

ГЛАВНАЯ СТРУКТУРНАЯ АСИММЕТРИЯ ЗЕМЛИ

Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Геологический институт Российской академии наук, Москва

MAIN STRUCTURAL ASYMMETRY OF THE EARTH

Yu. M. PUSHCHAROVSKY

The structural asymmetry of the Earth accompanied by the formation of Pacific and Indo-Atlantic segments is considered as the planetary fundamental property. Both segments are characterized by the specific structure, deep interior geodynamics and geological history. The modern global tectonic-geodynamic models should consider this extremely important empirical observation.

Тектоническая асимметрия Земли, деление ее на два сегмента – Тихоокеанский и Индо-Атлантический – представляет собой фундаментальное свойство планеты. Сегменты отличаются по структуре, глубинному строению, геодинамике и геологической истории. Глобальные тектоно-геодинамические построения должны учитывать этот важнейший эмпирический факт.

www.issep.rssi.ru

ВВЕДЕНИЕ

Сложилось так, что ученые, строящие глобальные геодинамические теории и модели, не придают значения крупнейшему эмпирическому геологическому обобщению, а именно асимметричной структуре планеты, делению ее на Тихоокеанский и Индо-Атлантический сегменты. Эта асимметрия ярчайшим образом видна на любых физико-географических картах мира и особенно на глобусе. С одной стороны, Тихий океан и обрамляющий его кольцевой структурный комплекс, включающий вулканические дуги, горные и островные сооружения, глубочайшие моря и желоба с максимальными на Земле глубинами, а с другой – разбросанные континентальные массивы, разделенные тремя океанами, общая площадь которых лишь совсем незначительно больше площади Тихого океана.

Первым, кто придал серьезное значение этому явлению, был В.И. Вернадский, который, подчеркнув, что Тихий океан занимает пространство больше всей суши и почти треть всей поверхности планеты (32,4%), отметил: “Хотя Тихий океан не является однородным по своему геологическому строению и геологическая история его далеко еще не выявлена в частностях, но его своеобразие, установленное Зюссом в 1888 году, остается неизблемым” [1, с. 101]. Геологическую специфику Тихого океана В.И. Вернадский видел в том, что в нем на огромной площади развиты базальтовые породы, а гранитные, столь характерные для континентов, отсутствуют. К данному явлению он применил термин “диссимметрия”, полагая, что оно есть результат воздействия на геологические оболочки “какого-то геологического фактора, вызвавшего нарушение их сплошности”. Отсюда и термин “диссимметрия” – расстроенная симметрия. Много лет спустя автор этих строк ввел термин “асимметрия” как более общий.

Следующий важный шаг в исследовании рассматриваемой глобальной неоднородности был сделан крупнейшим российским геологом академиком Н.С. Шатским. Если Вернадский усматривал в Тихоокеанской области прежде всего вещественную неоднородность, то Шатский выдвинул идею тектонической неоднородности, включив в эту область не только собственно

океан, но и кольцо окружающих его тектонических сооружений [2]. Вся эта область, занимающая очень большую часть земного шара, была названа Тихоокеанским сегментом, а остальная — Атлантическим. Это, следовательно, более широкое эмпирическое обобщение. Различие между сегментами Шатский видел в их разной тектонической истории. В Тихоокеанском сегменте главными эпохами тектогенеза являются молодые эпохи — позднеюрская-меловая и неоген-четвертичная, причем последняя еще не завершилась. В противоположном сегменте по Шатскому прослеживается эволюционный ряд главных тектонических эпох: каледонская (силур—девон), герцинская (поздний карбон—пермь), альпийская (палеоген—неоген). Присутствует также выделенная им в свое время более ранняя байкальская эпоха (кембрий). Н.С. Шатский считал, что указанная последовательность, свойственная Атлантическому сегменту, в Тихоокеанском в конце палеозоя (пермь) была нарушена.

