

**СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЙОТОВ  
МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР (ТИХИЙ ОКЕАН)**

*В.П. Уткин, А.И. Ханчук, Е.В. Михайлик, Л.Б. Хершберг*

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток*

Методом морфогенетических аналогий деформаций континентальной и океанической коры расшифрована тектоническая инфраструктура Магеллановых гор, выявлена роль структурно-динамических факторов в формировании гайотов. Установлено: (1) в формировании как отдельных гайотов, локальных группировок, так и всей их совокупности определяющую роль играли сдвиговые дислокации разных рангов, закономерно соподчиненных и проявленных в пликативных (складки) и дизъюнктивных (сдвиги, дуплексы растяжения) формах; (2) развитие всего ансамбля сдвиговых дислокаций на разных иерархических уровнях происходило в условиях меридионального сжатия океанической коры. Высказано предположение, что протяженные на тысячи километров интраокеанические вулканические пояса Тихого океана, как и Магеллановы горы, формировались в идентичных условиях сдвигового геодинамического режима.

**Ключевые слова:** гайоты, структурно-динамические факторы, меридиональное сжатие литосферы, сдвиги, структурные парагенезы, брахиформные антиклинали, декомпрессионные криптокамеры, Магеллановы горы, Тихий океан.

**ВВЕДЕНИЕ**

Магеллановы горы (МГ) расположены в северных широтах (10–20°) на западе Тихого океана (150–160° в.д.) и представляют собой протяженную систему подводных гор и гайотов длиной около 1100 км, имеющую в целом северо-западное простирание. Высота большинства вулканических построек составляет 4500–4800 м; глубины вершин расположены в диапазоне 1200–1400 м. Возраст океанической коры рассматриваемого региона колеблется от 150 до 170 млн лет и определен при глубоководном бурении [24, 25 и др.]. Вулканические постройки на океанической коре сформированы в основном в меловом периоде, с активизацией вулканизма в среднем миоцене.

Наиболее распространенной гипотезой происхождения МГ является предположение о вулканизме “горячих точек” [23, 28], которые, как считается, представляют собой горячие струи, поднимающиеся из нижней мантии к основанию литосферных плит и проплавливающие их. По мере движения плиты над «горячей точкой» возникают все новые вулканы, трассируя направление движения плиты. Такие представления обосновываются, прежде всего, последо-

вательностью развития цепи Гавайско-Императорских гор. Однако данные распределения возрастов вулканитов в пределах Магеллановых и ряда других подводных гор Тихого океана не позволяют использовать гипотезу “горячих точек” [9 и др.], обстоятельный критический анализ которой дан в работе [10]. Было выдвинуто альтернативное представление, согласно которому вулканические постройки сформировались на разломах, возникших в литосфере. В основу объяснения причин образования таких разломов положена модель мембранной тектоники [30], учитывающая изменения напряжений в движущейся литосферной плите в связи с переменной кризисной поверхностью Земли. Изменение напряжений, как считается, приводит к растрескиванию океанической коры и формированию сети локальных разломов, на пересечениях которых и возникают вулканические постройки [9 и др.]. Однако мембранная тектоника, по нашему мнению, убедительно не объясняет формирование протяженных на тысячи километров интраокеанических вулканических поясов, таких, например, как горы Лайн-Туамоту северо-западного простирания, о-ва Маршалловы-Гилберта, горы Магеллана и др. Эти пояса, по-видимому, контролируются глубинными разломами, которые можно от-

нести к классу демаркационных разломов, разделяющих океан на крупные сегменты [7]. Такое предположение вытекает из линейной морфологии интраокеанических поясов, характерной для глубинных разломов, прежде всего, сдвигов, а также с учетом установленного контроля глубинными сдвигами вулканических поясов, сформированных на континентальной коре [12, 14].

Используя принцип аналогий, была поставлена задача, расшифровать инфраструктуру и определить структурно-динамические условия магматизма Магеллановых гор с позиций их формирования в условиях сдвигового геодинамического режима.

#### МЕТОДИКА И ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ

В рельефе дна океанов, изолированном от экзогенных процессов, во многом отражена первичная морфология пликативно-дизъюнктивных тектонических структур океанической коры и подводных вулканических построек. При структурном дешифрировании донной поверхности океанов важно использование накопленных структурной геологией знаний, касающихся морфологии и кинематики формирования как частных тектонических структур, так и их парагенезов (структурных ансамблей), установленных на континентах и воспроизведенных экспериментально. Метод морфогенетических аналогий был применен при решении проблем структурообразования и вулканизма МГ [16].

Магеллановы горы, при ширине до 400 км, прослеживаются в северо-западном направлении более чем на 1000 км и являются вулканическим поясом, сформированном на океанической коре вдоль сдвиговой зоны Огасавара, разрывы которой как трансформные сдвиги определены по признакам горизонтального смещения магнитных полосовых аномалий океанической коры [19 и др.]. Структурные парагенезы сдвиговой зоны Огасавара, как и их роль в процессах магматизма МГ, не изучены.

Окраинно-континентальная система разломов, доступная для непосредственных наблюдений, исследована достаточно глубоко и охарактеризована как Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая зона, контролирующая одноименный вулканический пояс [11, 12, 15]. На примере его крупного фрагмента, Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического пояса (ВСАВПП), детально исследована роль структурно-динамических факторов в процессах магматизма [13, 14, 17]. Установлено, что при поэтапном развитии пояса (альб-палеоцен) в закономерностях проявления магматизма важнейшую роль играли складчатые и разрывные парагенезы сдвигов. Состав вулканитов ВСАВПП и МГ, естествен-

но, резко различный. Однако структурно-динамические факторы, определявшие развитие магматизма поясов, могли быть во многом близкими или даже идентичными, так как те и другие формировались на литосферных плитах в условиях активизации глубинных сдвигов, как это установлено в Сихотэ-Алине. Природа сдвигов, возможно, разная, однако структура сосдвиговых разрывных и складчатых парагенезов и континентальной, и океанической коры, по-видимому, была сходной и отличалась только степенью развития. Вместе с тем, предполагается, что трансформные сдвиги, сформированные путем спредингового механизма, на определенных этапах развития могли активизироваться в результате воздействия иных динамических факторов, например, связанных с ротацией Земли. Так или иначе, но мы сочли возможным установленные структурно-динамические условия развития ВСАВПП использовать при изучении тектонической инфраструктуры и магматизма МГ.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ГАЙОТОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР

При изучении кобальтовых железомарганцевых руд на МГ "Дальморгеологией" (г. Находка) с 1988 по 1996 гг. впервые применялся метод геологической съемки различных стадий, от региональной геолого-геофизической масштаба 1:1 000 000 до поисковой масштаба 1:50 000. Особенно детально исследовано геологическое строение гайотов: Роскомнедра (МЖ-36), Дальморгео (МА-15) и ИОАН (МЖ-35). В Санкт-Петербурге в июне 2004 года состоялось XVII заседание комиссии ЮОС-ЮНО/GEBCO SCUFN-XVII (of UNESCO), на котором были утверждены новые названия перечисленных гайотов, соответственно Грамберга, Альба и Федорова.

