



## ГЛАВА V

## ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТИХОГО ОКЕАНА

Рассматривая Землю с точки зрения глубинной тектоники с использованием последних достижений геологии и геофизики, особенно геофизической томографии, можно убедиться, что она отличается структурной асимметрией, выражением которой является деление Земли на два тектонических сегмента – Тихоокеанский и Индо-Атлантический, со всеми вытекающими особенностями (Пушаровский и др., 2000).

Для Тихоокеанского сегмента характерны его древность и длительность развития сиалической коры, отсутствие в составе литосферы континентальных блоков, а крупные поднятия (Западная часть Пацифики) с утолщенной корой основного состава составляют ее специфику.

Вокруг Тихого океана располагается подвижный тектонический пояс, в который входят складчатые сооружения различного возраста, блоки с дорифейской корой и наличием офиолитовых поясов с возрастом в 1 млрд лет. Омоложение офиолитовых поясов наблюдается от структур континентального обрамления к более молодым океаническим образованиям. Таким образом, можно отметить, что с одной стороны океаны уже существовали до начала рифея или еще ранее.

Ю.М. Пушаровским и его коллегами (Пушаровский и др., 2000) предложена новая модель сочленения Тихоокеанского и Индо-Атлантического сегмента Земли. На западе – это Алеутско-Меланезийский ряд тектонических зон, имеющих микроплитное строение и сложную геодинамику, охватывающие в той или иной мере подвижные пояса Восточной Азии, в пределах которых присутствовали древние офиолитовые пояса по окраинам океана как на западе (Guo et al., 1984; и др.), так и восточном побережье Америки (Bourgeois et al., 1987; и др.). Омоложение офиолитовых поясов в обрамлении Тихого океана в сторону океана говорит об экспансии Индо-Атлантического сегмента в отношении Тихоокеанского и это, как считает Ю.М. Пушаровский, показывает общую закономерность в тектонической эволюции Земли.

Рассматривая Тихоокеанский сегмент Земли, исследователи отметили асимметрию его строения, которая свойственна не только Пацифике, но и его континентальному обрамлению. Асимметрия выражается не только в особенностях геологического и геоморфологического строения, но как показывают океанические, геофизические и томографические данные глубинных геосфер, отражает первичную неоднородность в строении Земли.

Проведенные в последние десятилетия комплексные геолого-геофизические исследования Тихого океана и его окраин выявили новые данные о структуре и вещественном составе пород океанического ложа и его структурных элементов: океанических хребтов и поднятий, вулканических цепей, отдельных вулканических архипелагов и островов, окраинных морей и островных дуг. Накопленный материал по геологии, магматизму и особенностям состава основных океанических структур позволяет подойти к эволюции и

строению не только морфоструктур, но и в целом всей впадины Тихого океана и его глубинных геосфер.

В пределах Тихого океана можно выделить несколько крупных суперпровинций, различающихся между собой как геолого-геофизическими, так и петролого-геохимическими параметрами. Будучи связанными с глубинными процессами, они отражают разные уровни генерации магм и их состав – неоднородность субстрата, из которого они выплавлялись, и влияния различных литосферных, астеносферных факторов и флюидов, возможно, поднимающихся в виде плюмажей от раздела внешнего ядра и нижней мантии. Существование таких струй подтверждается геофизическими исследованиями в местах существования современных горячих точек (плюмов) на Гавайях, в Исландии (Wolfe et al., 1997, 1998; Helmberger et al., 1998; Russell et al., 1998; и др.).

Область Тихого океана по линии Главного геораздела (Императорский разлом, Гавайский хребет и далее на юг вдоль разломной зоны западнее поднятия Центральной котловины, вдоль цепи Маркизских островов и далее с поворотом по разлому Истер и хребту Сала-и-Гомес до побережья Южной Америки) делится на две огромные суперпровинции – Восточную и Западную. Каждая суперпровинция включает несколько петрохимических структурных провинций. Суперпровинциям свойственны определенные характеристики строения, состава и структурно-морфологические элементы (Пушаровский, 1984; Строение дна ..., 1984; Петрологические провинции..., 1996; и др.).