В дальнейшем развитие этого учения происходило главным образом в стенах Геологического института Российской академии наук. Первое, что было сдела-

но, — это определены структурные границы Тихоокеанского сегмента, отделяющие его от Атлантического. Такими служат краевые зоны древних платформ: Сибирской, Китайско-Корейской, Южно-Китайской, Австралийской, Южно-Американской и Северо-Американской. Затем были обстоятельно рассмотрены тектоническое строение и история развития сегментов [3]. Нужно отметить, что в последний период появились большие новшества в науках о Земле — карты, отражающие сейсмические неоднородности на разных глубинных уровнях Земли (чередование высоко- и низкоскоростных ареалов сейсмических волн) вплоть до ее ядра, а также карта гравиметрических аномалий в Мировом океане. Все эти новые и чрезвычайно важные материалы углубляют учение об асимметрии Земли. Освещение его современного состояния и составляет предмет данной статьи.

ТИХООКЕАНСКИЙ СЕГМЕНТ

Если говорить более точно, то правильнее использовать понятие “Тихоокеанский тектонический сегмент”, поскольку он обособлен по структурному принципу. Как

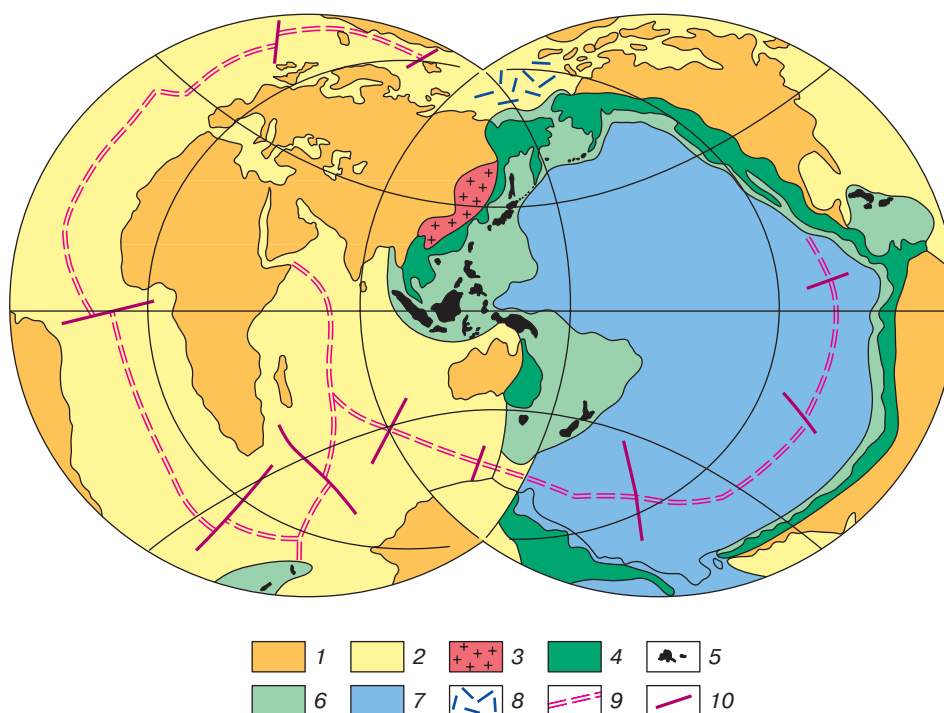


Рис. 1. Тихоокеанский и Индо-Атлантический сегменты Земли: 1–3 – Индо-Атлантический сегмент: 1 – континентальные области и острова, 2 – океаны и моря, 3 – Восточно-Азиатская область распространения Тихоокеанских гранитоидов; 4–7 – Тихоокеанский сегмент, Тихоокеанский тектонический пояс: 4 – континентальные области, 5 – острова, 6 – области островных дуг, краевых морей и глубоководных желобов, 7 – ложе Тихого океана; 8 – Арктическая область сочленения Тихоокеанского и Индо-Атлантического сегментов; 9 – Мировая рифтовая система; 10 – некоторые разломные зоны

уже говорилось, сегмент включает две планетарные структурные единицы: Тихий океан и Тихоокеанский тектонический пояс (рис. 1) [4].

