

УДК 551.462:551.242.23→551.24

© 2011 г. А.В. ИЛЬИН

**СИММЕТРИЯ ДНА ОКЕАНА – КЛЮЧ
К ПОНИМАНИЮ ГЕНЕЗИСА МОРФОСТРУКТУРЫ РИФТОВОЙ ЗОНЫ
СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКОГО ХРЕБТА¹**

Феномен геометрической симметрии дна океана имеет глобальное распространение и свидетельствует о наиболее общих закономерностях происхождения и развития океанической литосферы. Наглядным примером подобной симметрии может служить дно Атлантического океана, разделенное Срединно-Атлантическим хребтом (САХ) на две равновеликие части. Впервые это установил Г. Менард [1]. Он определил точки в океане, равноудаленные от изобаты 1000 м на материковых склонах Европы и Африки с одной стороны и Америки – с другой, соединил их линией, которая поразительным образом совпала с осью САХ. Было показано, что САХ не только срединный в визуальном восприятии, но и медианный по расчетным данным. Едва ли не идеальная геометрическая симметрия дна океана ставит вопрос о механизмах, способных обеспечить ее возникновение и поддержание на протяжении всей геологической истории Атлантического океана.

Сразу же отметим, что термин “геометрическая симметрия” употребляется не случайно. О какой-либо симметрии морфоструктурного или тектонического толка внутри противостоящих литосферных плит речь не идет, на что уже неоднократно обращалось внимание [2]. Но из этого лишь следует вывод, что геометрическая симметрия океанического дна и конкретные структуры в его пределах – явления разного порядка. Геометрическая симметрия – понятие более общее, изначальное, надгеологическое. Она всецело обусловлена геодинамическими причинами, которые скрыты в глубинах мантии под океаном. На материках эта особенность структуры земной коры и литосферы в таких масштабах не проявляется.

Существуют разные подходы к объяснению генезиса геометрической симметрии океанического дна. Основоположник современной концепции расширения дна океана Х. Хесс рассматривал ее как результат раздвижения литосферных плит конвекционными потоками, которые движутся от осевой линии САХ с одинаковой скоростью [3]. Он полагал, что литосфера и мантия Земли под океаном скреплены воедино и представляют жесткую конструкцию. Одним из аргументов своей гипотезы автор считал недеформированность краев континентов. Если к этому добавить, что Хесс оперировал в своих построениях конвекционными потоками мощностью около 750 км, обладающими гигантской энергией, то его подход не казался невероятным.

Другая версия высказана Г. Менардом, она основана также на конвекционной гипотезе, но отличается предположением о том, что конвекционные потоки движутся с внутренним трением [1]. При этом литосфера может подвергаться сжатию и деформациям.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 10-05-00196а).

Обе концепции оказались в противоречии с новыми данными морской геологии и геоморфологии. Позиция Х. Хесса поколеблена открытием разновидностей спрединга – асимметричного, прерывистого, косого, с перекрытием осевых зон и др. Теперь асимметричное расширение представляется скорее типичным, нежели эксклюзивным. Оно может достигать 50%. Его признаки установлены не только в современном центре спрединга, но и на любом удалении от него по латерали. Предположение Г. Менарда не согласуется с данными о направлении стрессов океанической земной коры, свидетельствующими о ее растяжении [4]. Кроме того, против предположения о конвекционных потоках, как движущей силы литосферных плит приводились возражения общего порядка. Э. Буллард, не отрицая полностью конвекционную версию, отмечал, что “конвекция, обычно, не идет вдоль линий”, изломанных многочисленными смещениями сегментов САХ [5]. Кс. Ле-Пишон полагал, что конвекция, как движущая сила плит, противоречит геометрии их перемещения вокруг собственных полюсов вращения, поскольку угловые скорости изменяются от нуля у полюсов до максимальных – на экваторе [6]. В качестве альтернативы Кс. Ле-Пишон предпочел идею раскалывания литосферы с передачей напряжений на далекие расстояния, впрочем, никак не комментируя свою позицию. Доводы гипотезы расширяющейся Земли, когда речь идет о геометрической симметрии, не отвечают условию ее равномерного расширения, необходимого для сохранения сферичности Земли. Известно, что большая часть спрединга происходит относительно меридианов и минимальная поперек широт. В приложении к Атлантике субширотное направление спрединга от меридианов сохранялось на протяжении всей истории развития дна океана. Об этом предельно ясно свидетельствуют данные, полученные с помощью геоинформационных спутников Земли, согласно которым поперечные разломы дна Атлантики прослеживаются через весь океан с сохранением субширотного простирания. Об этом же свидетельствует ориентировка магнитных аномалий, сохранившая субмеридиональное направление, включая мезозойский этап развития земной коры. В итоге необходимо признать, что рассмотренные представления о движущих силах литосферных плит не решают проблемы происхождения симметрии дна океана.

