

УДК 551.763(265)

О ВУЛКАНИЗМЕ И ТЕКТЕНИКЕ В ЭВОЛЮЦИИ ГАЙОТОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР (ТИХИЙ ОКЕАН)

© 2024 г. С. П. Плетнев*, В. Т. Съедин

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

**e-mail: pletnev@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 13.12.2022 г.

После доработки 18.01.2023 г.

Принята к публикации 16.02.2023 г.

Настоящая статья посвящена анализу оригинальных геологических материалов по подводной гряде гайотов Магеллановых гор в Тихом океане, полученных авторами в многочисленных рейсах научно-исследовательского судна (НИС) «Геленджик». Цепь гайотов Магеллановых гор не имеет единого вулканического цоколя и сформировалась в среднем мелу (поздний баррем — апт) на древнейшем среднеюрском фрагменте тихоокеанской плиты. Основные точки зрения на генезис Магеллановых гор сводятся к следующему: либо они возникли на месте пересечения трансформных глубинных разломов, либо они перемещены тихоокеанской плитой из южного полушария к их современному положению. Ввиду высокой изученности Магеллановы горы являются одним из ключевых объектов для понимания механизма происхождения линейных вулканических структур в океане. Комплексный анализ новых геологических данных по Магеллановым горам позволил установить важную роль магматизма и тектоники в становлении морфологического облика гайотов и влиянии этих факторов на палеосреду. Сквозной характер этих процессов от раннего мела до позднего кайнозоя прослеживается в цикличности осадконакопления, перманентном росте рудных корок и наличии разновозрастных генераций вторичных вулканических образований в кайнозое.

Ключевые слова: гайоты, вулканические и тектонические комплексы, К-Аг и Аг-Аг-возраст, Магеллановы горы

DOI: 10.31857/S0030157424010058, **EDN:** EPATAT

ВВЕДЕНИЕ

Магеллановы горы — дугообразная цепь подводных вулканических гор длиной более чем 1300 км делит Восточно-Марианскую котловину на впадины Пигафетта и Сайпан. На юго-востоке они граничат с поднятиями Маршалловых и Больших Каролинских островов, а на западе — с Марианской системой желобов. Обычно в гряде Магеллановых гор выделяют Западное и Восточное звено (рис. 1). Ряд исследователей считает, что первоначально Магеллановы горы сформировались на 20–30° ю.ш. на подводном плато Он-тонг-Ява в горячей точке SOPITA (South Pacific Isotopic and Thermal Anomaly) и затем были перемещены тихоокеанской плитой в место их современного расположения [9, 27]. Другие полагают, что они образовались на месте пересечения глубинных разломов в результате сдвиговых деформаций [20, 21] или иных тектонических растяжений земной коры при движении плиты [17, 18, 34, 35]. Время образования Магеллановых гор дати-

руют широким возрастным интервалом от поздней юры до раннего мела включительно [5, 8, 27]. Все эти гипотезы объединяет то, что они базируются преимущественно на геофизических данных и сведениях о рельефе дна и мало аргументированы прямыми геологическими данными по самим гайотам.

Начиная с 80-х годов прошлого столетия Магеллановы горы становятся объектом непрерывных геолого-геофизических исследований [1, 5, 6, 10, 22, 25, 32, 33]. Прежде всего, это связано с тем, что дно Восточно-Марианской котловины оказалось наиболее древним (среднеюрским) участком земной коры в современном Мировом океане [23]. Практический же интерес к ним со стороны Южной Кореи, Китая, России и США вызван открытием промышленных запасов кобальта, марганца и др., обнаруженных в рудных корках на поверхности гайотов Магеллановых гор [12]. Глубоководное бурение гор проведено только на вершине гайота Ита-Май-Тай (200–202 DSDP), и все скважины вскрыли разрез карбонатных осадочных

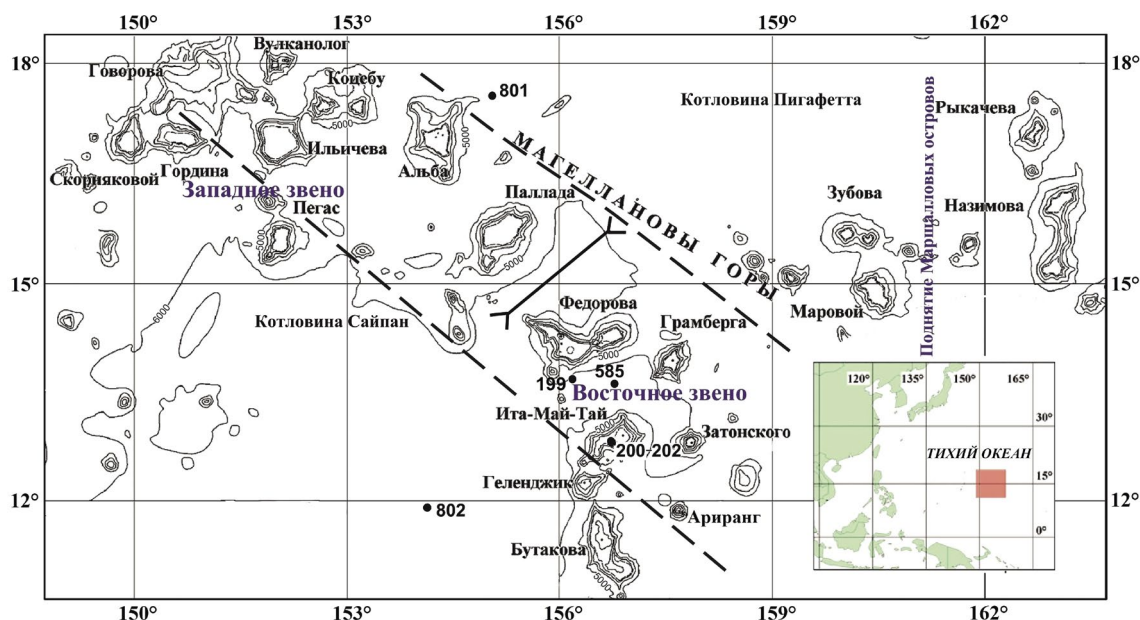


Рис. 1. Батиметрическая карта (1:5000000) Марианского бассейна, цепь гайотов Магеллановых гор и сопредельные районы.