Дно Тихого океана благодаря многочисленным морским экспедициям тектонически может быть охарактеризовано достаточно полно. Здесь есть большой набор структурных форм разного типа, масштаба и происхождения. В восточной области простирается Восточно-Тихоокеанское поднятие — тихоокеанский отрезок Мировой рифтовой системы. Оно расположено резко асимметрично по отношению к контуру океана. В целом тектоника Пацифики не имеет аналогов в других океанах. Лишь на юге, между Антарктикой и Меланезией, она напоминает структурный план Атлантики.

Самые древние отложения дна, вскрытые глубоководным бурением, находятся в Марианской котловине. Их возраст 170 млн лет. Исключительно важная проблема: имеются ли в океанской литосфере признаки существования более древнего океанского бассейна? Это настолько большой вопрос, что от его решения зависит представление о времени образования Тихого океана, а следовательно, и Тихоокеанского тектонического сегмента в целом. На этот счет имеются две концепции, одна из которых утверждает, что океану не более 170 млн лет, другая — что возраст его минимум 1 млрд лет или даже больше. В самые ближайшие годы начнет проводить бурение в океане японское буровое судно, которое войдет в более глубокие породы, чем это было возможно до сих пор. Результаты бурения, несомненно, помогут прояснить этот сложный вопрос. Имеющиеся косвенные аргументы указывают на то, что Тихий океан — очень древнее структурное образование. Один из них состоит в том, что в обрамлении океана, в пределах горных сооружений Тихоокеанского тектонического пояса, по всему кольцу распространены ассоциации пород океанского типа (офиолиты), в некоторых местах имеющие возраст свыше 1 млрд лет. Другой аргумент представляет сравнительная планетология. Планеты земной группы — Марс, Венера и Меркурий, а также Луна обладают, как и Земля, глобальной структурной асимметрией. В то же время они находятся на значительно более ранних стадиях развития. Состояние Луны, например, соответствует земной стадии около 4 млрд лет назад. Марс и особенно Венера продвинулись в развитии несколько дальше. Но отсюда можно заключить, что глобальная асимметрия планет может иметь очень древний возраст. Земля в этом смысле вряд ли является исключением.

В последнее время благодаря совершенству сейсмических методов и сейсмоаппаратуры обнаружен интересный факт, а именно в южной половине Тихого океана существует огромный по размерам, идущий от поверхности земного ядра (глубина 2900 км) к поверх-

ности океанского дна разогретый материально-энергетический поток (так называемый плюм), который, вероятно, тоже имеет длительное развитие (рис. 2).

За долгую историю существования Тихого океана в его пределах должны были происходить многократные перестройки тектонической структуры. Палеореконструкции указывают на это с большой определенностью. Приведем два примера такого рода перестроек.

Один из них — образование уже упоминавшегося выше Восточно-Тихоокеанского спредингового поднятия. Оно возникло на последнем, кайнозойском этапе геологической истории, разрушив более ранние океанские структуры и создав 20 млн лет назад совершенно новый тектонический план океанского дна (рис. 3). Подчеркнем, что столь крупная “реорганизация” происходила именно в океанических условиях.

Другой не менее яркий пример — система разломов-гигантов, расположенная в северо-восточном секторе Тихого океана (см. рис. 3). В нее входят разломы Мендосино, Меррей, Клариион, Клиппертон и несколько

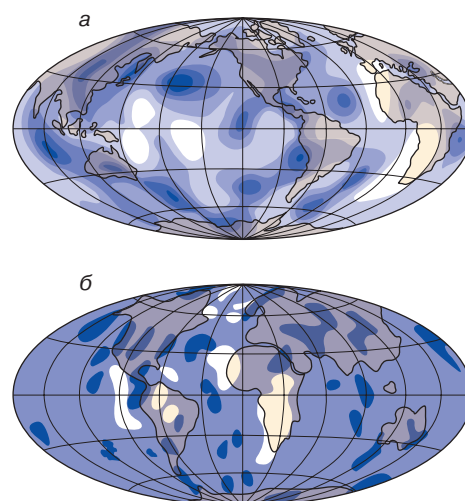


Рис. 2. Глубинные неоднородности в Тихоокеанском и Индо-Атлантическом сегментах Земли, выявленные новейшими сейсмическими методами. Белый цвет и светлые штриховки — ареалы пониженных значений прохождения поперечных сейсмических волн, черный цвет и темные штриховки — ареалы повышенных значений.