Парадокс заключается в том, что при повсеместных различиях в скоростях спрединга геометрическая симметрия дна океана сохранялась и таковой дошла до наших дней. Более того, ось геометрической симметрии САХ переходит от одного крупнейшего сегмента САХ к другому по принципу эстафеты. При этом сегменты имеют различный геологический возраст. Самый северный из них, хребет Книповича, имеет возраст около 30 млн. лет. Хребты Мона и Рейкьянес возникли 50–60 млн. л. н. Сегмент от разлома Гиббса до Азорского плато существует 80–90 млн. л. Южнее Азорских островов (15–35° с.ш.) располагается самый древний фрагмент САХ возрастом 150–180 млн. л. Приэкваториальному сегменту насчитывается 85–110 млн. л., а становление Южно-Атлантического хребта началось около 140 млн. л. н. (рис. 1). Один из подходов к пониманию феномена геометрической симметрии заключается, на наш взгляд, в сопоставлении отдельных правосторонних и левосторонних сегментов гребней САХ и их количественной оценке. С этой целью были проанализированы соотношения трансформных разломов САХ по всей протяженности Атлантического океана. Количественной оценке подлежали разломы, обозначенные на батиметрических картах и картах магнитных аномалий. Расположение правосторонних и левосторонних трансформных разломов САХ иллюстрирует рис. 1. Отметим, что в расчет принимались разломы длиной порядка десятков километров, а меньшей длины, по причине их слабой изученности, не учитывались. Результаты определений длины представлены в таблице. Кратко они сводятся к следующему.

Прежде всего, обращает на себя внимание неравномерное распределение трансформных разломов по простиранию САХ. Наибольшее сгущение этих структур отмечается в приэкваториальной зоне северного полушария и в южной приантарктической Атлантике. Протяженные сегменты САХ в северной части океана лишены заметных