Восточная суперпровинция, состоящая из нескольких более мелких провинций – Северо-Восточной, Экваториальной, Перуанской и других, характеризуется в целом единством морфологических типов: глубоководные котловины со слабо выраженным рельефом дна, на котором выделяются многочисленные расположенные неравномерно вулканические горы. По геофизическим данным мощность литосферы для Северо-Восточной провинции (котловины) не превышает 60 км, возраст осадков не древнее 80–90 млн лет на юго-востоке и, возможно, более древняя в северо-западной части (90–100 млн лет) с омоложением в восточном направлении к оси Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП) (рис. 3.1). Мощность коры здесь 5,5–7,0 км, при этом, неуплотненные осадки, которые наблюдаются не везде, слагают толщу не более 150–300 м. Мощность второго слоя – 1,5–2 км ( $V_c = 5,2–5,5$  км/сек), третьего – 4–80 км ( $V_c = 6,6–6,9$  км/сек). В зоне ВТП наблюдается уменьшение мощности второго и третьего слоев и подъем низкоскоростной мантии ( $V_c = 7,6–7,8$  км/сек).

Для этого региона уникальными являются широтные (трансформные) разломы большой протяженности, расчленяющие дно океана. Драгирование в их пределах позволило получить данные о строении и составе абиссальных плит (Строение ..., 1984; Петрологические провинции..., 1996; Твердая кора..., 1987; Hilde et al., 1976; и др.).

Трансформные разломы обычно ограничивают крупные блоки, которые могут рассматриваться как петрографические провинции с определенными особенностями строения и состава. Именно здесь впервые было отмечено широкое разнообразие петрохимических типов абиссальных толеитов: нормальных толеитов (MORB), ферробазальтов, толеитов переходного типа, свойственных главным образом для ВТП. Для абиссальных котловин, а также возвышенностей разломных зон восточных провинций (Перуанской, Хуанде-Фука, разлома Эксплорер, Сованьо и др.) характерно большое разнообра-

зие петрохимических типов: от нормальных (N-MORB) толеитов, ферротоллеитов и близких им магнезиально-железистых толеитов до аномально-титанистых ферротоллеитов, пикротоллеитов и т.д. (Петрологические провинции..., 1996; Cousens et al., 1984; Kay et al., 1970; и др.).

Но наиболее необычным разнообразием составов отличаются базальты Галапагосского и Коста-Риканского рифтов, где известны толеиты MORB, ферротоллеиты, ультратитанистые ферротоллеиты, калиевые ферротоллеиты (скв. 424, 425, 506, 510, 504 И, 157, 158; Claque et al., 1981; Auto, Rhodes, 1983; Петрологические ..., 1996; и др.). Именно для этой части провинции известны сульфидные рудопоявления с высоким содержанием золота, платины в пирите и марказите (Hekinian et al., 1980; Батурин и др., 1986; Говоров и др., 1993; и др.).

Для этого региона характерно полосовое магнитное поле: линейные магнитные аномалии выдержаны на значительных расстояниях, а их происхождение, возможно, связано с процессами спрединга.

Западная суперпровинция (рис. 3.1) располагается к западу от Главного Тихоокеанского раздела, вплоть до системы островных дуг: от Курило-Камчатской – на севере до Тонга-Кермадек – на юге. Она состоит из отдельных провинций – Северо-Западной, Центральной, Каролинской, Южной и др., разделенных как крупными разломами, так и системой вулканических поясов и поднятий. Эта субпровинция отличается большим разнообразием морфологических и структурных форм, строением и составом слагающих ее магматических пород, мощностью коры и глубинным строением мантии. Здесь выделяются котловины с различной граничной скоростью, глубиной залегания поверхности Мохоровичича, и астеносферные слои в мантии. Так для Северо-Западной котловины характерны  $V_c = 8,6$  км/с и глубокое залегание астеносферной мантии, а для Восточно-Марианской –  $V_c = 8,2 \div 8,4$  км/с с быстрым затуханием на глубине, что интерпретируется как наличие на глубине волновода. В южной котловине граничные скорости в верхней части мантии и на глубине 18-20 км различны (8,4-9 км/с), что свидетельствует о ее слоистости и латеральной изменчивости.