a — Тихоокеанский сегмент (по: Su W. et al., 1994). Глубина 2350 км. Отчетливо видна низкоскоростная сейсмическая неоднородность, отвечающая Тихому океану;

б — Индо-Атлантический сегмент (по: Grand S. et al., 1997). Глубина 2300 км. Видна большая пестрота в распределении сейсмоаномалий. Океаны в пределах сегмента не выражены. Обширная низкоскоростная сейсмическая неоднородность фиксируется под Африкой и сопредельными районами

других. Соответствующий район прослеживается с севера на юг на 10 000 км и с востока на запад на 4–6 тыс. км. Это структурные новообразования, зародившиеся в раннем кайнозое. В других океанах образование подобных разломных зон связывается с Мировой рифтовой системой. Но в Тихом океане они расположены обособленно от нее. Некоторые авторы предполагают, что рифтовая система, с которой эти разломы связаны, находится где-то под континентом Северной Америки. Но такой взгляд некорректен, так как встречает непреодолимую трудность с точки зрения геодинамики. Действительно, в этом случае получается ситуация, при которой под континентом стыкуются две действующие, встречно направленные, геодинамические системы – тихоокеанская и атлантическая, чему нет никаких доказательств. Наиболее простое решение – считать, что тихоокеанская система разломов автономна, то есть не связана со спредингом дна, и образовалась в ходе тектонического саморазвития океанской литосферы. Подобного рода структурные пертурбации в пределах тихоокеанской акватории могли происходить и в древности.

Характернейшей чертой геологии Тихого океана является отсутствие в его пределах континентальных блоков. Лишь на крайнем юге, восточнее Новой Зеландии, имеется блок Кемпбелл, имеющий континентальную природу. Не существует никаких признаков того, что материковые массы вообще когда-либо существовали на основной площади Пасифики. Как отмечалось, разрез земной коры лишен здесь гранитно-метаморфического слоя, являющегося важнейшей составной частью коры континентов и достигающего там толщины 15–20 км из общей мощности 35–40 км (рис. 4). Слои коры под Тихим океаном (под осадками) представлены породами основного состава: базальтами, габбро и отчасти ультрабазитами (см. рис. 4).

Особенностью тихоокеанской геодинамики является большая скорость спрединга, центр которого находится в осевой зоне Восточно-Тихоокеанского поднятия. Местами она достигает 16 см/год.

Тихоокеанский тектонический пояс – весьма сложное структурное образование, однако в его строении существуют две общие закономерности. Одна из них – кольцевое расположение составляющих пояс главных тектонических сооружений. Другая – по всему кольцу, от периферии к океану, происходит смена относительно древних структурных зон все более молодыми. Границей Тихоокеанского пояса с океаном служат глубоководные желоба: Алеутский, Курильский, Марианский, Тонга, Кермадек, Перу-Чилийский и др. Западная и восточная части пояса разнятся по строению. На западе с севера на юг, от Берингова моря до Меланезии, простирается обширная полоса островных дуг и краевых морей, достигающая местами ширины 4000 км. На востоке подобный структурный комплекс прослеживается только в двух местах, в Карибском и Малоангельском регионах. Здесь доминируют мощнейшие горные сооружения – Северо-Американские Кордильеры и Южно-Американские Анды. Первые надвинуты на океанские структуры, вторые также имеют краевой надвиг, но еще и сопровождаются глубоководным желобом. Горные сооружения на западе пояса (северо-восток России, Сихотэ-Алинь, Катазиатские сооружения в Китае, хребты на востоке Австралии), то есть тыловые его части, значительно удалены от океана. Такую асимметрию чаще всего связывают с влиянием на структурное образование вращения Земли. Кстати, тем же объясняют и изгиб на восток Восточно-Тихоокеанского поднятия.

