

УДК 551.2

ОТ ТЕКТониКИ ПЛИТ К ФРАКТАЛЬНОЙ ТЕКТониКЕ

© 2003 г. Е. Г. Мирлин

Представлено академиком Д.В. Рундквистом 11.09.2002 г.

Поступило 17.09.2002 г.

Как показано Б. Мандельбротом [1], фрактальная геометрия – универсальное свойство природы. Фракталы – это объекты, имеющие дробную размерность, причем им свойственно самоподобие, т.е. подобие частей целому. Количественный анализ фрактальности дает в руки исследователя, в частности геолога, полезный инструмент для выявления обобщенных характеристик многих структур, но не менее плодотворным является взгляд на саму природу некоторых процессов и явлений под углом зрения фрактальности и дробности участвующих в них объектов.

Отметим в связи с этим, что тектоника плит, на которой базируется современная геодинамика, вопреки представлениям фрактальной геометрии оперирует с плитами как с жесткими и сплошными объектами. Другими словами, в ней не учитывается фундаментальное свойство литосферы – дискретность и дробность ее структуры. Однако многолетними работами разных исследователей доказано, что в литосфере существует иерархия разноранговых неоднородностей – от мельчайших отдельностей горных пород до крупных блоков и, наконец, собственно литосферных плит [2–4 и др.]. Имеет ли это глобальные тектонические следствия и каково их значение?

Первый шаг в попытке ответить на этот вопрос сделан нами ранее, когда было показано, что геометрическая структура океанских бассейнов, их пассивных окраин и зон спрединга указывает на дискретность и дробность литосферы, которая проявилась при распаде Пангеи в виде разноранговых, как бы вложенных друг в друга впадин pull-apart [5]. В сущности это означает, что кроме крупных плит, с которыми имеет дело плейттектоника, существует еще целая иерархия блоков меньшего размера, которые могут иметь своеобразную кинематику, отличную от кинематики основных плит. Имея дело лишь с одними плитами: крупными или мелкими, мы на самом деле до предела упрощаем и генерализуем

картину того, как ведет себя литосфера, реагирующая на возникающие напряжения. Задача же состоит в том, чтобы оценить по возможности весь спектр возможных реакций, обусловленных дробностью среды.

Следующий шаг направлен на частичное решение этой задачи. При этом мы основываемся на том хорошо известном факте, что при расколе Пангеи гигантскую роль играли крупнейшие горизонтальные разломы – сдвиги, разделявшие крупнейшие части мегаконтинента. Как показывают работы, посвященные эволюции таких крупнейших сдвигов, при изменении поля напряжений происходит их расщепление и преобразование их в систему структур pull-apart (рис. 1а, 1б). Последующая динамика развития и геометрия последних могут сильно варьировать в зависимости от соотношения растягивающих и сжимающих напряжений (транстенсии и транспрессии), динамики изменения поля напряжений во времени и пространстве.

Наиболее распространенной является ситуация, когда на месте сдвига формируется веерообразная цепочка структур pull-apart, которая как бы стягивается к главной линии первоначального смещения и раскрывается в противоположном направлении (рис. 1в). Земная кора подвергается расклинивающим напряжениям: продвигающийся клин как плуг вспарывает ее и в ней образуется клиновидный раздвиг. Геодинамическая природа его связана с дифференциальными движениями вдоль сдвигов, ограничивающих pull-apart – например, в случае, когда одна из плит испытывает тормозящий эффект, а другая вращается относительно свободно (к примеру, Африка, сталкивающаяся с Евразией, и Южная Америка). Очевидно, что при перемещении плит литосферы по поверхности планеты и их столкновении подобная ситуация встречается достаточно часто.

Важнейшим следствием схемы на рис. 1в является то, что формирующийся клиновидный раздвиг ориентирован почти поперек линии генерального простирания срединно-океанического хребта и как бы вторгается в континентальные части литосферных плит, геодинамически играя роль самостоятельной плиты с нечеткими грани-

