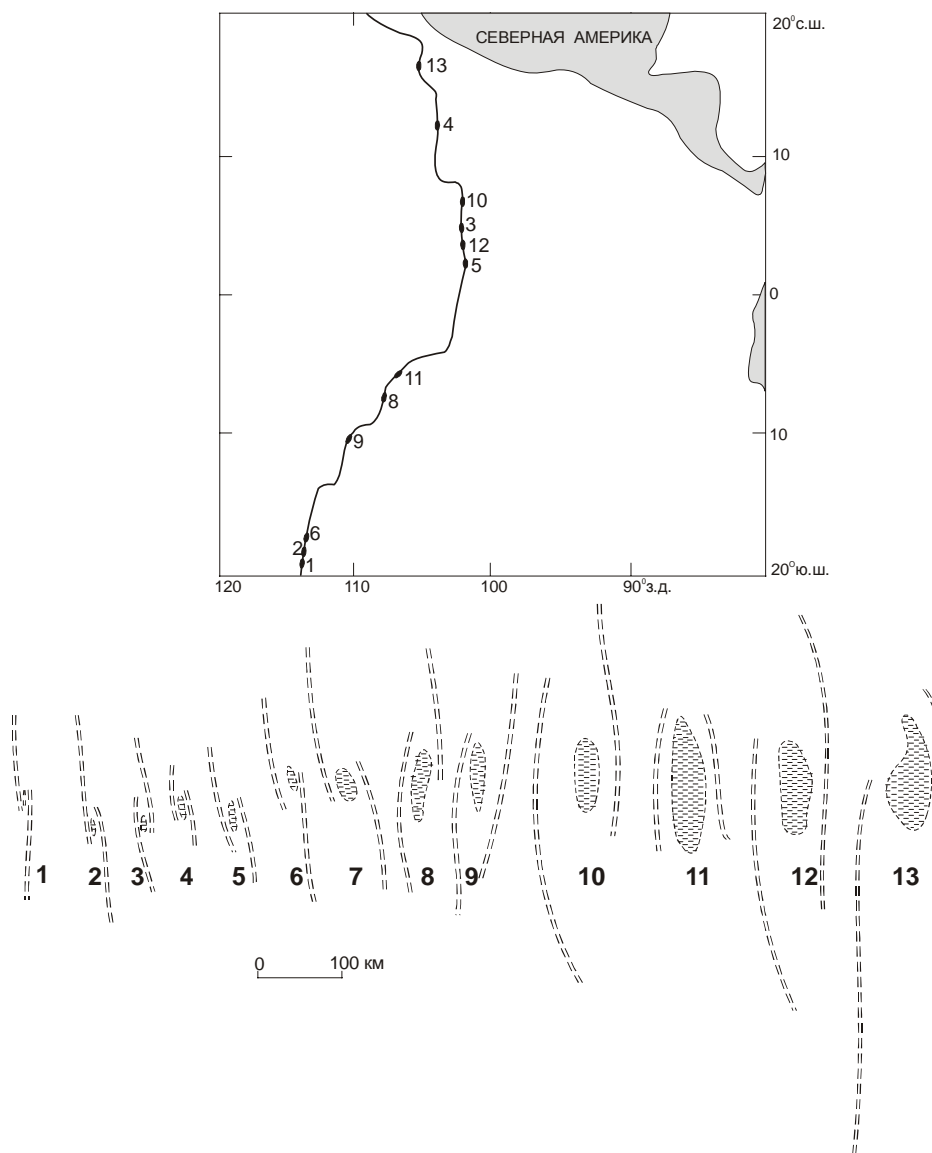


Рис.1. Геометрическое самоподобие перекрывающихся центров спрединга (ПЦС) на гребне Восточно-Тихоокеанского поднятия: (а) – расположение ПЦС; (б) – их генерализованные морфотектонические схемы, построенные по результатам детальных исследований подводного рельефа. 1 - оси центров спрединга, 2 - структурные депрессии между ними (Мирлин, 2006¹).