пород эоцен–плейстоценового возраста. Глубоководные скважины бурения также были заложены в соседних котловинах Сайпан (199, 585 DSDP и 802 ODP) [25, 26, 32] и Пигафетта (800 и 801 ODP) [22, 23, 28, 34]. Бурение скв. 800А в точке с координатами 21°92.3 с.ш. и 152°32.2 в.д. в северо-западной части впадины Пигафетта было остановлено в меловом силле (апт?) базальтов, залегающем в толще радиоляритов берриасского возраста. Сква. 801С вскрыт 2-й слой океанической коры с возрастом 171.5 ± 1.15 млн лет (байос), представленный афировыми и порфировыми базальтами [28]. Позднее дополнительное бурение скв. 801С в 185-ом рейсе ODP вскрыло еще 341 м породы базальтового слоя, нижние 136 м из которых представлены переслаивающимися с пиллоу-базальтами темно-красными яшмами, кремнями и перекристаллизованными радиоляриевыми известняками среднеюрского возраста (байосс) [23]. Это наиболее полный геологический разрез в Мировом океане, отражающий его раннюю и длительную историю.

Большой вклад в изучение геологии данного региона внесли многолетние исследования АО «Южморгеология» [5, 10]. В многочисленных экспедициях с борта НИС «Геленджик» были получены кондиционные батиметрические карты на отдельные гайоты, собраны коллекции магматических, осадочных пород и кобальтомарганцевых корок. Анализ полученных материалов позволил обоснованно принять или отклонить ряд положений из предлагаемых ранее гипотез по происхождению Магеллановых гор. Вместе с тем такие вопросы, как соотношение тектони-

ческого и вулканического факторов, влияния их на рельеф и условия седиментации в исследуемом районе остаются еще мало изученными.

МЕТОДИКА

С борта НИС «Геленджик» АО «Южморгеология» выполнялись комплексные работы: батиметрическая съемка; геоакустическое, магнитное, гравиметрическое и фототелевизионное профилирование дна [6, 10]. С 2000 по 2018 гг. проведено 11 рейсов, направленных на выявление перспектив кобальтоносного железомарганцевого оруденения, в ходе которых на всех гайотах Магеллановых гор и четырех гайотах сопредельного участка поднятия Маршалловых островов выполнена площадная батиметрическая съемка многолучевым эхолотом Simrad EM12 S-120. Этот эхолот имеет 81 луч и обеспечивает съемку на глубинах от 50 до 11000 м в сплошной полосе максимальной шириной до 3.5 глубин места. Рабочая частота сигнала 13 кГц, электрическая мощность импульса 12 кВ·А. Период излучения выбирается эхолотом от 9 до 13°с автоматически, по мере завершения цикла обработки принятых сигналов. При проведении съемки гайоты вначале обходились по периметру с целью отслеживания подножья. В дальнейшем положение профилей выбиралось с обеспечением перекрытия полос съемки в 10–15%. В результате батиметрической съемки для каждого из гайотов получены кондиционные карты рельефа дна масштаба 1:200000, а также карты амплитуд обратно рассеянного сигнала

эхолота (сонарные изображения), теневые карты рельефа и карты уклонов дна, построенные на основе сеточных файлов с шагом 200×200 м. Изобаты на батиметрических картах проведены через 25 м. На отдельные участки дна получены карты масштаба 1:50000 и крупнее, на которых проведены более детальные геологические работы [6, 12].

Сбор каменного материала осуществлялся скальными коробчатыми драгами и бурением неглубоких скважин погружной буровой установкой ГБУ1/40002 конструкции НПП «Севморгео». Выполнен биостратиграфический анализ осадочных пород, в которых определены ископаемые мел-кайнозойские фораминиферы, наннопланктон, кораллы, малакофауны, белемниты и др. [6, 15]. Палеонтологический анализ в сочетании с другими методами позволили расчленить осадочные толщи на литостратиграфические горизонты по отдельным гайотам, увязать их во времени с единой геохронологической шкалой и выделить палеогеографические этапы развития Магеллановых гор.

КРАТКИЙ ОБЗОР ТЕКТОНИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПО ИССЛЕДУЕМОМУ РАЙОНУ

Подводная вулканическая гряда Магеллановых гор не имеет общего цоколя, а сами гайоты разделены межгорными глубокими впадинами. Дно сопредельных абиссальных котловин Сайпан и Пигафетта формировалось со средней юры в ходе сдвига-надвиговых процессов или рассеянного спрединга и является наиболее древним участком океанической коры с возрастом 150–170 млн лет [23, 29]. Цепь Магеллановых гор приурочена к субширотной разломной зоне Огасавара, которая может быть древней рифтовой долиной [23]. Она имеет ширину до 150 км и отчетливо выраженные борта. Возраст абиссальной плиты к югу от разломной зоны Огасавара в котловине Сайпан — позднеюрский (скв. 802 ODP), а к северу в котловине Пигафетта — среднеюрский (скв. 801 ODP). В этом контексте Магеллановы горы можно рассматривать как более молодую, наложенную структуру.

Временной этап становления структур Магеллановых гор определяется по-разному. Ряд исследователей считает, что он пришелся на границу юры и мела [5]. По другим источникам это происходило на рубеже готерива—баррема [3] или в апт—альбское время [27]. Их возраст по палеомагнитным данным оценивается интервалом 129–72 млн лет [29, 34]. Новые изотопные датировки магматических пород показали, что гайоты Альба, Говорова и Коцебу могли начать свой рост со среднего мела (поздний баррем) [31]. Это хоро-

шо согласуется с вышеуказанными палеомагнитными данными и указывает, что вулканический пьедестал и цоколь сформировались за достаточное короткое время.

Первоначально предполагалось, что формирование внутриплитовых вулканических гор связано с активизацией тектонической и вулканической деятельности на рубеже юры и мела, в процессе которой развивались многочисленные линейные разрывные нарушения [8]. Разломы, выделяемые по осям отрицательных магнитных аномалий, рассматривались как зоны дробления и гидротермальной проработки магматических пород. Горизонтальное смещение блоков океанской плиты по разломной зоне Огасавара составляет около 500 км, что позволяет говорить о трансформной природе этой зоны [3].