В геологическом строении рассматриваемых гайотов выделяется три структурно-формационных яруса.

**Нижний ярус** (баррем) представлен серией дифференцированных толеитов, слагающих пьедестал палеовулканов между изобатами 3000–5000 м. Склоновые поверхности пьедестала полого (3–7°) наклонены в сторону абиссальных впадин, а верхняя граница фиксируется по наличию на склонах узких выровненных площадок, окаймляющих его по окружности. Среди толеитовых базальтов выделяются плагиобазальты, оливин-плагиоклазовые и оливин-салитовые базальты, океаниты. Отмечается наличие силлов и даек базальтов и долеритов. Все разновидности пород подвержены интенсивной смектитизации и палагонитизации.

**Средний ярус** (верхний баррем–апт) представлен субщелочными и щелочными оливиновыми базальтами, трахибазальтами, тефритами и фонолитами, среди которых преобладают лавовые разности. Повсеместно лавовые потоки перекрыты маломощным чехлом везикулярных гиалокластитов палагонитизированных. Указанные образования слагают усеченную часть гайотов. Для этих участков характерны крутые (до 20 и более градусов) склоны. Реже встречаются вулканические тела, дайки и силлы базальтов, трахибазальтов и трахиандезитов. На гайоте Грамберга (МЖ-36) закартированы интрузивные тела и дайковые пояса, которые трассируют линейные зоны магмоподводящих каналов. Несомненным продолжением этих зон являются линейно-вытянутые северо-восточный и юго-западный отроги гайота, сложенные базальтами. Выделены также вулканоструктуры центрального типа второго порядка с размерами в поперечнике 2–5 км. Линейно вытянутый юго-восточный отрог трассируется роем даек, контрастно выделяющихся среди песчаной равнины. Протяженность зоны более 30 км. Мощность даек, по данным гидролокации бокового обзора и фототелевизионного профилирования, составляет обычно первые метры, редко достигает 19 и более метров, по простиранию они прослежены на 500–800 м, иногда на первые километры. Для пород, слагающих дайки, характерна массивная грубостолбчатая отдельность. В нескольких местах установлена классическая гексагональная отдельность. Возраст пород (К–Аг метод) колеблется в широких пределах – от 95 до 36 млн лет.

**Верхний ярус** представлен щелочными базальтоидами и осадочными породами. Щелочные базальтоиды, их лавы, шлаковые лавобрекчии, спекшиеся туфы, ортотуффиты с тонкими прослоями кокколитофораминиферовых известняков слагают несколько изолированных шлаковых конусов на гайотах Альба (Дальморгео) и Федорова (ИОАН), высота которых достигает 500 м. Микрофауна содержится в известняках, а также в самом туфовом материале. Комплексы фораминифер и кокколитофорид свидетельствуют о среднемиоценовом возрасте вмещающих их отложений [2, 5, 6].

В состав комплекса осадочных пород входят: вулканогенно-осадочные отложения (турбидиты, брекчии, дресвяники, гравелиты, конглобрекчии и др.) апт-альбского возраста – продукты разрушения вулканитов; рифогенные известняки (биогермные, оолитовые, биокластические) альбского возраста – продукты образования и разрушения рифов; планктоногенные карбонатные отложения поздний мел-четвертичного возраста – продукты батинально-пела-

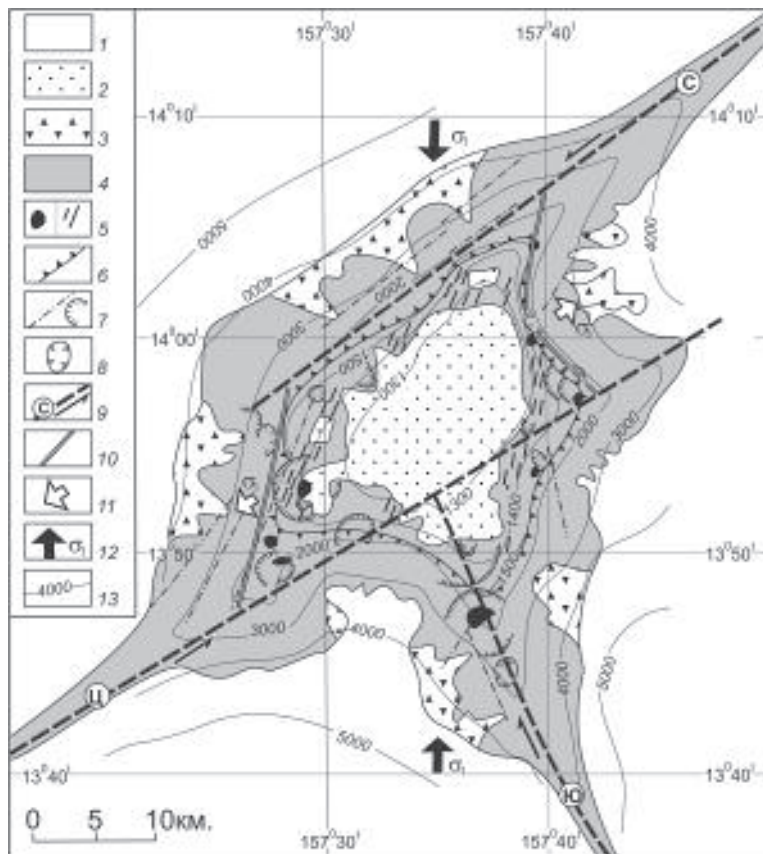
гического режима осадконакопления, установившегося над гайотами с момента их погружения.

#### МОРФОЛОГИЯ И СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ГАЙОТОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР

Природа формирования МГ исследователями рассматривается как с фиксистских, так и мобилистских позиций. При этом в обоих случаях ведущая роль в горообразовании отдается вулканизму. Однако авторы работ [28, 29], а в дальнейшем и другие исследователи показали, что очертания подводных гор являются не округлыми, а угловатыми, направление изобат на отрезках между перегибами склонов преимущественно линейные. Такие факты заставляют предполагать ведущую роль в горообразовании тектонического фактора, рассматривая вулканизм лишь как процесс, сопровождающий тектонические активизации [6]. С учетом сказанного, эту проблему рассмотрим на примере гайотов Грамберга, Альба и Федорова, наиболее хорошо изученных не только, как отмечено выше, в геологическом, но и в морфологическом отношении.