Наблюдаются некоторые вариации в структурной геометрии ПЦС, но они носят второстепенный характер по сравнению с основной особенностью конфигурации этих образований. Нетрудно видеть, что самым существенным свойством ПЦС является их геометрическое самоподобие. Длина самой короткой депрессии составляет около 15 км, а самой протяженной – 130 км, длина сегментов оси спрединга, заключенных между соседними перекрытиями, колеблется от менее 15 км до более 200 км. Другими словами, при практически

неизменной геометрии этих форм рельефа, их размеры меняются почти на порядок, что является отчетливым свидетельством масштабного самоподобия.

Фрактально организованные объекты возникают исключительно в системах, в которых отклик не прямо пропорционален воздействию, т.е. нелинейных и неравновесных. Основное свойство таких систем - способность к упорядочению и формированию высокоорганизованных пространственно-временных структур. Они носят название диссипативных, т.к. их возникновение и существование требует непрерывного обмена веществом и энергией с окружающей средой. Рассмотренные масштабнo-инвариантные геологические структуры относятся именно к этой категории; это означает, что в природной среде, в которой протекают процессы геологического структурообразования, магматизма, рудообразования и др. доминируют именно нелинейные взаимодействия различной природы и самого разного масштаба.

Известно, что отличительным и принципиально важным свойством динамики и гидросферы, и атмосферы, т.е. сильно неравновесных и нелинейных природных сред, является чрезвычайно большое разнообразие вихревых движений. Анализ геологической истории океанских впадин самого разного размера показал, что эволюция их структурной геометрии наилучшим образом может быть истолкована, если исходить из того, что океанообразование происходит под воздействием разноранговых вихревых движений (Мирлин, 2006²). Кроме теоретической важности этого вывода применительно к свойствам геосреды, специфика вихревого движения позволяет объяснить целый ряд геодинамических феноменов, относящихся к строению океанской литосферы и зон сочленения океан-континент, которые не поддаются интерпретации с позиции традиционной плитотектонической парадигмы. На рис. 2 сопоставлены структурные формы атмосферного циклонического синоптического вихря, океанского бассейна, образованного под воздействием вихревого движения, и океанского бассейна, образованного по плитотектонической модели.