В пределах Западной суперпровинции выделяется серия океанических поднятий с утолщенной корой (от 11-14 до 25-40 км): Шатского, Хесса, Маныхики, Магеллана, Онтонг-Джава, Мид-Пацифик и др. со сплошным слоистым строением разреза и наиболее древними осадочными и вулканогенными образованиями. Объем извергнутых лав в этих океанических плато огромен и во много раз превышает объем таких известных континентальных плато-базальтов, как дикканские и др. (Larson, 1991). Океаническая кора центральной части Западной провинции в возрастном промежутке 120-180 млн лет, соответствующая этапу длительной меловой магнитной аномалии, сформирована интенсивным вулканизмом, особенно в среднем мелу (аптальб, более  $35 \cdot 10^6$  км<sup>3</sup>/млн лет); несколько меньше – в позднем мелу, согласно реконструкциям, проведенным Р. Ларсеном и его коллегами (Larson, Chase, 1972; Larson, 1991).

Наиболее древними океаническими плато являются Магелланово поднятие (140-150 млн лет) и объем ( $10^6$  км<sup>3</sup>) вулканических пород (по данным скважин глубоководного бурения) составляет 3,64 (Larsen, 1991: DSDP 167); поднятия Шатского – 130-150 млн лет, объем – 9,86 (DSDP 49,50,306); Мид-Пацифик – 75-130 млн лет, объем – 42,9 (DSDP 313,463,171); плато Онтонг-Джава – 100-125 млн лет, объем  $\approx 101$  (DSDP 288, 289; ODP 803, 807); горы

Маркус-Уайт – 90-115 млн лет, объем – 30,85 (Sager and Pringle, 1988). Значительно меньший объем вулканических пород имеют поднятия Манихики (115-125 млн лет) и острова Лайн (75-85 млн лет).

Как предполагает Р.Ларсен (Larson, 1991) этот этап вулканизма – результат активного суперплюма. Общий объем извергнутого вулканического материала составляет около 220 ( $10^6$  км<sup>3</sup>). Как следует из приведенных данных пик активности связан с формированием плато Онтонг-Джава в период апт-альба. Но наиболее древние породы в основании океанических плато были получены в скважинах, пробуренных на поднятиях Шатского и Магелланова (140-150 млн лет, DSDP скв. 167, 49, 50, 306).

Большинство исследователей предполагают, что среднемиловая вулканическая активность привела к поступлению в океан и в атмосферу Земли огромного количества газов, особенно двуокиси углерода, что способствовало продуцированию биомассы. Именно с отложениями апт-сантонского возрастного промежутка (Irving et al., 1974; Tissot, 1979; Larson, 1991) связывают образование огромной массы органических остатков и продуцирование нефтегазоносности, составляющих основную массу мировых запасов.

Помимо океанических поднятий в Западной суперпровинции существуют крупные бассейны – Центральный, Науру и др. Центральный бассейн расположен между Маршалловыми островами на западе, горами Мид-Пацифик – на севере и поднятием островов Лайн – на востоке. Он разбурен скважинами DSDP: 169, 170, 167, 166 и др., которые вскрыли на различных уровнях вулканические породы: покровные базальты, силлы бвзальтов, экстрезии, вулканические породы со скелетными обломками рифтовых построек, вулканические пеплы, базальты с петрохимическими характеристиками, свойственными островным толеитам, толеиты срединно-океанических хребтов (MORB) и щелочные базальты.

Анализ петрохимических особенностей будет сделан ниже. Здесь же следует подчеркнуть некоторые взаимоотношения таких структурных элементов, как пород бассейна Науру и плато Онтонг-Джава, расположенных вблизи, но имеющих свои особенности развития. Как отмечалось выше, основание бассейна Науру лежит на плите с возрастом более 148 млн лет. Наиболее древние породы, встреченные в скважинах 288, 289 DSDP и 803 ODP, определены как апт-альбские (100-125 млн лет). Но тем не менее, принимается, что в основании лежит океаническая плита с возрастом около 150 млн лет. Исследования вулканизма, покрывающего большую площадь Центральной Пацифики (Larson, Schlanger, 1981), протягивающуюся из бассейна Науру к Маршалловым островам и далее к островам Лайн на востоке, включая горы Мид-Пацифик (на севере), показывают, что регион может иметь поднятие, ассоциирующее с интрузиями, и формирование подводных гор как срединно-плитовое явление. Это региональное вулкано-термальное проявление началось еще в барреме с образованием экстрезий (скв. 462) и продолжалось в апте ( $\approx$ 110 млн лет) с внедрением силлов, обладающих характеристиками островных океанических толеитов (Мид-Пацифик) и продолжалось в позднемиловое время (70 млн лет) в Маршалловых островах. Эта интерпретация вертикальной тектонической истории данного региона подобна эволюции поднятия Дарвина, описанной Menard (1964).