**Гайот Грамберга** (Роскомнедра [МЖ-36]) расположен на юго-восточном фланге МГ. Гайот детально исследован методом геологической съемки масштаба 1:50 000, а схема геодинамических условий его формирования обоснована В.П. Уткиным (рис. 1) [18]. Это одиночное усеченное конусовидное вулканическое сооружение трапецевидной формы в плане, вершинная поверхность которого поднимается над абиссалью (глубина 6100 м) на 4850 м. Характерной чертой гайота является наличие трех линейных боковых отрогов, отходящих от конуса гайота. Отроги при ширине 1–5 км прослеживаются на десятки километров, возвышаясь над абиссалью до 1–2 км. Сложенные лавами мантийного происхождения, они, несомненно, отражают положение глубинных разломов. Центральная часть вулканической постройки гайота размещена на участке перекрытия несоосных Северного и Центрального разломов. S-образная морфология гайота во всех деталях является аналогом левоступенчатых сдвиговых дуплексов растяжения, строение и развитие которых (как и правоступенчатых) широко освещены в литературе [8, 13, 20, 26, 27 и др.].

Согласно морфогенетическим аналогиям, гайот Грамберга формировался в условиях меридионального продольного сжатия океанической коры с развитием систем сопряженных северо-восточных левых и северо-западных правых сдвигов. На участке пере-



**Рис. 1.** Морфология и структурно-динамические условия формирования гайота Грамберга (Роскомнедра [МЖ-36]). Схема составлена по материалам [18].

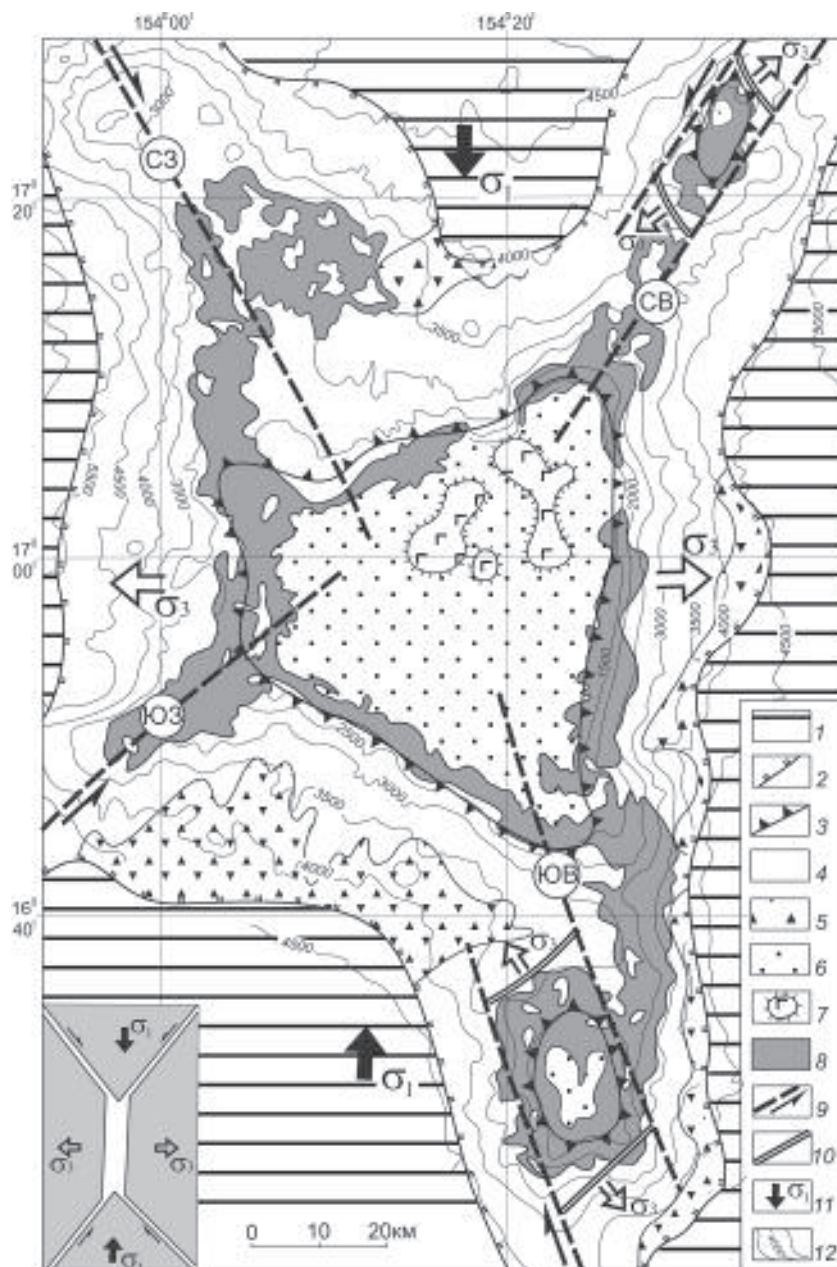
1 – абиссальное основание гайота; 2–3 – осадочные комплексы вершинного плато (2) и подножья (3) гайота; 4 – субщелочные базальтоиды ( $K_1-K_2$ ); 5 – лакколиты, штоки и дайки долеритов; 6 – бровка вершинной поверхности гайота; 7 – линейные и кольцевые разломы; 8 – кальдеры обрушения, просадки; 9 – магмоконтролирующие сдвиги (С – Северный, Ц – Центральный, Ю – Южный), перекрытые вулканитами; 10 – границы дуплекса растяжения; 11 – направление растяжения дуплекса; 12 – направление продольного сжатия океанической коры; 13 – изобаты (м).

крытия несоосных Северного и Центрального левых сдвигов формировался смыкающий эти сдвиги левоступенчатый дуплекс растяжения, который раздвинул океаническую кору, что обеспечило продвижение мантийных расплавов и образование в альбе–сеномане вулканической постройки.

**Гайот Альба** (Дальморгео [МА-15]) расположен в центральной части МГ. Это сложное горное сооружение, основной конус которого представляет собой усеченную четырехгранную пирамиду (рис. 2). Вершина гайота, субгоризонтальная абразионно-аккумулятивная поверхность расположена на глубинах 1250–1500 м. Сочленение вершинной поверхности со склонами резкое, где углы падения склонов достигают  $35-40^\circ$ , а у подножий склоны гайота выполаживаются до  $2-8^\circ$ . Вдоль бровки вершинной поверхности наблюдаются выходы коренного цоколя, шириной до 4,5 км. В северо-восточной части вершинной поверхности гайота установлена группа молодых вулканических конусов, сформировавшихся в миоцене после абразионного срезания вершины стратовулкана. Относительная высота наиболее крупного конуса – 760 м, диаметр основания – около 5 км, крутизна склонов –  $10-25^\circ$ , батиметрическая отметка вершины – 540 м.