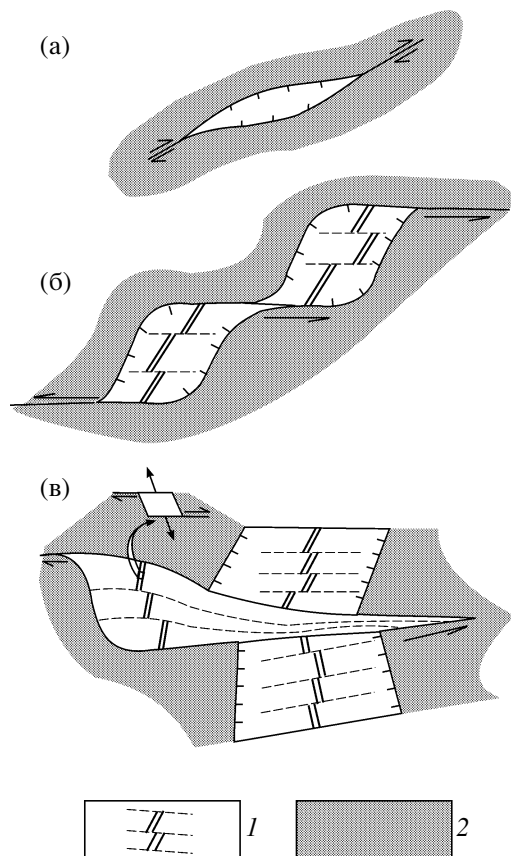


Рис. 1. Схема формирования структуры pull-apart в результате расщепления сдвига (а и б) и клиновидной системы этих структур на месте крупного сдвигового смещения (в). Литосфера: 1 – океанская с зонами спрединга и трансформными разломами, 2 – континентальная. Стрелки – направления смещений. На врезке показаны основные направления растягивающих усилий в пределах элементарной структуры pull-apart [7].

цами. Известно, что в любой структуре pull-apart присутствует компонента растяжения, ориентированная примерно перпендикулярно плоскости основного горизонтального смещения [6, 7]. Очевидно, что за счет этой составляющей растяжения в пределах клиновидного раздвига наращивание литосферы происходит не только перпендикулярно срединно-океаническому хребту (СОХ), но и под углом к нему (врезка на рис. 1в).

Отметим еще два аспекта, по которым изучение структур pull-apart играет важную роль. Во-первых, как уже отмечалось [5], их можно рассматривать как своеобразные самостоятельные структурные элементы литосферы и коры различного ранга, о чем свидетельствует тот факт, что по модели pull-apart формируются разномасштабные грабено- и горстообразные структуры. Наибольшее внимание привлекают впадины – как небольшие, так и весьма крупные, в том числе и нефтегазоносные. В частности, в большинст-

ве своем континентальные рифты, и по крайней мере некоторые задуговые бассейны, относятся к этому геодинамическому классу структур. В связи с актуальностью вопроса во многих работах не только рассматривается проблема возникновения и развития реальных структур данного типа [8–10], но и осуществляется физическое моделирование соответствующих процессов [6, 7].

Во-вторых, веерообразные или клиновидные структуры являются универсальными в том смысле, что они широко распространены не только в океанах, но и на континентах, где они получили название ангулярных. Эти структуры подробно рассмотрены Л.И. Красным [11], и есть все основания считать, что они имеют аналогичную геодинамическую природу.

Признаком наличия клиновидного раздвига в структуре океанского ложа является специфический веерообразный рисунок трансформных разломов, а в некоторых случаях и магнитных аномалий, которые закартированы в ряде регионов Мирового океана. Благоприятные условия возникновения такого веера могли возникать в местах стыка разновозрастных сегментов океанских впадин, в пределах которых направления векторов раскрытия различались в период, когда происходило объединение сегментов в единый бассейн.

Очевидно, что вторжение клиновидного раздвига в континентальные части литосферных плит должно повлечь за собой определенные тектонические следствия. Рассмотрим самые важные из них.

Несомненно, важнейшим является приуроченность большинства провинций покровных базальтов к тем местам на континентах, которые затронуты продвигающимся внутрь клиновидным раздвигом, что часто сопровождается также континентальным рифтогенезом. Ранее мы уже обращали внимание, что третичная базальтовая провинция Северной Атлантики расположена именно в области, где имеются все признаки такого клина: неправильная форма Норвежской котловины с веерообразным рисунком трансформных разломов и магнитных аномалий, а также аномально удлиненной западной частью. Эта неправильная геометрическая форма вызывает необходимость присутствия зоны растяжения, поперечной по отношению к простиранию современной системы срединно-океанических хребтов. Роль поперечной структуры играют, по-видимому, рифты Северного моря и рифты северо-восточной Гренландии, заложение которых произошло еще до начала раскрытия Норвежско-Гренландского бассейна. При этом система веерообразных трещин, связанных с клинораздвигом, могла провоцировать вскрытие коры, рез-

кое снижение давления, образование магматических камер и начало покровных излияний [5].