Возможно, бассейн Науру также был вовлечен в позднемезозойское поднятие. Актуален вопрос о величине вертикального подъема бассейна Науру. Батиметрические исследования, проведенные в пределах его западного склона в месте его сочленения с плато Онтонг-Джава, показывают, что системы водо-

токов были направлены в сторону басс. Науру от поднятия Онтонг-Джава, как и в настоящее время..

Внутриплитный вулканизм Центральной Пацифики, который охватил площади более  $10^6$  км<sup>2</sup>, проявился в бассейне Науру, островах Лайн и восточнее в Мид-Пацифике и продолжался более 40 млн лет – от баррема до позднего мела (Jackson and Sclanger, 1976).

Помимо среднемеловых вулканических плато в Западной суперпровинции существует огромное количество более молодых вулканических поднятий, которые по отношению к структурам ложа океана имеют наложенный характер. Здесь типичны линейные вулканические цепи, и овальные, и сложные по очертаниям архипелаги и системы (Маркус-Неккер, Маркизские, Каролинские, острова Общества и др.). Кроме того, существует большая группа отдельных самостоятельных вулканов и вулканических групп.

Отражением разнообразия структур, характера форм и глубинного строения является магматизм, который отличается наибольшей пестротой состава и петрохимической спецификой, по которой в последние годы проведено огромное количество исследований, особенно по части изотопно-геохимической систематики. Выделены различные типы магматических комплексов и даны их основные характеристики (Hofmann, 1988, 1997; Hart, 1971, 1984; Hawkesworth et al., 1983; Tatsumoto et al., 1992; и др.).

Рассмотрение и анализ этих данных, наряду с томографическими исследованиями мантии океанов, вплоть до внешнего ядра, показывают, что это разнообразие имеет определенное объяснение – прежде всего с позиции плюмового вулканизма (Fukao, 1992; Hot-Spotting, 1997; Wolfe et al., 1997; Wolfe, 1998; Helmberger et al., 1998; Russel et al., 1998; и др.).

Детальные петрогеохимические исследования структур (Таити, Самоа, Тубуаи и др.) «горячих точек» показали, что породы обладают рядом особенностей не только в отношении минерального состава и высоких концентраций редкоземельных элементов, но и соотношениями изотопов свинца, неодима, стронция, самария и др., что позволило выделить изотопно-геохимические аномалии и провести систематику, сопоставить с наиболее глубинными породами и на этом основании выделить крупномасштабную изотопную аномалию южной полусферы Тихого океана (Hart, 1984; Hofmann, 1997; Sun, McDonough, 1989; Saunders et al., 1987; и др.). Эти данные и результаты геофизической томографии различных уровней верхней, средней, нижней мантии и внешнего ядра позволяют предполагать связь «горячих точек» и базальтоидного вулканизма в океанах с активизацией на границе внешнего ядра и нижней мантии в форме прорывов высокоэнергетических газов (водорода) в виде струй (плюмажей) в мантию и прохождение разогретых расплавов вплоть до поверхности Земли (Haggerty, 1994; и др.). Взаимодействия разогретых газовых струй с породами мантии и процессы, возникающие в мантии или астеносфере, остаются пока в области предположений, но геофизические данные, особенно в рифтовых зонах, там где астеносфера наиболее близка к поверхности, показывают, что над этими участками, как правило активно проявлен вулканизм (Байкальский рифт, рифт Таньлу и впадина Сунляо, Африканские рифты и т.д.). Таким образом, взаимосвязь активных процессов на поверхности внешнего ядра в слое «D и последующие активные магматические явления на поверхности Земли установлены с помощью геофизических наблюдений в «горячих точках» (Wolfe, 1998; Helmberger et al., 1998; Fukao, 1992; и др.) на примере Исландии, Таити и Гавайских островов.

Следующей суперпровинцией является система окраинных морей, обрамляющих с запада ложе Тихого океана и в большей степени подчеркивающих неоднородность и асимметричность его строения. Гетерогенность их происхождения хорошо выявляется из сравнения структурных особенностей, магматизма и глубинного строения наиболее изученных Японского и Филиппинского морей.