Согласно А. Копперсу с соавторами [27], Магеллановы горы возникли в результате прохождения тихоокеанской плиты над горячей точкой SOPITA, в результате чего образовалась цепочка гор, возраст которых нарастает с востока на запад. Эти же авторы в пределах Магеллановых гор выделяют, по крайней мере, две возрастные цепи. Первая — гайот Скорняковой (МА-10) — гайот Федорова (ИОАХ) и на отрезке Альба (Влиндер) — Федорова ими датируется альбом—коньяком. Вторая, приуроченная к гайотам Ита-Май-Тай — Геленджик (МЖ-376) и более южным гайотам, датируется аптом. Такое нелогичное распределение возрастов для тектоники плит заставляет цитируемых авторов предполагать происхождение второго участка от иной «горячей» точки. Близкие воззрения, основанные на положениях глобальной тектоники и дрейфа от точки SOPITA, высказывались и другими исследователями [3, 9, 17, 18].

Смут Н. [36] выдвинул гипотезу мегатрендов, являющихся зонами разгрузки напряжений на земной поверхности и представленных комбинациями разломных зон, линейных поднятий и подводных гор, нередко протягивающихся через весь океан. По его мнению активное извержение магм в меловой период создало многие вулканические плато и поднятия Тихого океана. Исходя из этих представлений, находящееся к северу от района Магеллановых гор поднятие Маркус-Уэйк находится на пересечении мегатрендов Маршалла—Гилберта и Мендосино—Сервейер [36]. Поднятие Маршалловых островов лежит в зоне мегатренда Маршалла—Гилберта, а Магеллановы горы находятся за пределами мегатрендов и являются опережающей структурой этого мегатренда. Механизм мегатрендов связан с дроблением океанических плит в зонах с наибольшей кривизной поверхности Земли.

Согласно Уткину В.П. с соавторами [20], в происхождении гайотов Магеллановых гор

определяющую роль играли сдвиговые дислокации различных рангов, закономерно подчиненных и проявленных в пликативных и дизъюнктивных формах. Они подразделяют всю цепь Магеллановых гор на широтные ареалы, считая их антиклинальными сводами. По-нашему мнению, авторами проигнорирована меридиональная составляющая структур, наиболее отчетливо выраженная в рельефе. Кроме того, в желании все поделить на широтные участки, авторы разделяют гайоты Ита-Май-Тай и Геленджик, образующие единый вулканотектонический массив, а также игнорируют единую меридиональную структуру гг. Федорова — Ита-Май-Тай — Геленджик — Бутакова и, напротив, выделяют структуру явно более низкого ранга Ита-Май-Тай — Затонского.

С позиции Гаврилова А.А. [4] Магеллановы горы рассматриваются как часть кольцевой мегаструктуры центрального типа, в которой западное звено формирует север кольца, восточное — восток. Механизм формирования таких структур обычно связывают с явлениями мантийного дипиризма.

Проведенный анализ показал, что нет общей точки зрения на происхождение Магеллановых гор, хотя наметилась тенденция понимания важности роли тектонического фактора в этом процессе. Ниже рассмотрены примеры отражения тектонических и вулканических событий на рельеф и условия седиментации исследуемого района.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рельеф. До недавнего времени было принято считать, что основные морфологические черты гайотов Магеллановых гор были сформированы в позднем мелу в результате магматической деятельности [5, 13]. Однако среднемасштабная батиметрическая съемка дна (1:200000) заставила пересмотреть эти взгляды, так как выявила многообразие форм кайнозойского мезорельефа [10, 12]. Участие тектонического фактора, помимо вулканизма, в образовании Магеллановых гор прослеживается уже на уровне их пространственного положения. Прежде всего, цепь Магеллановых гор состоит из двух крупных звеньев — Западного и Восточного. Оба звена обладают различной линейной направленностью главных структур, а также каждое из них отличается своими морфологическими характеристиками. Граница между ними проходит по линии между гайотами Федорова и Паллада, соединяя впадины Пигафетта на северо-востоке и Сайпан на юго-западе (см. рис. 1). Западное звено в целом имеет субмеридиональную ориентацию, простираясь от 149° до 155° в.д. и от 15° до 19° с.ш. Гайоты Западного звена, включая Говорова, Гордина,

Скорняковой, Ильичева, Коцебу и Вулканолог, образуют единый вулканотектонический массив в пределах изобат от 5500 до 4700 м. В этом звене выделяются три субширотных линии, по которым группируются основные горные сооружения (см. рис. 1). Северная объединяет гайоты Говорова, Вулканолог и Коцебу, на центральной лежат гайоты Скорняковой, Гордина, Ильичева и Альба, к южной можно отнести гайоты Пегас и Паллада. Восточное звено ориентировано меридионально и заключено между 155°30' — 158°00' в.д. и 10°30' — 14°30' с.ш. (см. рис. 1). Оно включает гайоты (с севера на юг) Федорова, Ита-Май-Тай, Геленджик, Бутакова, Грамберга, Затонского и Ариранг. Конечно, такое географическое районирование гайотов носит условный характер, и могут быть предложены другие варианты.

Все гайоты цепи можно условно разделить на две группы по морфологическим характеристикам. В первую входят относительно простые структуры, в целом соответствующие классическим представлениям о гайотах (округлые основания, хорошо выраженные вершинные плато, покрытые чехлом осадков, выпукло-вогнутый профиль склонов). Ко второй группе относятся гайоты (Альба, Говорова, Коцебу) с неправильными угловатыми очертаниями, нередко с входящими углами, осложненными многочисленными сателлитными постройками и отрогами. Гайоты первой группы, главным образом, находятся в Западном звене, а гайоты второй группы преимущественно образуют Восточное звено.

Новые данные по гравиметрии и магнитометрии [21] доказывают, что современная земная кора в районе Магеллановых гор разбита сетью глубоких разломов субширотных и субмеридиональных направлений и ее основные векторы хорошо согласуются с планетарной регматической сетью [1, 27]. В качестве наиболее ярких примеров наличия системы разломов широтного направления можно привести северные и южные склоны гайотов Федорова, Пегас, Ильичева и Паллада. Также можно отметить восточные отроги гайотов Грамберга и Ита-Май-Тай. В некоторых случаях системы вулканических осложняющих построек группируются в линеаменты субширотного простирания. Такая ситуация отмечена в пределах южного купола гайота Бутакова. Меридиональная система в рельефе прослеживается наиболее ярко на западных и восточных склонах гайотов Бутакова, Альба, Пегас и Ильичева.