Связку западного полукольца с восточным на севере представляют Чукотско-Аляскинские структуры и Алеутская дуга. На юге смыкание происходит в Западной

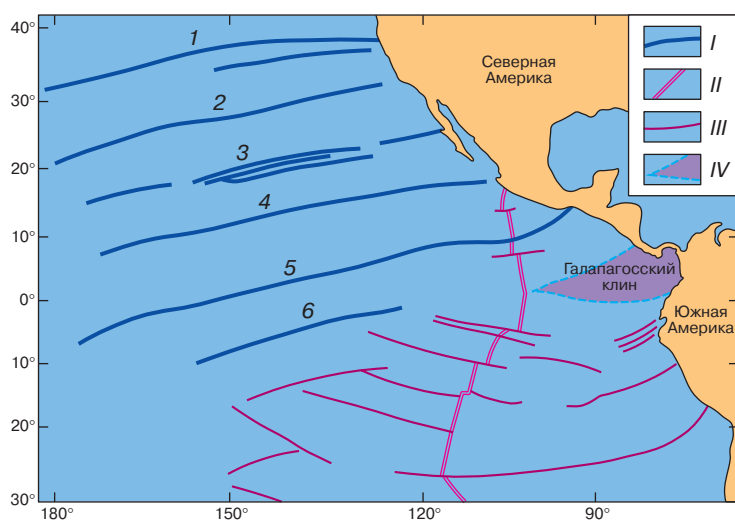


Рис. 3. Два структурных плана на востоке Тихого океана (по Гравиметрической карте мира; Sandwell T., Smith W., 1997): I – разломы-гиганты, II – осевая зона Восточно-Тихоокеанского спредингового хребта, III – разломные структуры, IV – контур развития Галапагосской малой спрединговой системы.

Более ранний структурный план представляет система разломов-гигантов: 1 – Мендосино, 2 – Меррей, 3 – Молокаи, 4 – Кларин, 5 – Клиппертон, 6 – Галапагосский. Новообразованный структурный план соответствует современной Восточно-Тихоокеанской рифтовой системе. Она косо срезает более ранний структурный план