Весьма важной морфологической чертой гайота является наличие четырех боковых отрогов, отходящих от основного конуса, что в целом этому вулканическому сооружению придает Х-образную форму (рис. 2). Отроги прослеживаются на десятки километров, возвышаясь над абиссалью до 3 км. На северо-восточном и юго-восточном отрогах, на расстоянии до 40 км от основного конуса, размещены его сателлиты (рис. 2). Юго-восточный сателлит примыкает к основному палеовулкану через пологую седловину, шириной 6–7 км на глубине 3000 м. Диаметр его основания – 35 км. Батиметрический уровень усеченной вершины составляет 1600–1700 м. Северо-восточный сателлит, с отметкой конусовидной вершины 1872 м, отделен от основного гайота пологой седловиной, шириной 10 км на глубине 3000–3100 м. В его формировании можно выделить не менее трех циклов вулканических извержений, зафиксированных в виде трех привершинных конусов, окруженных субгоризонтальными лавовыми пьедесталами.

Значительная протяженность отрогов, сложенных лавами мантийного происхождения, несомненно отражают положение магмоподводящих глубинных разломов СВ и СЗ простираения, которые, по аналогии с идентично ориентированными разломами гайо-



**Рис. 2.** Морфология и структурно-динамические условия формирования гайота Альба (Дальморгео [МА-15]). Схема составлена по материалам [2].

1 – абиссальное основание гайота; 2 – подножье гайота; 3 – бровка вершинной поверхности; 4 – базальты ( $K_1$ ), слагающие гайот; 5 – турбидиты ( $K_1$  ар-ал); 6 – осадочные комплексы вершинного плато гайота (поздний мел–кайнозой); 7 – вулканические конусы, сформированные в миоцене после абразионного срезания вершины стратовулкана и его погружения (высота наиболее крупного конуса – 760 м, батиметрическая отметка вершины – 540 м); 8 – рудные залежи; 9 – правые (СЗ, ЮВ) и левые (СВ, ЮЗ) магмоконтролирующие сдвиги, перекрытые вулканитами; 10 – границы дуплексов растяжения, определивших условия формирования спутников основной постройки; 11 – направления продольного сжатия океанической коры; 12 – изобаты (м).

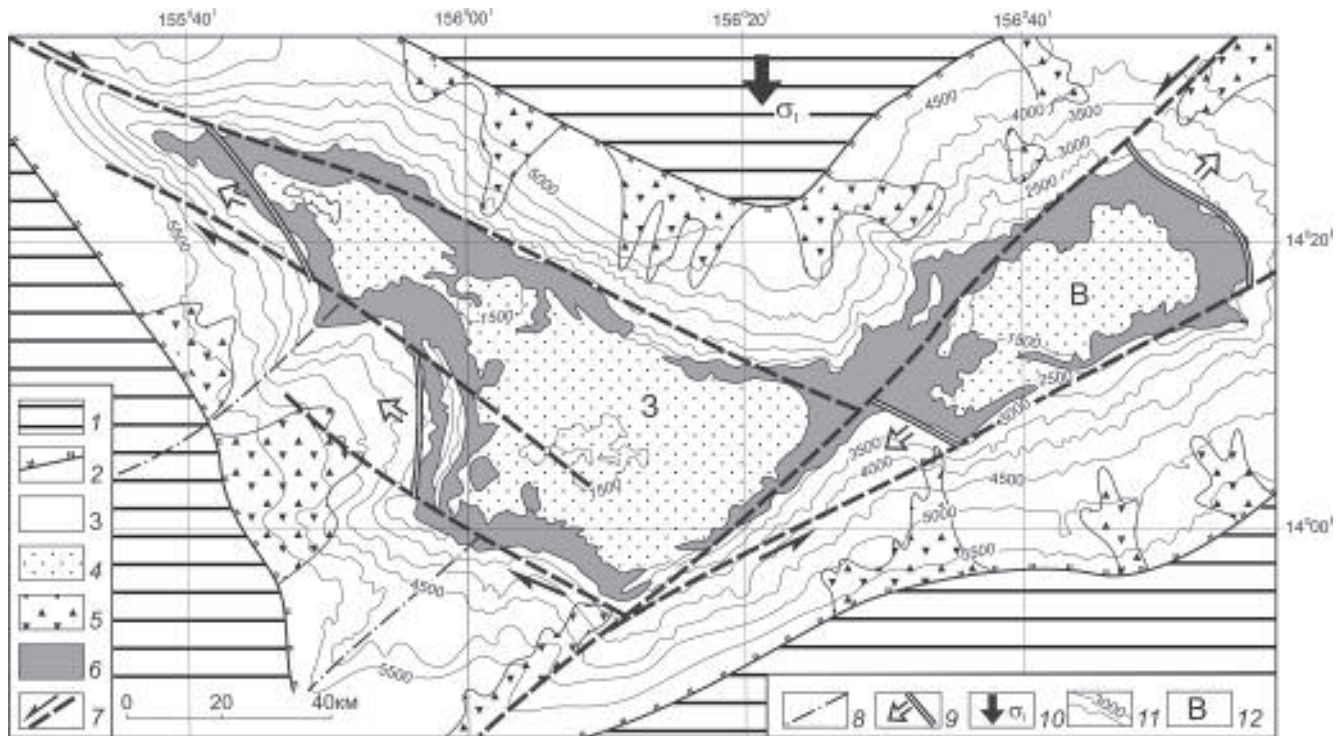
В левом нижнем углу – геодинамическая схема раскрытия основного магмоподводящего канала ( $\sigma_1$  – направления сжатия,  $\sigma_3$  – направления растяжения, тонкие стрелки – направления смещений по сдвигам).

та Грамберга, формировались также в условиях меридионального сжатия. В этих динамических условиях разломы СВ простирания, согласно законам деформаций, активизировались как левые, а СЗ – как правые сдвиги. Учитывая значительную ширину отрогов (до 30–40 км), разломы, по-видимому, развивались как системы сдвигов, в том числе и несоосных. В этом случае формирование спутников, по-видимому, происходило в результате раскрытия сдвиговых дуплексов растяжения – левоступенчатых (северо-восточный спутник) и правоступенчатых (юго-восточный спутник) (рис. 2). Основной палеовулкан сформирован в узле схождения глубинных разломов северо-восточного и северо-западного простирания.

Геодинамические условия, обеспечившие поступление столь значительных объемов мантийных продуктов, можно объяснить многократным и значительным приоткрыванием центрального магмоподводящего канала, вследствие встречного движения клиновидных блоков, ограниченных сопряженными правыми и левыми сдвигами (рис. 2, врезка).

**Гайот Федорова (ИОАН [МЖ-35])** расположен на юго-восточном фланге Магеллановых гор и представляет собой сложное горное сооружение, образованное двумя вулканическими постройками – Западной и Восточной, слившимися в районе седловины, которая фиксируется на глубине 2000 м (рис. 3). Вытянутые в северо-восточном и северо-западном на-





**Рис. 3.** Морфология и структурно-динамические условия формирования гайота Федорова (ИОАН [МЖ-35]). Схема составлена по материалам [4].