Среди мезоформ встречаются отроги, вулканические постройки, террасы, уступы, радиальные грабены, ложбины и др. Наиболее широко развиты вторичные вулканические постройки, представленные конусами и куполами. У первых развита пикообразная вершина, у вторых — вершина сглаженная, более пологая, чем склоны. Формы

оснований и тех, и других чаще округлые. Поперечные размеры основания конусов и куполов изменяются в весьма широких пределах — от первых сотен метров до 10 км. Вместе с тем доминируют постройки (83%) с поперечными размерами основания в интервале 1.0–2.5 км и площадями — 1–6 км². Относительная высота конусов варьирует от 100 до 650 м, а куполов — от 50 до 400 м. Вулканические постройки могут присутствовать на гайотах в большом количестве — несколько десятков и даже более сотни на одном гайоте. Наиболее широко конусы и купола развиты в Западном звене на крупных гайотах Говорова и Коцебу (22 построек на 1 тыс. км²). С другой стороны, частота встречаемости на гайотах Грамберга, Ильичева, Затонского составляет менее 3 построек на 1 тыс. км². Проведение детальной батиметрической съемки (1:50 000) отдельных гайотов позволило выявить еще большую интенсивность развития подобных форм на единицу площади.

Купола и конусы могут преобладать на склонах или отрогах, но чаще они покрывают вершинные плато. Группа из пяти конусов локализована на плато гайота Альба [12]. Крупнейший из них расположен ближе к северо-восточному отрогу, имеет диаметр основания 5.1 км, а высоту около 750 м (рис. 2). Над ним зафиксирована и минимальная отметка над гайотом — 551 м. Геологическое опробование поверхностей конусов не оставляет сомнения в их вулканическом происхождении, поскольку они сложены щелочными базальтоидами, их туфами и туффитами. Геологический возраст структур был определен как среднемиоценовый на основе К-Аг и биостратиграфического метода [12]. Следует добавить, что конуса попарно расположены на продолжении сбросов — уступов, ограничивающих локализованный на северном склоне гайота радиальный грабен (см. рис. 2). Это, с одной стороны, позволяет предположить, что они образуют единую систему, а с другой — вероятно, и образование грабена можно датировать средним миоценом. На гайоте Говорова выделен протяженный линейный элемент, представляющий собой цепочку, более 30 км, вулканических конусов и куполов, вытянутую вдоль северо-восточной бровки вершинного плато [12].

Сателлитные постройки с диаметром основания до первых десятков километров весьма характерны для больших гайотов Магеллановых гор (Паллада, Альба, Федорова и др.). По морфологии они могут также иметь островершинную, выровненную или куполовидную форму. Своеобразное строение имеет как сам гайот Вулканолог, так и его сателлиты. Вытянутые и протяженные отроги придают основной постройке вид усеченной четырехгранной пирамиды. В форме трехгранных пирамидальных построек представлены и два его

сателлита, расположенные к востоку и юго-западу от центрального массива. В генетическом отношении ряд сателлитных построек на гайотах Говорова, Альба могут рассматриваться как тектонические отторженцы [27].

На тектоническую активность в кайнозое указывает и наличие радиальных грабенов, представляющих структуры «проседания». Такие структуры образованы за счет сползания блоков с краевых участков вершинного плато. На участках склонов внутри грабенов, представляющих собой зеркала скольжения, обнажаются относительно древние породы — меловые базальты и рифогенные известняки. Пример радиального грабена показан на северном склоне гайота Альба (см. рис. 2). Образование подобных структур связывают с интрузивной фазой развития, когда в тело гайотов внедряются лакколиты [37]. На гайотах Бутакова и Гордина отмечены комбинации радиальных грабенов, протягивающихся вдоль бровки вершины на 12–22 км. Более полная характеристика мезоформ на гайотах Магеллановых гор нами дана ранее [6, 12].

Магматические породы. Выделение последовательности вулканических комплексов Магеллановых гор позволило установить: иерархическую соподчиненность в структуре гайотов, время их формирования и место каждого в глобальной шкале палеогеографических событий. На основе анализа данных по радиоизотопному датированию (107 определений К-Аг и Аг-Аг) (рис. 3) магматических и осадочных пород и материалов глубоководного бурения нами на гайотах Магеллановых гор выделены 5 крупных возрастных вулканических комплексов: 1) позднеюрско–раннемеловой (160–140 млн лет назад?); 2) раннемеловой (поздний баррем (?) — апт–альбский — 127–96 млн лет назад); 3) позднемеловой (позднесеноман (?) — турон–раннекампанский — 95–76 млн лет назад); 4) позднемеловой (позднекампан–маастрихский — 74–66 млн лет назад); 5) Кайнозойский (66 млн лет назад — ныне) [19]. Каждый из них по времени соответствует определенному временному этапу эволюции Магеллановых гор и занимает структурную нишу в строении гайотов (пьедестал, цоколь, вторичные купола и конуса). Наиболее древний комплекс пока датирован условно ввиду отсутствия геологического материала. Его время оценивается косвенно, исходя из общих региональных представлений. Скв. 801 ODP в соседней котловине Пигафетта вскрыты снизу вверх: толеитовые базальты среднеюрского (171.5 ± 1.15 млн лет назад) возраста; щелочные силлы позднеюрского (157.4 ± 0.5 млн лет назад) и вулканокластические турбидиты апт–раннесеноманского возраста [23, 33]. Первая дата отражает возраст абиссальной плиты, где на месте будущих Магеллановых гор вплоть