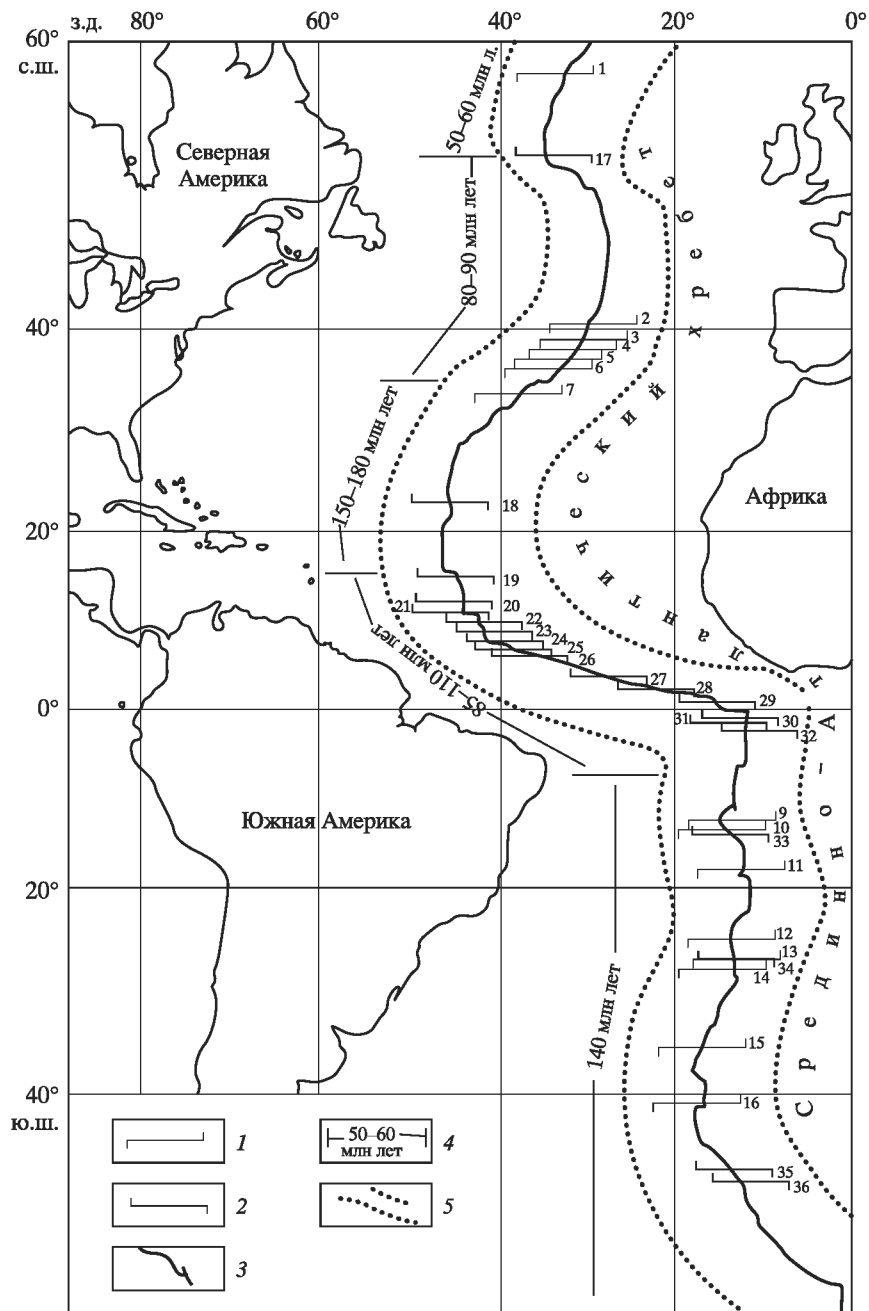


Рис. 1. Схема распространения трансформных разломов Срединно-Атлантического хребта
Трансформные разломы: 1 – правосторонние, 2 – левосторонние; 3 – осевая линия Срединно-Атлантического хребта; 4 – разграничение сегментов земной коры Атлантики по возрасту; 5 – контуры Срединно-Атлантического хребта