1 – абиссальное основание гайота; 2 – подножье гайота; 3 – базальты ( $K_1$ ), слагающие гайот; 4 – осадочные комплексы вершинного плато гайота (поздний мел–кайнозой); 5 – турбидиты подножья гайота ( $K_1$  ар-ал); 6 – рудные залежи, сформированные вдоль бровки вершинной поверхности гайота; 7 – сопряженные магмоконтролирующие правые и левые сдвиги, перекрытые вулканитами; 8 – второстепенные разрывы; 9 – границы сосдвиговых структур растяжения (стрелки – направление растяжения); 10 – направление продольного сжатия океанической коры; 11 – изобаты (м); 12 – Восточная (В) и Западная (З) вулканические постройки гайота Федорова.

правлениях, соответственно, Восточная и Западная вулканические постройки придают гайоту Федорова V-образную форму (рис. 3). Эти направления, по аналогии со строением гайотов Грамберга и Альба, по-видимому, отражают простирания сопряженных систем, соответственно, левых и правых сдвигов, формировавшихся также в условиях меридионального сжатия. Ступенчатое в плане строение вершинной поверхности Западной постройки позволяет наметить три кулисных правых сдвига северо-западного простирания. Ориентированные косо к этим сдвигам участки границ вершинной поверхности, согласно законам организации структурных парагенезов, по-видимому, являются границами сосдвиговых структур растяжения, выполнявших роль основных магмоподводящих каналов при формировании Западной вулканической постройки в условиях меридионального сжатия. Исключительная прямолинейность линейного элемента, выполняющего роль общей границы и Восточной, и Западной построек (рис. 3), позволяет

обозначить его природу как сквозного левого сдвига северо-восточного простирания, сформированного также в условиях меридионального сжатия. В свою очередь, прямолинейность юго-западной границы вершинной поверхности Восточной постройки можно расценивать как отражение северо-восточного левого сдвига, оперяющего главный (рис. 3). Заключенная между этими сдвигами Восточная вулканическая постройка полностью отвечает положению сосдвиговой структуры растяжения, многократное раскрытие которой происходило при активизации сдвигов в условиях меридионального сжатия. Обращает на себя внимание, что северо-западная система сдвигов, контролирующая развитие Западного гайота, срезается сквозным северо-восточным сдвигом. Есть основания предполагать, что после прекращения активности северо-западной системы правых сдвигов, система северо-восточных левых сдвигов продолжала быть активной, что обусловило вспышки вулканизма в Восточной постройке после ее абразии, синхрон-

ной с абразией Западной постройки. Для Восточной постройки характерно наличие вулканических тел, выступающих среди осадков и образующих уступы высотой 1 м, а также отпрепарированных даек долеритов, образующих протяженные стены, шириной до 10 м и высотой до 5 м. Линейные вулканические тела и дайки, прорывающие осадки вершинной поверхности, по-видимому, отражают положение сосдвиговых магмоподводящих каналов последней вспышки вулканизма, объемы продуктов которого, возможно, и обусловили, как установлено, превышение вершинной поверхности Восточной постройки над Западной не менее чем на 100 м.

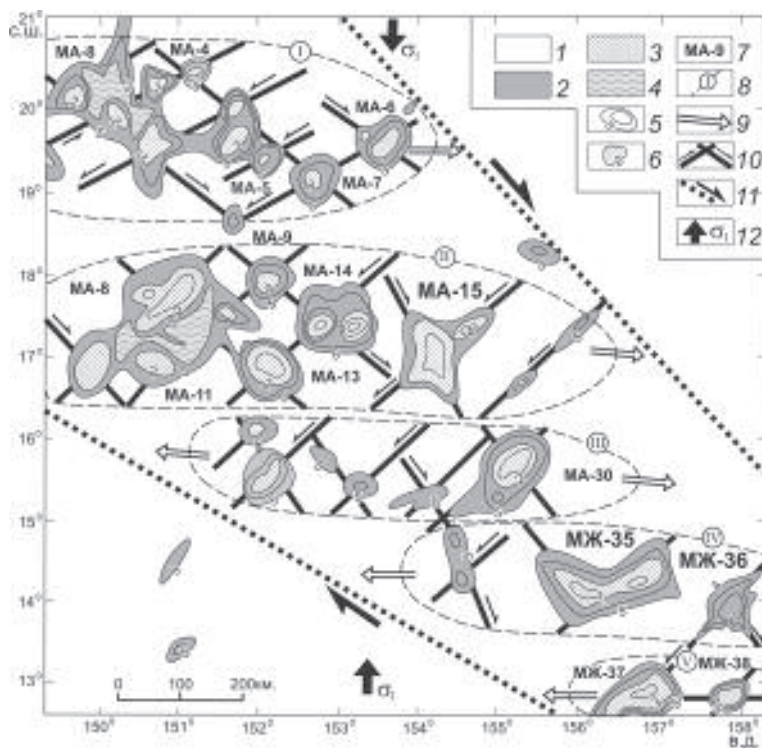
Разработанные геодинамические модели формирования детально изученных гайотов МГ по степени их обоснованности неоднозначны. Если динамика развития гайотов Грамберга и Альба, по нашему мнению, расшифровывается наиболее уверенно, то формирование гайота Федорова может иметь и иные интерпретации, но не выходящие за рамки закономерностей строения и развития всех перечисленных гайотов. Для обоснования этих выводов достаточно обратить внимание, что S, X и V-образные формы охарактеризованных гайотов обусловлены сочетанием единых для всех гайотов систем правых и левых сдвигов, соответственно, северо-западного и северо-восточного простираения, формирование которых происходило в условиях меридионального сжатия океанической коры.

Отсюда вытекает и другой вывод – северо-западные и северо-восточные разломы являются главными гайотоконтролирующими разрывными структурами МГ. Эти структурно-динамические особенности строения и формирования отдельных гайотов были использованы в дальнейшем при расшифровке как тектонической инфраструктуры, так и динамики развития МГ в целом.

#### ИНФРАСТРУКТУРА И ГЕОДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР

Анализ закономерностей размещения гайотов в пределах МГ показывает, что наиболее компактные их группировки образуют широтные ареалы (рис. 4), отвечающие предполагаемому положению складчатых структур в условиях меридионального сжатия. Приблизительно равный шаг между осями складок (в нашем случае около 250 км) – известная в структурной геологии закономерность в развитии складчатых деформаций. При такой интерпретации строения МГ в их состав органично вписывается расположенная к северу от них группа гайотов, объединенных в широтный хребет Даттон (рис. 4).

В пределах ареалов гайоты размещены также не беспорядочно, а сконцентрированы вдоль линейментов северо-восточного и северо-западного направлений (рис. 4), которые на гайотах Грамберга, Альба и Федорова определены как, соответственно, левые и правые сдвиги (рис. 1–3). Системы гайотоконтроли-



**Рис. 4.** Главные складчатые и разрывные структуры, контролирующие размещение вулканических построек Магеллановых гор и хребта Даттон (схема составлена по материалам [2]).