Близкая ситуация наблюдается в северо-западной части Индийского океана, где установлена веерообразная в плане форма трансформных разломов к востоку от оси Аравийско-Индийского СОХ. По данной спутниковой альтиметрии трансформные разломы как бы стягиваются при подходе к Мальдивскому хребту. Последний имеет вулканическую природу, дугообразно изгибается, следуя простираниям разломов, и смыкается с Деканскими траппами на континенте (рис. 2). Континентальными продолжениями клина являются рифты Нармада, Тапти, Камбей и др., развитие которых соотносится с периодом распада Гондваны в этой ее части (конец мела). Важнейшим итогом вторжения клина в пределы Индостанского субконтинента можно считать формирование условий, способствующих развитию относительно неглубокой магматической камеры за счет развития клиновидной структуры pull-apart, что и послужило началу излияния плато-базальтов. Как было показано А.В. Тевелевым, эта геодинамическая ситуация весьма благоприятна для развития присдвиговой магматической камеры – глубинного аналога pull-apart [12].

Еще одним ярким примером проявления дискретности литосферы является экваториальная Атлантика, где детальное исследование (спутниковая альтиметрия, эхолотный промер) показали, что в этой части океана по крайней мере некоторые из трансформных разломов испытывают конвергенцию [13] (рис. 3). Это относится, например, к разломам Зеленого Мыса, Вима и Архангельского в их восточной части, а также к разломам Чейн и Вознесения при их приближении к Африканскому побережью. Сближение разломов – вопреки их теоретическому положению согласно тектонике плит, а также эшелонированность рифтовой зоны в ее отдельных сегментах убедительно указывают на то, что мы имеем дело с сильно удлинненными структурами pull-apart, веерообразно расходящимися от Гвинейского залива и Африканского побережья в сторону северо-западного побережья Южной Америки. Формирование клина относится, по всей вероятности, к начальной стадии движения Южной Америки относительно Африки, когда здесь существовал гигантский сдвиг. Важнейшими следствиями развития этого клина в обе стороны являются формирование рифта Бенуэ в Африке и омоложение Амазонского рифта в Южной Америке, образование вулканитов Камерунской линии, пространственно тяготеющих к сдвигу, протягивающемуся внутрь Африканского континента и ограничивающему впадины pull-apart, а также образование своего рода зазора между Северной и Южной Америкой, куда начала поступать более древняя

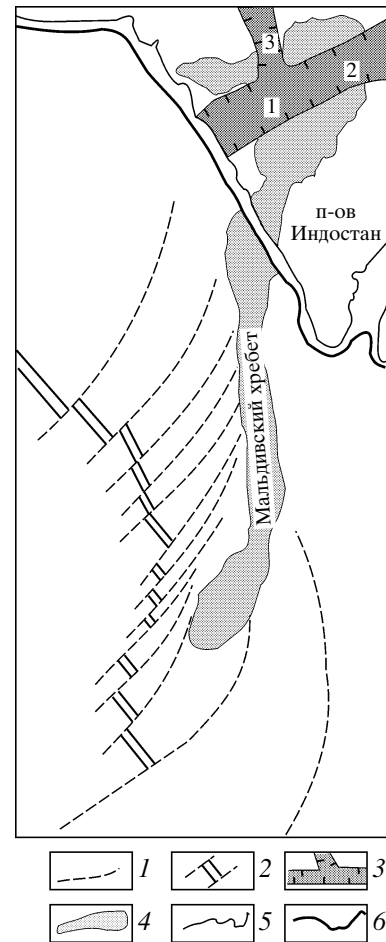


Рис. 2. Клиновидный раздвиг, отражающийся в веерообразной структуре трансформных разломов на северо-восточном склоне Аравийско-Индийского хребта и связанные с ним океанские и континентальные структуры. 1 – трансформные разломы; 2 – оси спрединга; 3 – континентальные рифты (1 – Центральный, 2 – Тапти, 3 – Камбей); 4 – вулканические поднятия на дне океана (Мальдивский хребет) и провинции покровных базальтов на континенте; 5 – береговая черта; 6 – бровка шельфа.

и холодная литосфера Тихого океана, что и дало толчок субдукции в Карибском бассейне [5].

Примеры вторжения в континентальную кору клиновидных структур pull-apart, поперечных по отношению к генеральному простиранию СОХ, и образование в связи с этим соответствующих вулканических и рифтовых структур на континентах могут быть продолжены. Можно упомянуть клин к юго-востоку от Австралии и соответствующие рифтовые структуры восточной Антарктики, а также базальты Тасмании, клинообразное расширение СОХ к юго-востоку от Африки и связанные с ним вулканиты Карру и др.