Трансформные разломы Срединно-Атлантического хребта

№	Правосторонние		№	Левосторонние		
	Трансформный разлом	Длина, км		Трансформный разлом	Длина, км	Широга
1	Байт	35	17	Гиббса	350	52°30' с.ш.
2	Курчатова	35	18	Кейн	160	23°50' с.ш.
3	Восточно-азорский	60	19	15°20' (Зеленый мыс)	210	15°20' с.ш.
4	Южно-азорская группа	100	20	Марафон	90	12°40' с.ш.
5	Ошенографер	110	21	Меркурий	45	12°10' с.ш.
6	Хейс	80	22	Вима	319	11° с.ш.
7	Атлантис	70	23	Архангельского	109	8°50' с.ш.
8	Три трансформы без названия	70	24	Долдрамс	173	8°10' с.ш.
9	Бод-Верде I	173	25	Вернадского	150	7°50' с.ш.
10	Бод-Верде II	53	26	Сьерра-Леоне	225	7°30' с.ш.
11	Св. Елены	120	27	Страхова	120	4° с.ш.
12	Рио-де-Жанейро	200	28	Св. Петра	68	2°40' с.ш.
13	Рио-Гранде	100	29	Груша Сан-Паулу	611	0°52' с.ш.– 0°30' с.ш.
14	Китовый	120	30	Романш	900	1°10' ю.ш.
15	Груша Метеор	380	31	Чейн	315	1°30' ю.ш.
16	Група южнее Метеора	100	32	Шарко	25	2°40' ю.ш.
			33	Кардио	100	14°20' ю.ш.
			34	Мартин-Вас	90	27° ю.ш.
			35	Фолкленд-Агульяс	130	49°10' ю.ш.
			36	Група от Фолкленд-Агульяс до о-ва Буве	200	49–54° ю.ш.

Примечание. Номера трансформных разломов соответствуют обозначениям на рис. 1.

трансформных разломов. Вместе с тем общая длина трансформных разломов САХ в южном и северном полушарии распределяется едва ли не поровну. В северном она составляет 2980 км, в южном – 3006 км (цифры не округляются и приводятся по таблице). При этом на правосторонние разломы приходится 1806 км, на левосторонние – 4390 км. Следовательно, левосторонние превышают правосторонние более чем в 2 раза. В Северной Атлантике на правосторонние трансформные разломы приходится около 560 км, левосторонние – 2630 км. Т.е. соотношение достигает четырехкратного размера. В Южной Атлантике длина правосторонних трансформных разломов составляет 1240 км, левосторонних – 1760 км.

Приведенная информация имеет прямое отношение к интерпретации геометрической симметрии. Куда бы и с какой скоростью не двигались плиты, центры спрединга неизменно занимают в океане медианную позицию. Даже в случае максимальных длин трансформных разломов Романш (900 км), Гиббса (350 км), Вознесения (270 км), являющихся скорее исключением из правила, центры спрединга в смежных сегментах выстраиваются вдоль срединной линии или узкой полосы по отношению к противоположащим окраинам континентов. С позиций канонической концепции тектоники плит это в высшей степени странно, поскольку континенты в этой концепции не более чем пассивные геологические структуры, “впаянные” в более масштабные плиты. Поэтому важнейшее наблюдение о непосредственной взаимосвязи симметрии дна океана с очертанием континентов оставалось в тени. В противном случае пришлось бы признать, что континенты являются границей литосферных плит и определяют течение геодинамических процессов в мантии под океаном. Но ни один континент, сам по себе не является литосферной плитой. Подчеркнем еще раз, симметрия существует не по отношению к каким либо границам литосферных плит, но именно к окраинам континентов. Возможно, разгадку феномена симметрии и следует искать в особой роли континентов, оказывающих влияние на движение плит.