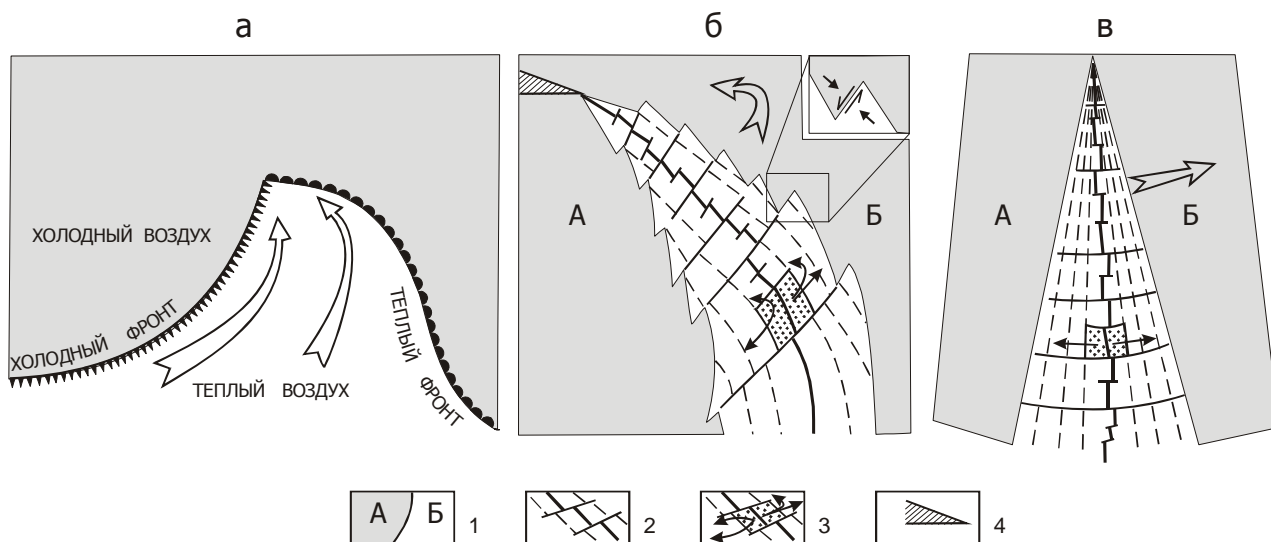


Рис.2 Структурная форма атмосферного циклонического синоптического вихря (а), океанского бассейна, образованного под воздействием вихревого движения (б), и океанского бассейна, образованного по плитотектонической модели (в). Стрелки на рис.1а – направление перемещения теплого воздуха; на рис.1б и 1в - направление перемещения континентальной плиты Б относительно континентальной плиты А (Мирлин, 2006²).

Если разделение континентов и последующая эволюция океанской впадины происходят под воздействием вихревого движения, линии раскрытия приобретает округлые очертания в соответствии с геометрией вихревого потока. Скорость поступательно-вращательного перемещения вещества в нем меняется от внутренней его части к внешней. Это приводит к возникновению компоненты сдвига в литосфере и является причиной того, что на ранней – континентальной стадии раскрытия океанской впадины, континентальные рифты приобретают черты, свойственные структурам pull-apart. Линия первоначального раскрытия океанской

впадины (а в последующем – пассивная окраина), хотя и сохраняет закругленные очертания в генеральном плане, разделяется на отдельные сегменты, т.е. становится изломанной, пилообразной. Геометрия этой сегментации обладает свойством самоподобия в силу фрактальных свойств среды, о которых уже упоминалось выше. Кроме того, изменение скорости внутри вихревого потока стимулирует возникновение динамических поверхностей раздела внутри него и, соответственно, вихревых структур меньшего масштаба, которые также могут влиять на конфигурацию линии раскрытия. На стадии полного разрыва континентальной коры и формирования зон спрединга специфика вихревого движения: вращательные движения различных объемов вещества вокруг самостоятельных осей будет вызывать напряжения кручения во вновь формируемой тонкой океанской литосфере, что и является, по всей вероятности, основной причиной возникновения ее разноранговой структурной кулисности – сегментации, а также тектонической расслоенности коры и литосферы.

Из этой модели следует, что геометрическая закругленность контуров континентов, и разнопорядковая сегментация океанского ложа связаны со спецификой вихревого движения. Но если возникновение первого феномена описывается, по-видимому, движением вязкой жидкости (вихревой поток), то природа второго наилучшим образом может быть истолкована как реакция хрупкой и упругой литосферы на воздействие вихревого потока).

Вопреки ранее существовавшим представлениям процессы, которые определяют структурный лик земной коры и литосферы, невозможно свести к чисто механическим; в их основе способность сильно неравновесных природных сред порождать весьма упорядоченные структуры. Синергетический подход позволяет по-новому подойти к природе многих геологических феноменов и, несомненно, постепенно будет вытеснять устоявшиеся геодинамические представления, в основе которых - механика сплошной среды. Наиболее актуальная задача в настоящее время: разработка и совершенствование методологических принципов приложения новой концепции геосреды и синергетики геосистем к решению конкретных задач теоретической и прикладной геологии.

Список литературы

Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. Москва. ГЕОС. 2001. 312 с.

Мирлин Е.Г.¹ Фрактальное структурообразование на различных стадиях формирования океанской литосферы: предпосылки, примеры, проблемы//Океанология. 2006.т.46.№1.с.133-144.

Мирлин Е.Г.² Проблема вихревых движений в «твердых» оболочках Земли и их роли в геотектонике//Геотектоника, 2006, №4, с.43-60.

Пуцаровский Ю.М. Нелинейная геодинамика (кредо автора)//Геотектоника. 1993. №1. с.3-6.

Садовский М.А. Автомодельность геодинамических процессов//Вестник АН СССР. 1986. №8. с.3-11.

Keilis-Borok V.I. The lithosphere of The Earth as a nonlinear system with implications for earthquake prediction//Reviews of Geophysics. 1990.V.28.№.1 P.19-34.