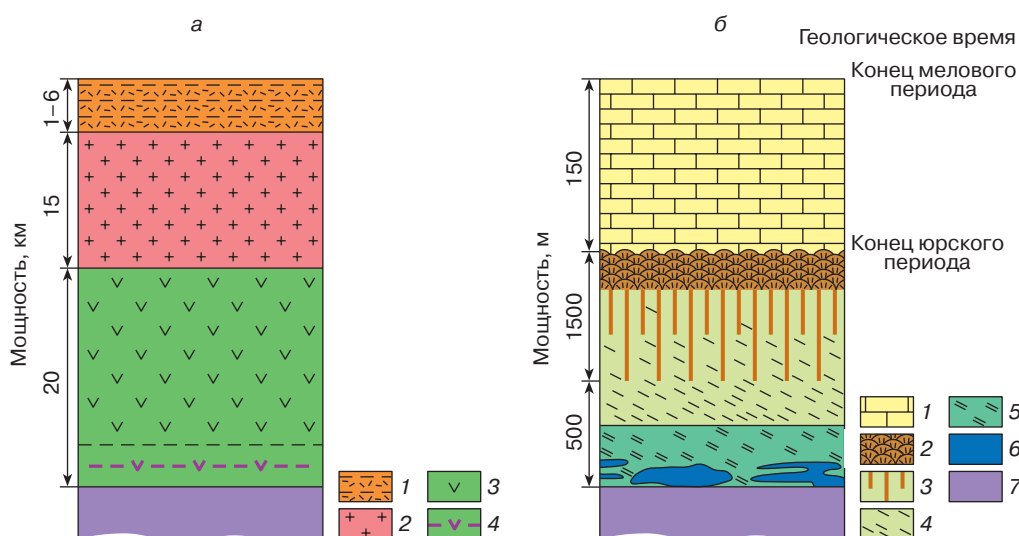


Рис. 4. Строение континентальной и океанской земной коры: а – древние платформы континентов (модельное построение): 1 – осадочные и вулканогенные комплексы, 2 – гранитно-метаморфический слой, 3 – габбро-амфиболитовый слой, 4 – коро-мантийная смесь; б – Индийский океан. Остров Масира. Тектонический покров Масира, выдвинутый с глубин (по: Peters T., Mergolli I., 1998. Схематизировано): 1 – преимущественно глубоководные отложения, 2 – океанические базальты, 3 – дайки долеритов, 4 – полосчатое габбро, 5 – расслоенное габбро, 6, 7 – ультраосновные породы: 6 – верлиты, дуниты, 7 – гарцбургиты

Антарктиде. Притихоокеанской зоне кольца присуща исключительно высокая вулканическая и сейсмическая активность. В пределах кольца происходят мощные деструктивные и созидательные тектонические процессы. Все краевые моря и островные дуги образовались в кайнозое, то есть в последние десятки миллионов лет. Японское море, например, начало образовываться лишь 20 млн лет назад, а возраст самого древнего, Берингова моря не более 60 млн лет. Новообразования разрушают предшествующие структуры, но в целом видно, что во времени структурообразующие процессы в поясе продвигаются в океан, захватывая его краевые части.

Все эти данные, как и данные по Тихому океану, указывают на высокую энергетику глубинных геосфер в пределах Тихоокеанского тектонического сегмента Земли. Это его главная геодинамическая особенность.

ИНДО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ СЕГМЕНТ

В отличие от Тихоокеанского сегмента в Индо-Атлантическом расположены главные части всех материков и все молодые океаны: Атлантический, Индийский, Северный Ледовитый. Все материки имеют длительную и сложную историю развития. Их основу составляют кристаллические архейские и протерозойские ядра (кратоны), породы которых претерпели сильнейшие деформации и метаморфизм. Наиболее древние образования на Земле обнаружены в Гренландии (3,8 млрд

лет) и Австралии (4 млрд лет). Кристаллические комплексы лежат в основании каждой древней платформы, где они перекрыты структурами, выполненными осадочными отложениями, возраст которых может достигать до 1,5 млрд лет.

Сейсмотомографические карты и другие геофизические данные показывают, что в глубинном строении сегмента на всех уровнях коры и мантии картина неоднородностей по сравнению с Тихим океаном иная. Она здесь значительно более пестрая и незакономерная.

Мобилистские модели предполагают, что в тектонической истории сегмента материковые массы неоднократно сходились, образуя суперконтиненты, но затем раскалывались. Основываясь на истории континентов, можно судить, сколь долго существует Индо-Атлантический сегмент как таковой. Получается, что, как и в случае Тихоокеанского сегмента, эта история насчитывает первые миллиарды лет. В течение последнего миллиарда лет на Земле существовали два суперконтинента (две Пангеи), когда все материковые структуры были объединены. Древнейший из них, Родиния, образовался 1 млрд лет назад и существовал 250 млн лет, после чего начал распадаться. Вновь объединение материков произошло в период 400–200 млн лет назад. Распад этой последней Пангеи, начавшийся около 200 млн лет назад, послужил началом образования того структурного плана сегмента, который наблюдается в настоящее время.

Главная историко-геологическая особенность океанов Индо-Атлантического сегмента — их молодой возраст. Атлантический океан начал раскрываться 170 млн лет назад. К тому же времени относится и начало образования Индийского океана. Современная структура Северного Ледовитого океана заложилась позже, 65 млн лет назад. Образование этих молодых океанов началось с раскола континентов и возникновения рифтовых структур. Далее последовало раздвижение материковых масс, связанное с развитием спрединговых центров.

Процесс становления молодых океанов был нелинейным [5]. На рис. 5 показано время образования разных частей Атлантического океана. Процесс начался в Центральной Атлантике, продолжился в Южной и затем перекинулся на север. В каждом случае развитие бассейнов происходило в направлении с юга на север, так что соединение центральной и южной частей Атлантики произошло только 100 млн лет назад. Структурное разграничение между ними отражается мощной системой разломных зон в экваториальной области. Северную часть от центральной тоже отделяет крупная разломная зона, называемая Чарли Гиббс.