В связи с этим представляют интерес попытки модернизировать гипотезу плавающих континентов А. Вегенера. Такой подход освещается детально в [7]. Фундаментальные исследования, выполненные путем численного моделирования, показали, что континенты играют роль подвижных клапанов для теплового потока Земли и регулируют глобальные тектонические процессы, в том числе самостоятельные перемещения континентов. Т.е. движутся уже не литосферные плиты с “впаянными” в них континентами, а сами континенты с постоянно “примерзающей” к ним океанической литосферой. Можно предположить, что в случае взаимного перемещения двух континентов, существовавших ранее в единой структуре типа Пангеи, линия раскола между ними всегда будет оставаться посередине, как линия наименьшего сопротивления для проникновения на поверхность глубинного вещества. Это естественно, поскольку с боков требуются более мощные усилия, чтобы “продавить” уже затвердевшую литосферу. Другими словами, разделительная полоса двух континентов и жестко примыкающих к ним океанических плит, как бы далеко они не удалялись друг от друга, всегда будет унаследованной тектонической структурой между ними. Как показывают приведенные выше количественные данные о трансформных разломах, дрейф западных континентов (американской плиты) превышает восточный. Для некоторых фрагментов САХ в 2–4 раза. При этом вслед за удаляющимися континентами американской плиты перемещается и центр спрединга, поскольку линия наименьшего сопротивления для проникновения глубинного вещества всегда находится близ границы удаляющейся плиты. Тем самым обеспечивается сохранение геометрической симметрии между плитами. В нашем случае эта разделительная полоса (все-таки не линия) есть не что иное, как центр спрединга. Дистальную зону прирастания новых фрагментов океанической плиты можно назвать ситуативной, поскольку для нее характерны неоднозначные процессы возникновения и трансформации новообразованной земной коры и литосферы [4]. Здесь происходит восстановление изостатического равновесия земной

коры. Оно сопровождается воздыманием периферических частей центра спрединга с образованием рифтовой долины. На сбросовых склонах долины обнажаются выведенные на поверхность породы – иногда с глубин 1.5–2.0 км под дном рифтовой долины. Рельеф вдоль периферии рифтовой долины формируется как совокупность гряд и долин. Все эти события протекают на фоне постоянного проявления тектономагматической цикличности в центре спрединга [4].

Активные процессы трансформации новой земной коры совершаются в ситуативной зоне шириной немногим более 100 км. Этого пространства хватает для того, чтобы образовались основные структуры и рельеф новообразованной земной коры, которые затем, без существенных изменений переходят на периферию и становятся достоянием океанического фундамента на всем пространстве дна океана. Отметим, что осевая зона САХ, в которой происходит возникновение и трансформация новой литосферы, совпадает по ширине с зоной высоких значений теплового потока, которые здесь в 2–3 раза превышают его интенсивность непосредственно за пределами гребня хребта [8].

В ходе трансформации новой земной коры ось спрединга в ситуативной зоне может неоднократно менять свою позицию и азимутальную ориентировку пока не приобретет устойчивое направление. При этом не исключен обмен фрагментами новой коры между противостоящими плитами.

Как следствие упомянутого ситуативного поведения центра спрединга, по простиранию САХ образуется осевая сегментация. Не случайно средняя длина трансформных разломов, в общих чертах, совпадает с границами ситуативной зоны. Но поскольку ситуации складываются весьма многообразные, то современная картина сегментации, расположения трансформных разломов и их размеры не обязательно должны быть унаследованными от прошлых этапов спрединга как это предполагалось ранее. Каждый такой этап измеряется 1.5–2 млн. л., что соответствует полному циклу формирования рифтовой долины медленно-спрединговых² хребтов при условии раздвижения плит в режиме non-stop. При этом, в качестве центра спрединга остается структура, занявшая наиболее устойчивое положение.

На протяжении нескольких миллионов лет, например, морфология и структура земной коры по простиранию осевой зоны может существенно меняться (рис. 2). Схема, показанная на рисунке, свидетельствует о том, что современный центр спрединга всегда лишь “сиюминутное” структурное образование, которое на следующем этапе приобретет новый облик, как это случалось в прошлом. В ретроспективе мы видим, как непрерывная, без смещений, осевая линия современного центра спрединга, 6 млн. л. н. представляла ступенчатый каркас, прерываясь трансформными разломами длиной до 30–40 км, с образованием обособленных сегментов САХ. По-видимому, при сохранении устойчивых направлений центра спрединга в течение длительного времени обособляются и долгоживущие сегменты САХ со смещениями большей длины. Не меняются лишь направление движения плит и общие закономерности тектонических процессов в центре спрединга [9]. Хотя различия азимутальных направлений центров спрединга, как показано на рис. 2, достигающие 30–40° могут быть значительными. Резкая смена морфоструктуры на коротких расстояниях не позволяет связывать эти события с генеральным движением литосферных плит, обладающих большой инерционностью. Следовательно, вполне допустимо самостоятельное развитие близко расположенных сегментов САХ и существование некоего механизма, регулирующего подобные метаморфозы.