Из всех приведенных примеров следует, что при распаде мегаконтинента Пангеи на отдельные фрагменты важнейшую роль играли не про-

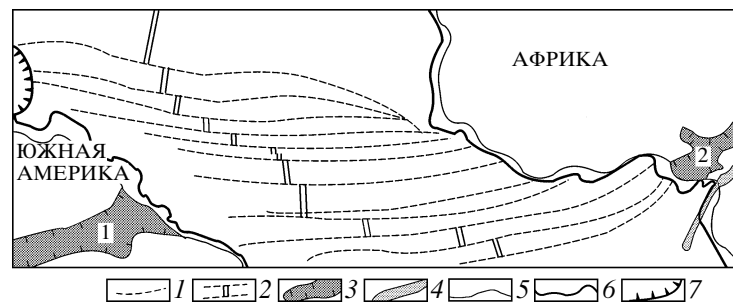


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, в экваториальной Атлантике. 1 – трансформные разломы; 2 – оси спрединга; 3 – континентальные рифты (1 – Амазонский, 2 – Бенуэ); 4 – вулканические поднятия на дне океана и базальтовые провинции на континенте (Камерунская линия); 5 – береговая черта; 6 – бровка шельфа; 7 – зона субдукции.

сто гигантские разломы–сдвиги, как это следует из тектоники плит, а их последующая трансформация в систему клиновидных структур pull-apart. Эти клинья в процессе развития вторгались в континентальные части плит и вызывали образование там провинций покровных базальтов и рифтовых поясов. Другими словами, реакция литосферы на напряжения, возникающие в процессе движения плит, осуществляется на самом деле гораздо более сложно, чем это предполагается в тектонике плит – именно в силу ее фрактальной дискретности и дробности. В частности, из проведенного анализа, а также из модели Д. Андерсона о неглубоко залегающем слое обогащенной мантии можно сделать вывод, что для объяснения природы многочисленных провинций покровных базальтов в принципе не требуется предположения о мантийных восходящих плюмах (хотя само их существование, так же, как и субгоризонтальных мантийных потоков, нами не отрицается).

Все сказанное дает основание считать, что тектоника плит должна быть дополнена новым направлением, которое можно условно назвать фрактальной тектоникой. Это новое тектоническое направление, сохраняя все основные положения тектоники плит, призвано восполнить ее основную пробел: отсутствие учета дискретной природы океанской и континентальной литосферы. Соответственно, главная задача фрактальной тектоники – дать генетическое обоснование всех явлений и структур, обусловленных фрактальной дискретностью и дробностью литосферы.

Автор признателен акад. Д.В. Рундквисту за предоставленную возможность плодотворной работы и полезные обсуждения.

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований Президиума РАН

“Мировой океан: геология дна, геодинамика, биология моря и экология”, а также по проблеме Министерства науки и технологий “Построение трехмерной компьютерной модели взаимодействия литосферных плит для анализа сейсмичности и металлогении” (грант 43.043.1.1.1606) и при поддержке РФФИ (грант 00–15–98535).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. N.Y.: W.H. Freeman, 1983. 461 p.
2. Красный Л.И. Блоковое строение земной коры. Л.: Недра, 1984. С. 213.
3. Рундквист Д.В., Гатинский Ю.Г., Буш В.А., Кособоков В.Г. Вычислит. сейсмология. 2001. В. 32. С. 266–277.
4. Садовский М.А., Голубева Т.В., Писаренко В.Ф., Шнирман М.Г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1984. № 20. С. 87–96.
5. Мирлин Е.Г. // ДАН. 2001. Т. 379. № 2. С. 231–234.
6. Dooley T., McClay K. // Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull. 1997. V. 81. P. 1804–1826.
7. Rahe B., Ferril D.A., Morris A.P. // Tectonophysics. 1998. V. 285. P. 21–40.
8. Audin A., Nur A. // Tectonics. 1982. V. 1. P. 91–105.
9. Mann P., Hemplan M.R., Braley D.C., Burke K. // J. Geol. 1983. V. 91. № 5. P. 529–534.
10. Peacock D.C.P., Sanderson D.J. // Tectonophysics. 1995. V. 241. P. 1–13.
11. Красный Л.И. // Тихоокеан. геология. 1995. Т. 14. № 6. С. 16–23.
12. Тевелев А.В. Тектоника и кинематика сдвиговых зон: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2002. 49 с.
13. Мазарович А.О. // ДАН. 1994. Т. 335. № 1. С. 70–73.