Начальные этапы развития Индийского океана также характеризуются неравномерностью структуро-

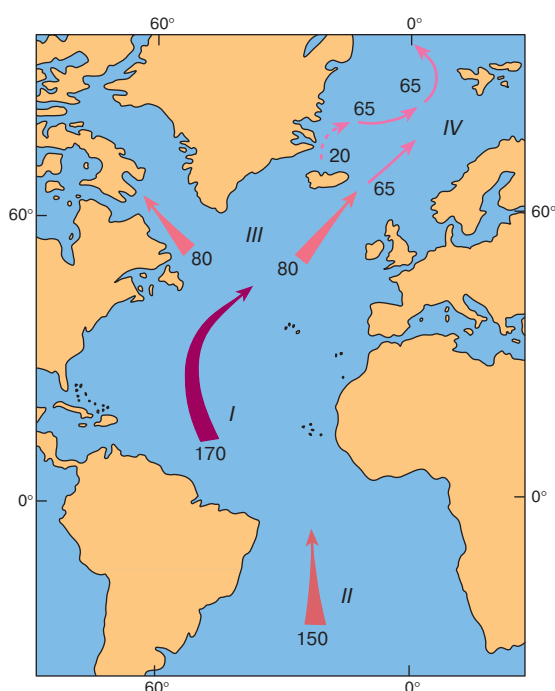


Рис. 5. Основные фазы раскрытия Атлантического океана. Цифрами в основании стрелок показано время раскрытия сегментов океана (в млн лет). Римские цифры отражают порядок раскрытия

образования, отражающей глубинную нелинейную геодинамику. Это следует не только из анализа систем разновозрастных полосовых магнитных аномалий, но, что существенно, и из данных по времени проявления и составу ранних магматических образований. Определяющую роль в образовании Индийского океана играло движение Индостана, оторвавшегося от Африки и приключившегося к Азии только в начале эоцена, то есть приблизительно 50 млн лет назад. До того момента ни размеры, ни конфигурация бассейна не напоминали современный океан.

Специфическую черту Атлантического и Индийского океанов составляет распространение в них микроконтинентов и погруженных в океан континентальных окраин. Это Ньюфаундлендское плато, плато Блейк и другие близ Северной Америки, Фолклендское плато, несколько материковых фрагментов в Северной Атлантике, Мадагаскар, Сейшельский блок, плато Эксмут, поднятие Брокен и другие материковые осколки в Индийском океане. Скорости спрединга в молодых океанах небольшие — первые сантиметры в год. Наконец, континентальные окраины здесь представлены совершенно иным типом, чем в Пацифике. Это так называемый пассивный тип окраин, которому не свойственны ни вулканизм, ни сейсмичность, ни активные структурообразующие процессы.

Рифтовая система в Индийском океане имеет специфическое строение. В главный ствол Индоокеанского спредингового хребта, простирающегося от Аденовского залива до Австрало-Антарктической разломной системы, в 900 км к югу от острова Родригес врезается Юго-Западный Индоокеанский спрединговый хребет, создавая тем самым контрастный трехлучевой тектонический узел. Такое соотношение наглядно иллюстрирует происходящую перестройку структурного плана океанского дна.

Кроме того, надо отметить и такой феномен, как полное разрушение Срединно-Атлантического хребта в районе Антарктики. Здесь навстречу друг другу развиваются два молодых, почти соединившихся спрединговых хребта: Африкано-Антарктический и Американско-Антарктический, образовавшие связку Буве, названную по имени имеющегося здесь вулканического острова Буве. В результате Срединно-Атлантический хребет прекратил геодинамическую активность. Это еще один конкретный пример перестройки дна океана в процессе его структурного саморазвития.