Особой петрографической суперпровинцией является Восточно-Тихоокеанское поднятие (ВТП). Несмотря на структурно-морфологическое единство на большом протяжении, оно характеризуется неоднородным строением коры и гетерогенным субстратом в различных его частях. Это обусловлено прежде всего различными глубинами и значительными скоростями волн в верхней мантии как вдоль хребта, так и на отдельных отрезках поперек его оси. Глубина залегания поверхности Мохоровичича значительно изменяется – от 8-9 до 10-13 км, а граничная скорость  $V_c = 7,5 \div 8,1$ ; поперек оси  $V_c$  увеличивается до 8,3 км/с по мере удаления. В верхней части мантии вдоль поднятия фиксируется волновод (~ 9-10 км), соответствующий, по видимому, магматическому очагу.

Данные по составу магматических пород, особенно по распределению редких, редкоземельных элементов, и изотопов различных блоков хребта в еще большей степени противоречат представлениям об однородности условий генерации магм и субстрата, из которого они выплавлялись. Другими словами, для ВТП, так же как и для других структурных элементов океана, характерна вещественная неоднородность, определяемая латеральной и глубинной неоднородностью мантии.

Таким образом, в пределах Тихоокеанского блока Земли выделяются четыре крупные суперпровинции с характерными чертами строения, развития и состава магматических пород. Их наличие подчеркивает структурную неоднородность высшего порядка. В пределах каждой суперпровинции выделяются провинции – подразделения более мелкого порядка, характеризующие отдельные океанические блоки, несущие черты общего сходства. На фоне сходства выявляются различия внутреннего строения и эволюции магматизма. Остановимся более детально на особенностях состава магматических пород, занимающих различное структурно-морфологическое положение как в отдельных провинциях, так и внутри них.

Многочисленные данные, полученные в последние годы при бурении, показывают, что базальты срединно-океанических хребтов неоднородны по характеру распределения как петрогенных компонентов, так и особенно микроэлементов – Sr, Zr, Ba, Rb и PЗЭ. На характер распределения этих элементов, безусловно, оказывают влияние процессы кристаллизационной дифференциации и частичного плавления. Однако соотношения между ними, их изменения отражают устойчивый региональный признак, что может быть связано со средой генерации расплавов. В результате выявляются определенные региональные петрогеохимические провинции.

Согласно современным экспериментальным данным и петрологическим исследованиям магматических пород ведущая роль в процессах плавления принадлежит летучим компонентам глубинного происхождения. Их роль определяется не только влиянием на температуру и состав выплавки, но и способностью эффективно осуществлять транспортировку многих элементов.

Важно, что флюидный режим и петрогеохимические региональные черты взаимосвязаны, взаимообусловлены и отражают, видимо, глубинность

этого явления, гетерогенность мантии, возможно весьма древнюю (Моисеенко, Сахно, 1982; Welham, Craig, 1979). Ниже для сравнения будут подробно рассмотрены серии магматических пород Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП), магматические комплексы структурных элементов дна океанического ложа, вулканических и иных поднятий Центральной котловины Западной суперпровинции и магматические образования Японского и Филиппинского морей.

Перечисленные области представляют собой наиболее типичные магматические провинции субширотного латерального ряда: от структур, характеризующихся процессами образования океанической коры (ВТП), к структурам более древнего заложения и развития с наложенными вулканическими поясами и до окраинных морей Востока Азии, происхождение которых в той или иной степени связано с деструкцией блоков континентальной коры или ее наращиванием. Здесь представлены все структурно-морфологические элементы Тихого океана, наиболее детально описанные и исследованные на данном этапе. Обширная литература по северо-западной части океана, детальные работы, проведенные в последние годы советскими научно-исследовательскими судами, а также данные DSDP (рейсы 55, 62 и др.) позволили получить новый материал по Северо-Западной и Северо-Восточной котловинам, по поднятиям Шатского и Хесса, разломам Императорскому, Кларион и др., по Гавайской и Императорской вулканическим цепям (Пушаровский, 1982, 1984, 1986; Пушаровский, Меланхолина, 1992; Рудник и др., 1984; Строение дна..., 1984). В следующих разделах приводится подробный анализ магматизма и особенностей петрохимического и геохимического состава пород, слагающих эти структуры.