1 – абиссальное основание гайотов; 2 – магматические образования гайотов (субщелочные базальтоиды); 3–4 – осадочные комплексы вершинных плато (3) и перекрывающие нижние ярусы (4) вулканических построек; 5–6 – генерализованные изобаты оснований (5) и бровок вершинных поверхностей (6) гайотов (км); 7 – номера гайотов, укрупненные цифры – гайоты: т. МЖ-36 – Грамберга (Роскомнедра), т. МЖ-35 – Федорова (ИОАН), т. МА-15 – Альба (Дальморгео); 8 – границы широтных ареалов вулканизма (брахиформных антиклиналей) и их названия (вулканические хребты: I – Даттон, II – Альба (Дальморгео), III – Находка, IV – Федорова (ИОАН), V – Ита-Майтаи); 9 – погружение шарниров брахиформных антиклиналей; 10 – диагональная система разрывов (сопряженные правые и левые сдвиги), контролирующие вулканические постройки в пределах антиклиналей-сводов; 11 – границы Магеллановых гор (зоны правого потенциального сдвига); 12 – направление продольного сжатия океанической коры.

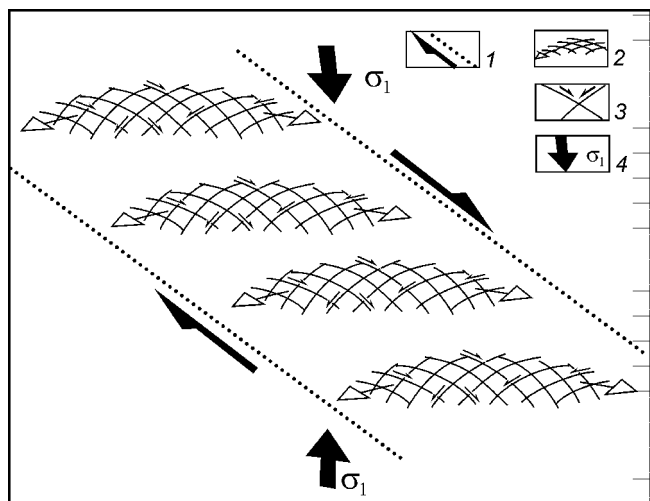
рующих разломов северо-западного и северо-восточного направлений отвечают положению известных в структурной геологии диагональных сколов (сопряженных правых и левых сдвигов) складчатых структур, что подтверждает возможную соскладчатую природу широтных ареалов гайотов.

Важной и неслучайной особенностью широтных ареалов является их косая ориентировка по отношению к границам МГ, образующая эшелонированную структуру северо-западного простирания (рис. 4). Аналогичным строением характеризуются потенциальные (зачаточные) правые сдвиги (рис. 5). Проявление правых и левых сдвигов в виде формирования эшелонированных складок установлены на континентах и многократно воспроизведены экспериментами. Потенциальные сдвиги ориентированы в строгой зависимости от направления сжатия. Северо-западная ориентировка правого сдвига однозначно указывает на его формирование в условиях меридионального сжатия. Антиклинальная природа эшелонированных складок подтверждается реконструкционным подъемом гайотов, погруженных ныне на глубины 1,5–2,5 км вместе с океанической корой, на уровни их формирования. Кроме того, расчеты показывают: если весь объем мантийных продуктов, ко-

торыми сложены вулканические постройки, реконструктивно вернуть на место их генерации под океаническую кору (литосферу?), то последняя поднимется на 1,5–2 км с образованием сводовых поднятий в пределах широтных ареалов вулканизма. Согласно расчетам, углы падения крыльев сводовых поднятий на время денудации вулканических построек не превышали  $8^\circ$ . В момент формирования вулканических оснований гайотов базальтовая магма выплавлялась и поднималась с глубин около 53–60 км [1]. При такой мощности океанической литосферы формирование антиклинальных складок, с пологими крыльями сводов (брахиантиклиналей), шириной до 300 и более км, отражает лишь незначительное коробление литосферной плиты, скользящей по астеносфере, но достаточное для развития базитовых магматических очагов в результате образования декомпрессионных криптокамер под сводовыми поднятиями в условиях продольного сжатия литосферы.

Океаническая литосфера отвечает характеристикам упругой среды, поэтому можно предположить, что снятие меридионального сжатия привело к направлению ее широтной складчатости с опусканием сводов антиклиналей. Кроме того, а, возможно, это главная причина, опусканию сводов способствовало и значительное опустошение подсводовых магматических камер вследствие вулканизма, с последующим давлением огромных масс вулканитов, излившихся на поверхность океанической коры с образованием вулканических гор. Основная масса магм была сосредоточена в ядрах сводовых поднятий, поэтому вдоль их осей следует ожидать развитие наиболее объемных вулканических построек. Такое предположение подтверждается сосредоточением наиболее крупных гайотов вдоль осевых зон широтных сводовых поднятий МГ (рис. 4).

Примером не полностью погружившейся магмогенерирующей брахиантиклинальной структуры могут служить Срединно-Тихоокеанские горы, которые располагаются на крупном широтном сводовом поднятии, хорошо оконтуриваемом по изобате 4000 м [1]. Этот свод увенчан многочисленными подводными гайотами, имеющими плоскую вершину. Возраст гайотов позволяет говорить о поднятии, как о районе активного вулканизма мелового возраста [21, 22]. Идентичной субширотной ориентировкой характеризуется и расположенная к северу от Магеллановых гор обширная валообразная возвышенность Маркус-Уэйк, оконтуренная изобатой 5600 м и возвышающаяся относительно дна окружающих абиссальных впадин на 200–400 м [6]. Есть основание считать, что



**Рис. 5.** Схема строения потенциального сдвига (составлена по результатам натуральных наблюдений и экспериментов).

1 – границы зоны сдвиговых дислокаций (стрелки – направления относительного смещения смежных блоков); 2 – пликативные формы (антиклинали) сдвиговых дислокаций (стрелки – направление погружения осей антиклиналей); 3 – диагональная система сопряженных левых и правых сколов-сдвигов, характерных для складчатых структур; 4 – направление максимального продольного сжатия.



сводовые поднятия, контролирующие развитие гор Срединно-Тихоокеанских и Маркус-Уэйк, являются более крупными аналогами широтных брахиантиклинальных структур Магеллановых гор, формировавшихся в идентичных условиях меридионального сжатия океанической коры. Расшифровка инфраструктуры и реконструкция структурно-динамических условий магматизма этих поднятий с позиций предложенной геодинамической модели требует отдельных специальных исследований.