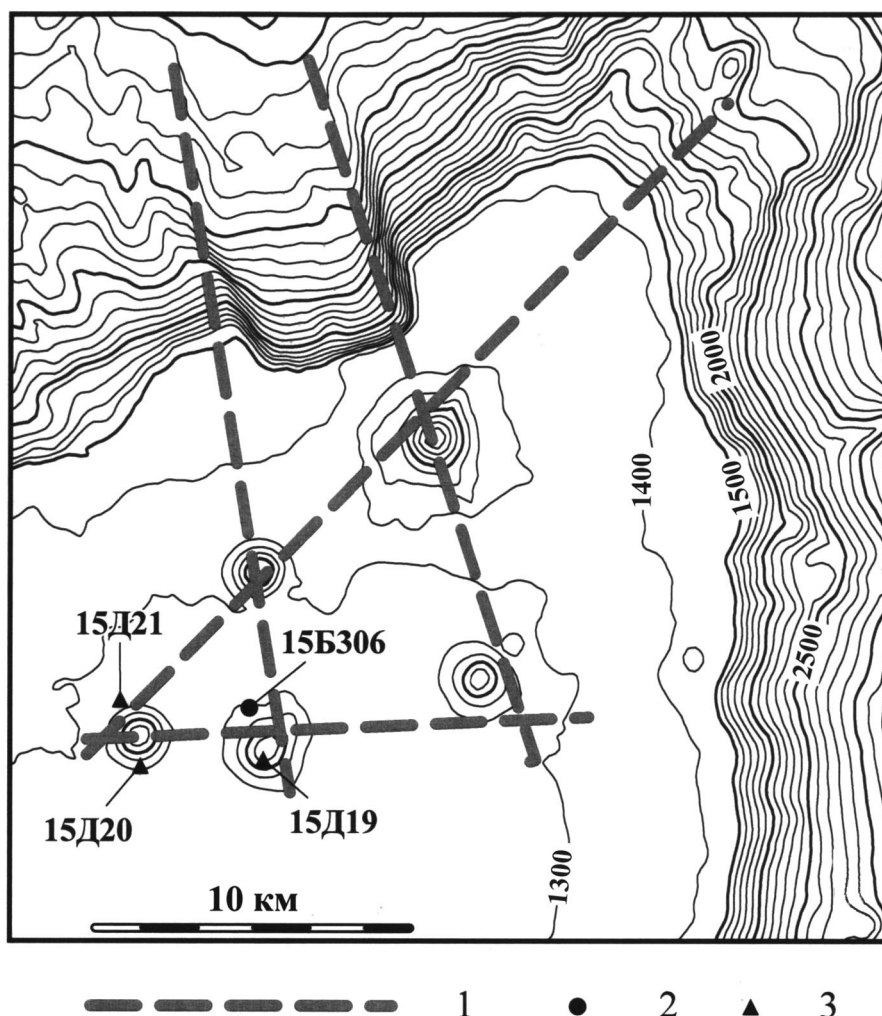


Рис. 2. Группа вулканических конусов на вершинном плато гайота Альба.

до аптского времени преимущественно накапливались красные глубоководные глины.

Первый комплекс формирует нижнюю часть основания гайота, которая возвышается над дном почти на 2000 м. Вероятно, он сложен дифференцированными толеитами гавайского типа. Наиболее древние магматические породы на гайотах Альба, Говорова и Коцебу датированы в интервале 127–124 млн лет назад (поздний баррем — начало апта) [31]. Вулканиды 2-го комплекса залегают на 1500 м выше первого комплекса и образуют основное тело гайотов. Они представлены разнообразными субщелочными и щелочными базальтами. Вулканиды 3-го комплекса сформированы достаточно выдержанными по минералогическим и химическим особенностям породами, которые относятся к формационно-геохимическому типу вулканитов океанических островов и поднятий вулканического происхождения [6]. Большая его надводная часть, по-видимому, была разрушена

последующей абразией и денудацией. В пользу этого указывает то, что наибольшее количество каменного материала было поднято со склонов подводных гор.

Образования 4 и 5-го вулканических комплексов — вторичные вулканические купола и конуса, которые осложняют поверхность гайотов. Они возникли в самом конце мела и кайнозое во время очередных тектономагматических активизаций (см. рис. 3). Японские исследователи происхождения таких вулканических «petit-spot» структур связывают с разломами, возникающими при погружении плиты в желоб [24]. Проведенный нами анализ площадного распределения вулканических мезоформ на гайотах Магеллановых гор и поднятия Маршалловых о-вов показал, что на разноталенных от желоба гайотах Говорова и Рыкачева (см. рис. 1) их самая высокая плотность составляет 22.1 ед./тыс. км² и 23.8 ед./тыс. км² соответственно. А на ряде гайотов отмечается

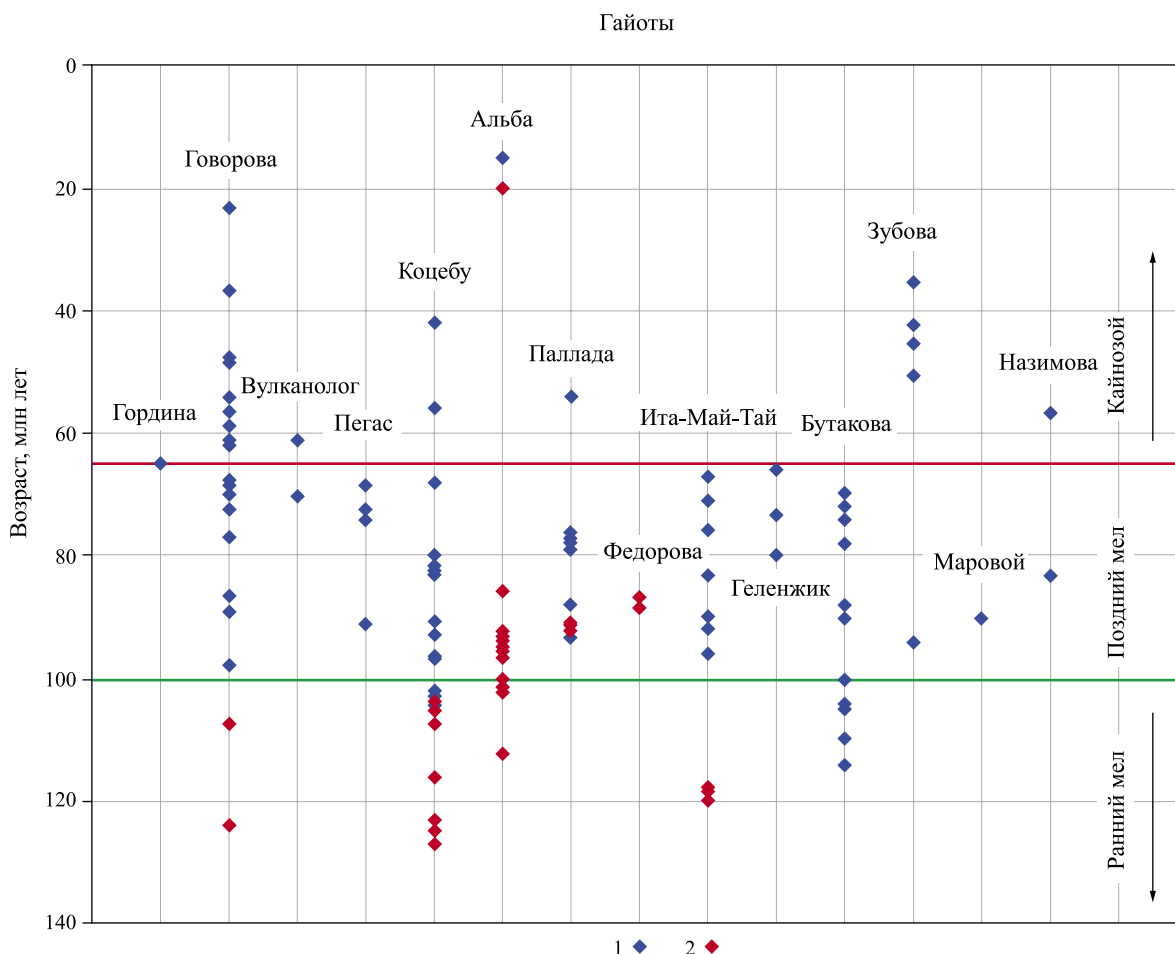


Рис. 3. Время проявления вулканизма на гайотах Магеллановых гор [19].