Представляется вероятным, что центр спрединга выстраивается от места к месту по направлениям, “предписанным” ему необходимостью соблюдать симметрию по отношению к окраинам материков, середина между которыми, как уже упомина-

² Медленно-спрединговый хребет – срединно-океанический хребет, формирующийся при невысоких скоростях спрединга.

лось, фиксирует положение оптимального канала для проникновения магматического расплава из глубины. Таким образом, на каждом этапе преобразования новоявленной литосферы центр спрединга любого сегмента – большого или малого – едва ли не по предписанию занимает срединное положение по отношению к краям континентов. Симметрия представляется динамической константой, отвечающей равному расстоянию от краев континентов до центра спрединга любого сегмента САХ. Возникающее несоответствие этому закону корректируется в ситуативной зоне, а в качестве механизма коррекции выступает миграция центра спрединга или его джампинг. Другими словами, джампинг постоянно восстанавливает симметрию и при этом меняются

параметры морфоструктуры рифтовой зоны, появляются новые и исчезают старые сегменты, как это показано на рис. 2. Проявление симметрии действует здесь как фактор преобразования морфоструктуры осевой зоны САХ. Эта роль симметрии в формировании морфоструктуры в ретроспективе прослеживается до окраин современных континентов. Стилистика морфоструктурных преобразований на всем латеральном пространстве от центра спрединга – одна и та же. Везде мы будем наблюдать сегментацию осевой зоны САХ, хотя ее разнообразие может быть выявлено лишь при детальных геолого-геофизических исследованиях. Прекращение активных структурных преобразований новой литосферы в ситуативной зоне маркируется внешними окончаниями трансформных разломов, где они переходят в пассивную фазу, резким изменением теплового потока, специфической морфоструктурой рифтовой зоны [4].

В приложении к Атлантическому океану все структуры, сформированные в центре спрединга и его ближайшей периферии, имеют субмеридиональную ориентировку, характерную и для периферийного пространства акустического фундамента. Структурный каркас новообразованной литосферы свидетельствует о длительной унаследованности и безусловной стабильности глубинных геодинамических процессов на протяжении всего этапа эволюции дна океана. Феномен симметрии играет при этом важную роль, поскольку, скажем еще раз, постоянно восстанавливает центр спрединга в срединном положении по отношению к окраинам континентов.

В этом смысле симметрия дна океана может использоваться как критерий при уточнении границ материковых и океанических блоков земной коры. Характерный пример – заложение рифтового хребта Гаккеля между материковым склоном Северной