Важная структурная особенность МГ выражена в их клиновидном сужении к юго-востоку (рис. 6). Морфологическим аналогом такой струк-

турной закономерности является строение потенциального сдвига, отражающего пликативное затухание по простиранию сдвигового смещения по разрыву. В эшелонированной структуре, такого рода, складки, непосредственно примыкающие к разрыву-сдвигу, относительно короткие и небольшой ширины, а на удалении их размеры постепенно увеличиваются, при этом соотношение ширины к длине устойчиво сохраняется (в нашем случае, приблизительно, как 1:5). Постепенное увеличение ширины складок (в нашем случае, от 150 до 300 км) объясняется снижением степени их смятия. Складки непосредственно у разрыва-сдвига ориентированы к



**Рис. 6.** Главные морфогенетические элементы Магеллановых гор (батиметрия по [1]).

1 – изобаты (м); 2 – глубины (м) отдельных вершин подводных гор; 3 – границы ареалов проявления подводного вулканизма (антиклинали-своды); 4 – границы зоны сдвиговых дислокаций океанической коры (правого потенциального сдвига); 5 – предполагаемый правый сдвиг (возможно, трансформный); 6 – диагональные правые и левые сдвиги, контролирующие отдельные вулканические постройки за пределами зоны потенциального сдвига; 7 – направление продольного сжатия океанической коры.

его простиранию под более острым углом, чем удаленные, где углы достигают  $45^\circ$ .

В строении и развитии МГ установлены две основные особенности:

1) в формировании как отдельных гайотов, локальных группировок, так и всей их совокупности определяющую роль играли сдвиговые дислокации разных рангов, закономерно соподчиненных и проявленных в пликативных (складки) и дизъюнктивных (сдвиги, дуплексы растяжения) формах;

2) развитие всего ансамбля сдвиговых дислокаций на разных иерархических уровнях происходило в условиях меридионального сжатия океанической коры.

Природа меридионального сжатия находит объяснение с точки зрения как тектоники литосферных плит, так и ротационного фактора. Северо-западная ориентировка потенциального правого сдвига, контролирующего МГ, может указывать на деформацию блока Тихоокеанской плиты в результате ее субмеридионального продольного сжатия, вызванного смещением плиты на север-северо-запад. Как считает Д. Таркота [30], спрединговое движение плит неизбежно сопровождается их сжатием и раскалыванием по системам диагональных (и ортогональных) сдвиговых трещин, которые контролируют излияния магм, что нашло подтверждение в нашем случае. В этих же условиях субмеридионального сжатия океаническая плита, естественно, могла сминаться в широтные складки-своды, в том числе и в виде эшелонированных складок потенциальных сдвигов. Неравномерность напряжений сжатия плиты во времени объясняется сменой интенсивного раздвигания плиты в зоне спрединга незначительным или его полным прекращением.

Ротационная версия вытекает из известного факта существования меридиональных полюсобежных сил, действием которых объясняется развитие диагональной и ортогональной регматической сети планетарной трещиноватости. В диагональную систему трещиноватости органично вписываются северо-восточные левые и северо-западные правые окраинно-континентальные глобальные сдвиговые зоны [11, 15]. Эта же система правых и левых сдвигов (включая и потенциальные) проявилась и на более низком иерархическом уровне в пределах МГ, отражая, как и широтная складчатость, действие меридионального сжатия океанической коры. Изменение интенсивности меридионального сжатия легко объясняется неравномерной скоростью вращения Земли. Каждая из версий указывает на меридиональное сжатие как на одну из главных причин развития

складчатых и разрывных структур в океанической плите. А если учесть, что ротация и спрединг – процессы, способные к сосуществованию, то в этом случае возможно сложение ротационных меридиональных сил, направленных от полюса к экватору, с силами сжатия, вызванными смещением плиты от экватора к северу.

Исходя из вывода о решающей роли меридионального сжатия, можно обозначить следующую последовательность структурообразования и вулканизма МГ.

Под действием меридионального сжатия упругая океаническая плита сминалась в широтные антиклинали (своды). В формировании антиклиналей большую роль играли диагональные северо-восточные левые и северо-западные правые сдвиги, в совокупности отражающие деформацию чистого сдвига, которые определяли пути продвижения мантийной магмы, контролируя вулканизм над антиклиналями, прежде всего, на пересечениях сдвигов и на участках развития дуплексов растяжения. Первый импульс вулканизма проявился в конце готтерива–начале баррема, второй – в конце баррема–начале апта [1], третий – в альбе–сеномане [18], а четвертый – в среднем миоцене [2, 5, 6]. В эти периоды активизации меридионального сжатия на сводовых поднятиях формировались вулканические постройки, в том числе и выходящие выше уровня океана и подверженные абразии. В результате периодического снятия меридионального сжатия складчатость океанической плиты расправлялась, сводовые поднятия опускались, чему способствовало, как отмечено выше, и опустошение подсводных магматических камер вследствие вулканизма с последующим давлением огромных масс вулканитов, сформировавших подводные горы. Вместе с погруженными сводами, размещенные на них и срезанные абразией вулканические постройки опустились ниже уровня океана, отражая заключительный этап формирования гайотов.

## ВЫВОДЫ

Разработанная геодинамическая модель формирования гайотов МГ принципиально отличается от уже известных и имеет, по нашему мнению, ряд существенных преимуществ. В предлагаемой модели, в отличие от предшествующих, расшифрован генезис тектонической инфраструктуры Магеллановых гор, определены динамические условия формирования как отдельных гайотов, локальных группировок, так и всей их совокупности, что позволило выявить и обосновать роль структурно-динамических факторов в проявлениях магматизма разных иерархических уровней, а также выявить роль этих факторов в по-