низкая плотность таких построек: Ита-Май-Тай — 5 ед./тыс. км², Ильичева — 3 ед./тыс. км² и Грамберга — 1.5 ед./тыс. км². Таким образом, не отмечено какой-либо линейно-возрастной упорядоченности с запада на восток [6]. В кайнозой нами отмечены эоценовые и неогеновые генерации вторичных вулканических структур. Мы полагаем, что образование вулканических конусов и куполов отражают самостоятельный вулканотектонический этап всей цепи Магеллановых гор.

Эруптивная деятельность приводила к росту горных сооружений и определяла «регрессивный» характер осадконакопления в исследуемом районе. Эвстатические колебания уровня океана усиливали или ослабляли эти процессы. Например, первая позднемеловая трансгрессия достигала своей кульминации в туронское время, когда уровень моря в эпиконтинентальных бассейнах поднимался на 150–200 м [30]. На Магеллановых горах в это же время фиксируется регрессивная фаза осадконакопления за счет вулканизма (3-ий вулканический комплекс) [19].

Осадочные породы. Осадочный чехол наиболее изучен на гайотах Федорова, Ита-Май-Тай, Геленджик, Бутакова, Говорова и Альба. Строение осадочных разрезов Западного и Восточного звена имеет сходные возрастные комплексы и близкий набор литологических пород в них. На основе биостратиграфического анализа выделены следующие возрастные комплексы: апт — сеноман, сантон — маастрихт и поздний палеоцен — эоцен [6, 15]. Венчают геологический разрез нелитифицированные осадки неоген—четвертичного возраста. В олигоцене — раннем миоцене (?) отмечен региональный стратиграфический перерыв осадконакопления (рис. 4).

В основании осадочного чехла залегают рифогенные известняки и мелководные терригенные породы апт—альбского возраста [16]. Они занимают верхнее плато гайотов и их периферию. Глубже, до изобат 2000–3000 м, залегают позднемеловые и палеогеновые (нанофораминиферовые) известняки и эдафогенные брекчии. Еще ниже по склону они сменяются различными обломочными отложениями, размерность которых уменьшается вниз к подножию гайотов.

На основе соотношения представителей мелководной макрофауны (кораллы, морские ежи и др.) и планктонных фораминифер установлены «регрессивные» и «трансгрессивные» фазы развития гайотов Магеллановых гор, которые нашли свое отражение в цикличности формирования осадочных пород. Трансгрессии (поздний альб — сеноман, поздний кампан — средний маастрихт,

начало раннего эоцена, олигоцен, поздний кайнозой) и регрессии (апт, коньяк — сантон, поздний маастрихт — ранний палеоцен) контролировали темпы и характер седиментации. В регрессивные эпохи расширяются площади мелководного осадконакопления, а в мелу возникают даже перерывы седиментации. Появление меловых пелагических известняков на гайотах связано с резким повыше-