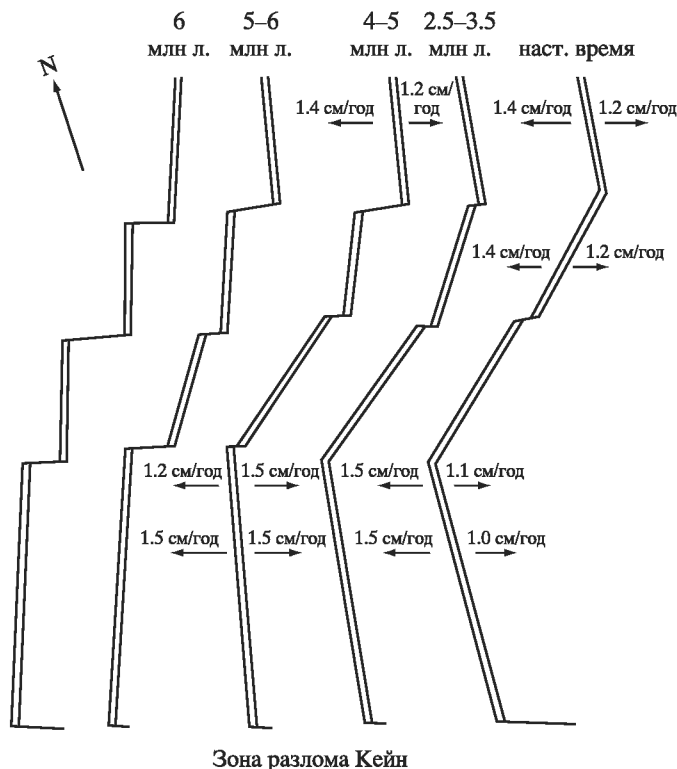


Рис. 2. Эволюция оси спрединга в районе разлома Кейн по магнитным аномалиям [9]. Район исследований простирается по широте от 23° с.ш. до 27° с.ш.

Европы и хребтом Ломоносова, который является, по-видимому, континентальным реликтом материковой земной коры, существовавшей ранее в Северном Ледовитом океане. Расстояния от оси хребта Гаккеля до подножия хребта Ломоносова и материкового склона Европы практически одинаковы.

В заключение отметим, что из всех современных геотектонических концепций геометрическая симметрия дна океана лучше всего согласуется с модернизированной гипотезой плавающих континентов, которые могут рассматриваться ситуационным фактором организации мантийной конвекции, ответственной, в свою очередь, за формирование океанических литосферных плит [10]. Симметрия океанической земной коры свидетельствует о преобладании в ней стрессов растяжения. Она лучше всего коррелируется с “растаскиванием” литосферы, которое обеспечивается плавающими континентами [7]. Однако вопросы остаются. Они касаются, прежде всего, проблемы формирования непрерывной медианной полосы САХ, пересекающей его по всей длине, при этом различия в возрасте отдельных сегментов САХ, как уже упоминалось, достигают 150 млн. л., а в смежных возрастных сегментах – нескольких десятков миллионов лет (рис. 1). Сформулируем поэтому осторожное предположение, что медиана САХ *унаследована от первичной линии “слабости”, вдоль которой произошел субмеридиональный раскол Пангеи, развивавшийся затем крайне неравномерно.*

Второй вывод, на основании изложенного, формулируется следующим образом. Геометрическая симметрия дна океана представляет собой динамическую константу, отвечающую равному расстоянию от краев континента до центра спрединга. В условиях неравномерного расхождения литосферных плит возникает отклонение от симметрии, которое корректируется миграцией центра спрединга в сторону плиты, удаляющейся с большей скоростью. В ходе миграции центра спрединга возникает сегментация рифтовой зоны с разнообразным сочетанием главных элементов морфоструктуры – рифтовых долин и трансформных разломов. Постоянное восстановление геометрической симметрии происходило в течение всей истории формирования дна Атлантического океана и дошло до наших дней. Мы наблюдаем сейчас ее современный вариант. Этот вариант эфемерный, как и все предыдущие. В ретроспективе морфоструктура акустического фундамента дна Атлантики представляется в высшей степени многообразной, хотя стилистика рельефообразующих процессов не меняется.

Геометрическая симметрия дна океана – один из узловых аспектов геоморфологических исследований дна океана, поскольку рельеф наглядно воплощает результаты геодинамических процессов и поддается непосредственному анализу. Конечно, геометрическая симметрия нуждается в дальнейшем изучении. Она представляется пока неким кодом, расшифровка которого равносильна решению многих основополагающих вопросов геодинамики земной коры и океанической мантии. Многое зависит от детализации морских геоморфологических исследований, как весьма эффективного направления в изучении дна океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Menard H.W. Development of the median elevations in ocean basins // Bul. Geol. Soc. Am. 1958. V. 69. P. 1179–1186.
2. Пуцаровский Ю.М. Тектоника Атлантики с элементами нелинейной геодинамики // Избр. тр. Тектоника океанов. М.: Наука, 2005. Т. 2. С. 113–193.
3. Хесс Х. Срединно-океанические хребты и тектоника дна океана // Геология и геофизика морского дна. М.: Мир, 1969. С. 246–261.
4. Ильин А.В. Происхождение и развитие морфоструктуры рифтовых зон медленно-спрединговых срединно-океанических хребтов // Океанология. 2010. Т. 50. № 2. С. 262–276.
5. Буллард Э. Происхождение океанов. М.: Мир, 1971. С. 29–43.
6. Ле-Пишон Кс. Спрединг океанического дна и дрейф континентов // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 93–133.