ТЕКТОНО-ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ СЕГМЕНТОВ

Геологические реконструкции свидетельствуют, что в прошлом границы Тихоокеанского и Индо-Атлантического

сегментов были другими, чем в настоящее время. В вендское время (650 млн лет) южнее современной Сибирской платформы от Палеоокеана впадался ориентированный в западном направлении крупный океанский клин, названный Палеоазиатским океаном. Но в раннем палеозое сначала область Восточных Саян, а затем север Монголии и Казахстана преобразовались в континентальные сооружения, нарастившие древний Сибирский континент [6].

Другой подобный океанский клин, но расположенный южнее современного Азиатского материка существовал в мезозое. На западе он переходил в структуру широтного океана Тетис, на месте которого впоследствии возник Средиземноморский горно-складчатый пояс. В эоценовое время (40–55 млн лет) этот океанский клин был оторжен от Тихого океана придвинувшейся Австралией и развернувшимся Малаккским полуостровом, а это означало уже оформление Индийского океана в контурах, близких современным.

Оба примера показывают, что в ходе геологической истории наблюдалась геодинамическая экспансия Индо-Атлантического сегмента в отношении Тихоокеанского, уменьшавшая его площадь. О том же свидетельствует и упоминавшийся выше факт прогрессивного захвата зоной перехода океан–континент краевых частей Тихого океана. Наконец, на то же указывает движение на запад в кайнозой Северной и Южной Америки.

Но наряду с этим известна эпоха поздняя юра – мел, когда отмечалось воздействие тихоокеанских глубинных процессов на древние структуры сопредельных континентов. Это ярко проявлено на востоке Азии в виде образования специфических впадин и больших масс гранитоидных интрузивов. Однако это лишь эпизод на фоне прогрессивного геодинамического воздействия Индо-Атлантического сегмента на Тихоокеанский.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тектоническая асимметрия Земли, деление ее на два структурно, геодинамически и историко-геологически отличающихся сегмента – Индо-Атлантический и Тихоокеанский – представляют собой фундаментальное свойство планеты.

Сущность тихоокеанского типа развития земной коры заключается в длительной и сложной тектономагматической эволюции огромного океанского мас-

сива, с одной стороны, и также очень сложного и противоречиво протекающего процесса наращивания (аккреции) материковых окраин – с другой.

Индо-Атлантическому сегменту свойственны совершенно другие черты. Его особенность состоит в том, что именно в нем происходили процессы образования и распада суперконтинентов планеты, их разрушение и повторное объединение. Другая особенность – неоднократное образование разномасштабных межконтинентальных океанов, имеющих рифтогенное начало. Различия сегментов прослеживаются на всех глубинных уровнях Земли вплоть до ядра. По совокупности данных: структурных, историко-геологических, о глубинном строении сегментов и сравнительно-планетологических – нельзя исключить зарождения главной асимметрии в структуре Земли на очень ранних этапах ее развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
2. Шатский Н.С. Тектоническая закономерность распределения эндогенных рудных месторождений // Избр. тр. М.: Наука, 1965. Т. 3. С. 191–200.
3. Пуцаровский Ю.М. Главная тектоническая асимметрия Земли: Тихоокеанский и Индо-Атлантический сегменты и взаимоотношения между ними // Тектонические и геодинамические феномены. М.: Наука, 1997. С. 8–24.
4. Пуцаровский Ю.М., Меланхолина Е.Н. Тектоническое развитие Земли. Тихий океан и его обрамление. М.: Наука, 1992. С. 263.
5. Пуцаровский Ю.М. Тектоника Атлантики с элементами нелинейной геодинамики. М.: Наука, 1994. 83 с.
6. Моссаковский А.А., Пуцаровский Ю.М., Руженцев С.В. Крупнейшая структурная асимметрия Земли // Геотектоника. 1998. № 5. С. 3–18.

Рецензент статьи М.Г. Ломизе

* * *

Юрий Михайлович Пуцаровский, доктор геолого-минералогических наук, профессор, действительный член РАН, советник РАН, руководитель работ по тектонике океанов в Геологическом институте РАН, лауреат Государственных премий СССР и Российской Федерации, награжден золотой медалью им. А.П. Карпинского. Область научных интересов – тектоника, региональная геология, геология океанов и морей, геодинамика. Автор более 400 работ, включая 12 монографий.