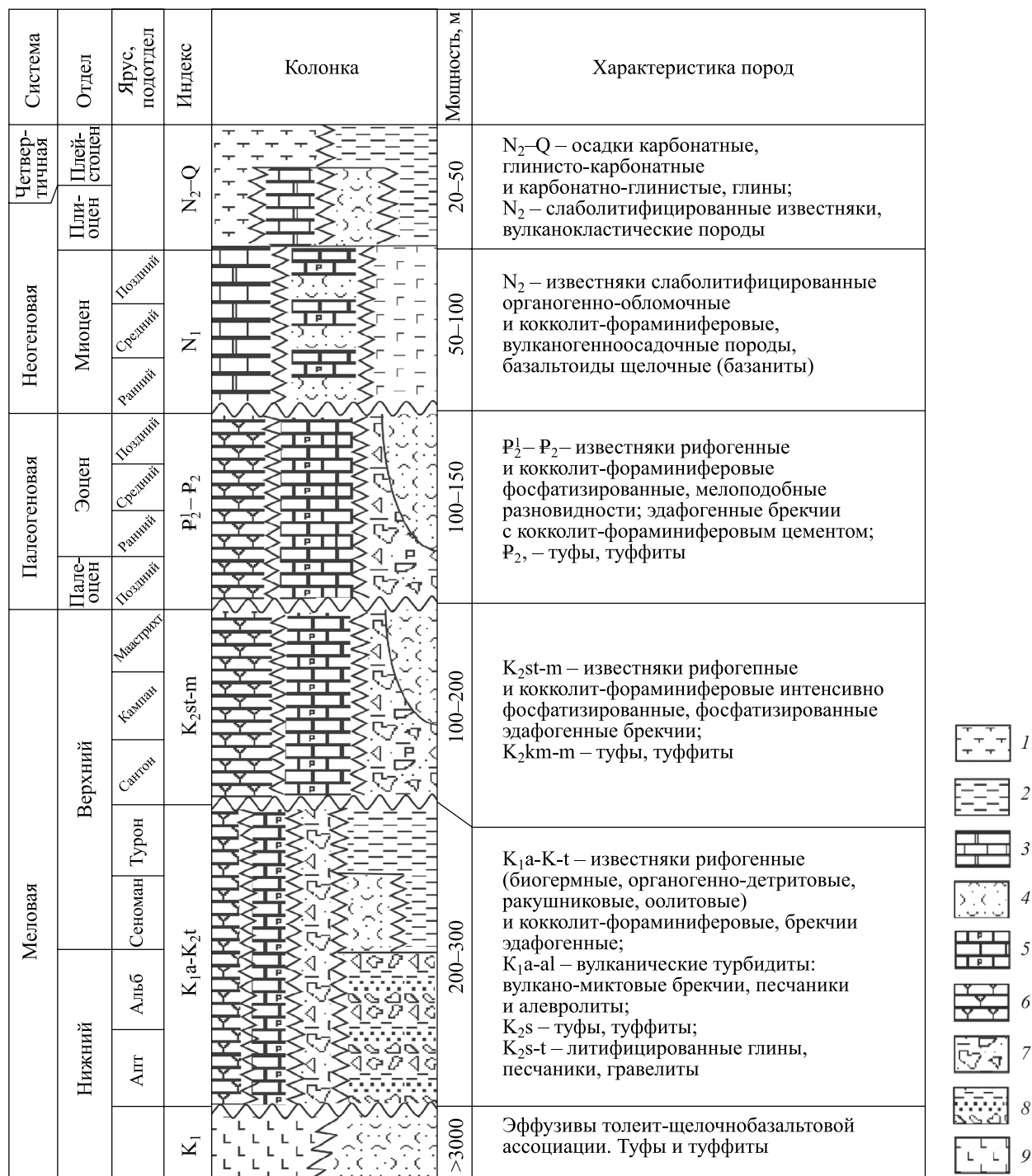


Рис. 4. Сводный геологический разрез гайотов Федорова и Бутакова.

нием уровня океана во время эвстатических (позднеальб—сеноманской и позднекампан—маастрихтской) трансгрессий. Повышением уровня океана в это время на 150–200 м вызвало затопление пониженных участков рифов надводных гор и усилило вынос мелководных отложений в соседние глубоководные котловины. В раннем палеогене происходит незначительное опускание гайотов, и только в олигоцене они погружаются на 1000–1500 м.

Значительный объем работ был выполнен по определению возраста отдельных слоев в разрезах рудных корок Магеллановых гор на основе планктонных фораминифер [11]. Показано, что развитие корок — процесс длительный (поздний мел — плейстоцен) и дискретный во времени: периоды формирования слоев разделены перерывами протяженностью несколько миллионов лет. Наиболее длительный перерыв роста корок отмечен в олигоцене и раннем миоцене. Отмечается выдержанность единого временного разреза корок не только в пределах Магеллановых гор, но и на соседних гайотах поднятий Маркус-Уэйк, Уэйк-Неккер и Маршалловых островов [11]. Это позволяет сделать важный вывод о стадийности процесса роста рудных корок в исследуемом регионе. Время активного роста рудных корок в мелу и палеогене хорошо совпадает с «трансгрессивными» фазами развития гайотов. Примечательно, что рудогенез корок происходил в совершенно разных океанологических обстановках — «теплого» позднего мела и относительно «холодного» позднего кайнозоя. Гайоты одновременно испытали вертикальное смещение, вызванное изостатическим и тектоническим оседанием, которое подвергло их воздействию водных масс, имеющих различный химический состав. Тем не менее это не повлияло на прекращение процессов рудогенеза на подводных горах. Возможными триггерами возобновления роста Co-Mn корок могли быть глубинные эндогенное тепло и газеохимические потоки, которые путем сложного взаимодействия океанологических и биологических процессов создавали в экосистемах над гайотами благоприятные условия для рудогенеза коркового типа.

Анализ показательных видов планктонных фораминифер в осадочных разрезах отдельных гайотов Магеллановых гор показал, что в ископаемой фауне подтверждена почти полная последовательность смен субглобальных биозон по данной ископаемой группе для позднего палеоцена — эоцена и позднего миоцена — плейстоцена [6]. Однако эта общая последовательность может нарушаться при сравнении локальных биозон двух соседних гайотов. С одной стороны, эти факты свидетельствуют, что седиментация пелагических осадков с позднего палеоцена была устойчивой, за исключением олигоценового перерыва. С другой стороны, диахронность границ кратковременных перерывов осадконакопления указывает, что

особенности рельефа и своеобразие придонной гидродинамики на каждом из гайотов могли нарушать единую пространственно-временную модель осадконакопления на Магеллановых горах.

ОБСУЖДЕНИЕ

До сих пор нет единого мнения в вопросе генезиса линейных вулканических цепей на океанических плитах, хотя и имеются различные модели их образования (см. выше). Гипотеза «горячих точек» подкупает, на первый взгляд, своей стройностью, но полученные нами геологические данные по Магеллановым горам противоречат ряду ее положений. Во-первых, это рассогласованность биостратиграфических и радиоизотопных определений возраста горных пород. Парадоксально, но по органическим остаткам осадконакопление на ряде гайотов Федорова, Бутакова, Паллада началось раньше, чем формирование их вулканического цоколя [6]. Во-вторых, начало мелководной седиментации в апте—альбе фиксируется одновременно на гайотах как Западного, так и Восточного звена, то есть отсутствует линейный тренд увеличения возраста гайотов с востока на запад. Нет и предполагаемой тенденции к заглублению вершин гайотов по мере остывания (опускания) и продвижения океанской плиты в западном направлении. Напротив, мы видим последовательное увеличение глубин вершин плато гайотов Восточного звена с севера на юг: бровка плато г. Федорова на западной вершине расположена на глубине 1800 м, г. Ита-Май-Тай — 2000 м, г. Геленджик — 2100 м и г. Бутакова — 2650 м.

Поэтому неслучайно в последние годы вновь вернулись к идеям Белоусова В.И. [2], что формирование линейных цепей подводных гор возможно связано с глубинной разломной тектоникой. Появление горных сооружений Магеллановых гор могло быть обусловлено взаимодействием тектонических подвижек (вертикальных и горизонтальных) вдоль разрывных нарушений и внутриплитового магматизма вдоль зон повышенной проницаемости. Здесь главным энергетическим источником горообразования выступает уже не стационарный мантийный очаг, а пульсирующий поток тепловой энергии и магмы через реактивацию глубоких тектонических трещин. Образование тектонических трещин связывают, в основном, с деформацией океанической коры, в которой создаются зоны сжатия и растяжения [17, 35]. Подводные горы и разделяющие их межгорные котловины рассматриваются как результат компенсации тектонических напряжений в океанической коре.