7. Трубицын В.П. Основы тектоники плавающих континентов // Физика Земли. 2000. № 9. С. 4–40.
8. Международный геолого-геофизический атлас Атлантического океана / Г.Б. Удинцев. М.: МОК (ЮНЕСКО), МИНГЕО СССР, ГУГК СССР, 1989–1990. 100 с.
9. Rona P.A., Gray D.F. Structural behavior of the fracture zones symmetric and asymmetric about a spreading axis: Mid-Atlantic Ridge // Bul. Geol. Soc. Am. 1980. V. 91. P. 485–494.
10. Ильин А.В. Симметрия дна океана в свете современных геотектонических концепций // Тез. докл. VI межд. шк. наук о Земле. Одесса: 2010. С. 50–52.

АКИН им. акад. Н.Н. Андреева

Поступила в редакцию
28.09.2010

SYMMETRY OF THE SEA FLOOR AS THE KEY TO THE MID-ATLANTIC RIDGE RIFT ZONE MORPHOSTRUCTURE GENESIS

A.V. ILYIN

Summary

Quantitative analysis of the transform displacements in Mid-Atlantic rift zone has been carried out. In general, sinistral displacements predominate. Consequently the west drift of American lithospheric plate predominates too, but nevertheless the seafloor symmetry is well preserved. It means that centre of spreading migrates to the side of removing plate.

Migration takes place by the spreading centre jumping. That is how segmentation of the rift zone occurs. In other words constant reproduction of the symmetry exerts primary control over the formation of the sea floor morphostructure. The line of spreading centre migrates along the ridge from a segment of one age to a segment of different age on the model of relay race. This suggests a conclusion that submeridional breakup in the place of modern Atlantic has been existent since the Pangea breakup and has been evenly developing through time.

УДК 551.435.1

© 2011 г. В.М. МИХАЙЛОВ

МОРФОДИНАМИКА РУСЕЛ РЕК ГОРНЫХ СТРАН И ЛИТОЛОГИЯ КОРЕННЫХ ПОРОД

Ведущие факторы русловых процессов

Известно, что единая теория русловых процессов в настоящее время отсутствует – например, [1]. Одна из основных причин заключается в их многофакторности. К тому же факторы эти весьма разнородны и разномасштабны (как в пространственном, так и во временном аспектах) и зачастую взаимосвязаны, вплоть до причинно-следственных отношений [2]. Поэтому одной из главных задач является выделение ведущих факторов, не зависящих от всех остальных и друг от друга и мало изменяющихся в течение длительных промежутков времени. Представляется также необходимым применение историко-генетического подхода, в частности, по той причине, что характер русловых деформаций зависит от направления геологической деятельности водотока, т.е. его взаимодействия с рыхлым материалом и коренными породами. С особой силой теснота этой связи проявляется в горных сооружениях.

В монографии [2] число ведущих факторов ограничено тремя – это сток воды, геологическое строение местности и сток наносов. Для рек горных стран не меньшее значение имеет тектонический режим территории (роль которого, так или иначе, отмечается практически всеми исследователями). Его влияние достаточно очевидно и в сильно упрощенном виде сводится к следующей схеме: интенсивные восходящие дви-