следовательности развития гайотов от их формирования как вулканических построек, абразии, до погружения ниже уровня океана. На примере разработки этой модели показана эффективность метода морфогенетических аналогий, позволяющего его использование при решении проблем формирования и других подводных гор Тихого океана. Успешность такого подхода подкрепляется явным сходством ориентировки и инфраструктуры Магеллановых гор с другими ареалами размещения гайотов Тихого океана. Так, обширные горы Маркус-Уэйк и Срединно-Тихоокеанские сформированы на валообразных поднятиях океанической коры, которые ориентированы в субширотном направлении, идентично простираюнию гайотоконтролирующих сводовых поднятий гор Магеллана, что может указывать на сходство условий их формирования в результате смятия океанической коры в складки под действием меридионального сжатия. В свою очередь, северо-западное простираение гор Магеллана идентично простираюнию протяженных на тысячи километров интраокеанических вулканических цепей Тихого океана (Лайн–Туамоту, Маршалл–Гилберта и др.). В пределах Французской Полинезии линейные ареалы вулканических островов (по нашему мнению, аналоги брахиантиклиналей МГ), размещаясь относительно друг друга кулисообразно, образуют протяженные вулканические цепи (Общества–Тубуаи, Туамоту–Гамбье и др.), эшелонированная структура которых (правые потенциальные сдвиги) не отличается от строения Магеллановых гор в нашей интерпретации. Идентичность ориентировок и морфологическое сходство Магеллановых гор с другими интравулканическими поясами Тихого океана вряд ли являются случайными и, по видимому, отражают единство геодинамических условий их формирования. Для доказательства этих оригинальных представлений требуются дополнительные широкомасштабные исследования с использованием обширных материалов, касающихся не только проблемы геодинамических условий вулканизма, но и геодинамики Тихого океана в целом, стадийности и многофакторности условий его развития [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Мировой океан: геология, геодинамика, физика, биология” (грант 05-1-П14-060) и Министерства промышленности, науки и технологий РФ (договор 634/2005-ДВГИ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.П. и др. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана. М.: Наука. 1990. 229 с.
2. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Ред. И.Н. Говоров, Г.Н. Батулин. М.: Наука. 1995. 368 с.
3. Геодинамика и рудогенез Мирового океана / Отв. ред. С.И. Андреев; Науч. ред.: И.С. Грамберг. СПб. Всерос. НИИ геологии и минер. ресурсов Мирового океана, 1999. 209 с.
4. Мельников М.Е., Школьник Э.Л., Пуляева И.А., Попова Т.В. Результаты детального изучения оксидной железомарганцевой и фосфоритовой минерализации на гайоте ИОАН (Западная Пацифика) // Тихоокеан. геология. 1995. № 5. С. 4–20.
5. Мельников М.Е., Подшувейт В.Б., Пуляева И.А., Невретдинов Э.Б. Среднемиоценовые вулканические постройки на гайоте Дальморгеология (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2000. Т. 19, № 5. С. 38–46.
6. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ФГУП ГНЦ “Южморгеология”, 2005. 230 с.
7. Пушаровский Ю.М., Пейве А.А., Разницын Ю.Н. и др. Разломные зоны Центральной Атлантики // Тр. ГИН. Вып. 495. М.: ГЕОС, 1995. 164 с.
8. Разломообразование в литосфере (зоны сдвига) / Ред. Н.А. Логачев. Новосибирск: Наука, 1991. 261 с.
9. Седов А.П., Матвеевков В.В., Волокитина Л.П. и др. Качественная модель формирования цепей подводных гор // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 24–43.
10. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Природа тектонической активности Земли // Итоги науки и техники. Сер. Физика Земли. М.: ВИНТИ, 1993. Т. 12. 292 с.
11. Уткин В.П. Обратимая трансформация шарьяжно-надвиговых и сдвиговых дислокаций окраин континентов // Докл. АН СССР. 1979. Т. 249, № 2. С. 425–429.
12. Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая зона, вулканический пояс и окраинные моря // Докл. АН СССР. 1979. Т. 240, № 2. С. 400–403.
13. Уткин В.П. Сдвиговые дислокации и методика их изучения. М.: Наука. 1980. 144 с.
14. Уткин В.П. Роль сдвиговых дислокаций в формировании Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса // Докл. АН СССР. 1983. Т. 268, № 4. С. 951–955.
15. Уткин В.П. Глобальные сдвиговые системы и горизонтальные перемещения континентов // Вестн. ДВО РАН. 1994. № 4. С. 23–37.
16. Уткин В.П., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Хершберг Б.Л. Роль сдвиговых дислокаций океанической коры в формировании гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Докл. РАН. 2004. Т. 395. № 5. С. 646–650.
17. Уткин В.П. Строение, геохронология и структурно-динамические условия вертикального развития Восточно-Сихотэ-Алинского магмо-металлогенического пояса // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 5. С. 659–663.
18. Хершберг Л.Б., Михайлик Е.В., Чудаев О.В. и др. Особенности геологического строения и рудоносность гайота Роскомнедра Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2002. Т. 21, № 1. С. 96–110.
19. Abrams L.J., Larson R.L., Shipley T.H., Lancelot Y. The seismic stratigraphy and sedimentation of the East Mariana and Pigafetta basins of the Western Pacific // Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, V. 129. P. 551–572.

20. Crowell J.C. Origin of late cenozoic basin in southern California // *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation: Spec. Bull. Soc. Econ. Paleont.* 1992. Miner. Tulsa: 1974. V. 19. P. 292-303.
21. Hamilton E.L. Sunken Islands of the Mid-Pacific mountains // *Geol. Soc. Amer. Mem.* 1956. N 64. P. 1-97.
22. Heezen B.C., MacGregor I.D. et al. Site reports // Heezen B.C., MacGregor I.D. et al. Initial reports of the DSDP. Wash. (D.C.): Gov. print. off. 1973. V. 20. P. 3-102.
23. Koppers A.A.P., Staudigel H., Wijlbrans J.R., Pringle M.S. The Magellan seamount trail: implication for Cretaceous hotspot volcanism and absolute Pacific plate motion // *Earth and Planet. Sci. Let.* 1998. V. 163. P. 53-68.
24. Lancelot Y., Larson R.L. et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program // Initial reports. 1990. V. 129. 488 p.
25. Premoli S.I., Haggerty J., Rack F. et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program // Initial reports. TX. 1993. V. 144.
26. Rodgers D.A. Analysis of pull-apart basin development produced by en-echelon strike-slip faults // *Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentol.* 1980. V. 4. P. 27-41.
27. Segall P., Pollard D.D. Mechanics of discontinuous faults // *J. Geophys. Res.* 1980. V. 85. P. 4337-4350.
28. Smoot N.C. The Marcus-Wake seamounts and guyots as paleofracture indicators and their relation to the Datton Ridge // *Mar. Geol.* 1989. V. 88. P. 117-131.
29. Smoot N.C. Orthogonal intersections of megatrends in the Western Pacific ocean basin: a case study of the Mid-Pacific mountains // *Geomorph.* 1999. V. 30. P. 323-356.
30. Turcotte D.L. Membrane Tectonics // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 1974. V. 36. N 1. P. 33-42.

*Поступила в редакцию 31 января 2006 г.*

*Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем*

*V. P. Utkin, A. I. Khanchuk, E. V. Mikhailik, L. B. Khershberg*

### **Structural dynamic conditions of the formation of guyots of the Magellan Seamounts (Pacific Ocean)**

The tectonic infrastructure of the Magellan Seamounts and the role of structural dynamic factors for guyots' formation are recognized by the method of morphogenetic analogies between deformations of the continental and oceanic crust. The following features are established: (1) the formation of both individual guyots, their groups, and the entire system was mainly governed by different-rank hierarchic strike-slip deformations manifested in plicative (folds) and disjunctive (strike-slip faults, tension duplexes) forms; (2) the entire ensemble of strike-slip deformations developed at different hierarchic levels under meridional compression of the oceanic lithosphere. The assumption is made that the Pacific intra-oceanic volcanic belts stretching for thousands of kilometers were formed just like the Magellan Seamounts under the same strike-slip geodynamical regime.

**Key words:** Magellan Seamounts, guyot, structural dynamic factor, meridional compression of the lithosphere, strike-slip fault, structural paragenesis, brachyanticline, decompression cryptochamber.