Принято считать, что главным горообразующим фактором формирования гайотов Магеллановых гор был вулканизм [13]. Однако ряд исследователей признавал значительную роль и тектоники [7,

35, 36]. Так, Смут Н. [36] полагает, что тектонические процессы являлись факторами образования глобальных структур, в то время как появление отдельных подводных гор было результатом вулканических излияний. Морфологические различия Западного и Восточного звена позволяют их считать в качестве самостоятельных тектонических структур. Средне- и крупномасштабные съемки рельефа показали, что очертания многих гайотов Магеллановых гор являются не округлыми, а угловатыми, и направление изобат на отрезках между перегибами склонов преимущественно линейное [1, 6]. В дополнение, вторичные вулканические образования часто образуют цепи, вытянутые вдоль линейных разрывных нарушений (см. раздел рельеф). Приведенные нами примеры на разном масштабном уровне позволяют рассматривать тектонику как составную часть общего горообразовательного процесса, а отдельные крупные гайоты могут быть приподнятыми блоками океанского дна. Впервые на глыбовую природу гайотов Магеллановых гор указал академик И.П. Герасимов [7]. Позже построение деформационного поля напряжений Петуховым С.И. с соавторами [14] позволило обосновать блоковую модель строения ряда гайотов Западного звена Магеллановых гор. Эти же авторы предполагают, что блоковый подъем происходил по широтным разломным зонам, а снятие напряжений было отмечено меридиональными обрушениями.

Новые данные по изучению осадочных пород показали, что последовательность условий седиментации на Магеллановых горах была не совсем такой, как это представлялось ранее [28, 32, 34]. Судя по нашим палеонтологическим находкам, первые осадочные образования на Магеллановых горах в Западном и Восточном звене начинают формироваться одновременно в мелководной обстановке начиная с аптского времени [6]. К этому времени облик будущих гайотов не только успел оформиться, но и над ними возникли нормальные морские условия для развития биогермов. Колебания уровня моря имели место, однако относительно мелководная среда сохранялась гораздо более долгое время, чем это считалось ранее — возможно, вплоть до среднего эоцена. Этому обстоятельству способствовало широкое развитие в кайнозое вторичных вулканических структур с высотами до 300–500 м. В позднем мелу и начале палеогена палеогеографическая обстановка определялась сложным взаимодействием процессов вулканизма, изменением уровня моря, абразией и рифообрастанием. Смена мелководных на более глубоководные условия за счет эвстатики и вулканизма привела к циклическому накоплению сходных вещественных комплексов пород в геологическом разрезе, представленных чередованием рифогенных и пелагических известняков, эдафогенных брекчий и грубозернистых пород (см. рис. 4). В «регрессивные» эпохи пелагическое осадконакопление в привершин-

ных частях гайота сокращалось или полностью прекращалось. В конце сеномана и туроне активизация вулканизма Магеллановых гор привела к росту горных сооружений и регрессии, хотя в это же время развивалась планетарная трансгрессия [30]. Формирование плосковершинных гор-гайотов происходило в мелу за счет абразии и денудации, а в кайнозое — путем заполнения осадками отрицательных форм рельефа на вершинном плато. Во второй половине палеогена (олигоцене) и раннем миоцене отмечено общее тектоническое погружение гайотов. Верхнемиоценовые комплексы бентосных фораминифер вершинных частей гайотов приобретают экологический облик, близкий современной фауне [6].

Начало «трансгрессивных» фаз развития Магеллановых гор сопровождалось резкими изменениями водной толщи. На сквозной характер этих процессов и охват ими всей океаносферы указывает перманентное нарастание слоев кайнозойского разреза рудных корок на Магеллановых горах, поднятиях Уэйк и Маршалловых островов. Их рост по времени удивительным образом совпадает с началом выделенных нами «трансгрессивных» фаз [11]. Хотя проблема генезиса рудных образований на Магеллановых горах вызывает много споров, но их прерывистый рост определенно как-то связан с возобновлением магматизма и резкой сменой океанологической среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами геологические данные по горным породам позволяют документировать хронологию событий Магеллановых гор только с аптского времени, когда горные сооружения начали выходить из воды и представляли собой архипелаг островов с большим перепадом глубин до дна. Этот вывод хорошо согласуется с данными по радиоизотопным возрастам магматических пород на гайотах Альба, Говорова и Коцебу, среди которых наиболее ранние даты (инт. 127–124 млн лет назад) соответствуют границе позднего баррема и апта [31]. Основные морфологические черты гайотов в апт–альбе уже сформировались, но в процессе дальнейшей седиментации их нижние и средние части были покрыты осадками и стали труднодоступными для методов геологического опробования, кроме бурения. Дно Восточно-Марианской котловины выстилают толеитовые базальты и долериты средней юры во впадине Пигафетта и поздней юры во впадине Сайпан. В среднеюрское–меловое время во впадине Пигафетта преимущественно накапливались биокремнистые глины, и только дважды, в апт–альбское и кампан–маастрихтское время, эта седиментация прерывалась накоплением аллохтонного вулканомиктового материала

с остатками мелководной фауны — как результат выноса продуктов разрушения с гайотов Магеллановых гор за счет денудации и абразии. В позднем барреме — апте в результате сдвига-надвиговой тектоники или рассеянного спрединга на фрагменте старой тихоокеанской плиты вдоль разломной зоны Огасавара формируются вулканические основания и цоколи будущих гайотов Магеллановых гор. В позднем мелу и начале палеогена морфологический облик гайотов определялся сложным взаимодействием процессов вулканизма с изменением уровня моря, процессами абразии и рифообразования. По-видимому, гайоты Магеллановых гор можно рассматривать как вулканотектоническое образование. В пользу это указывает длительная с перерывами созидательная роль вулканизма, который прослежен на хорошо изученных гайотах Альба, Говорова, Бутакова в течение почти 100 млн лет. Тектонические процессы через трещины вызывали оживление подводящих магматических каналов, а в конце мела—кайнозой определили появление на поверхности гайотов новых мезоформ рельефа в виде вулканических конусов и куполов с высотой 300–500 м, террас, уступов и радиальных грабен. Возобновление вулканизма на Магеллановых горах нашло свое отражение в циклическом строении осадочного чехла, лито- и биостратиграфических перерывах и дискретном нарастании рудных корок.

Дальнейшие исследования могут внести коррективы в представленный сценарий развития Магеллановых гор. Гальмиролиз вызывает вторичные изменения магматических пород, что часто приводит к искажению изотопных сигналов и истинного возраста образца. Полнота геологических разрезов определяется частотой и доступностью драгирования и в нашем случае не исключает стратиграфических пропусков.

Источники финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования, тема: «Палеоокеанология и палеоклиматология окраинных морей Востока Азии и примыкающих районов Северного Ледовитого и Тихого океанов, современное и мезозойско-кайнозойское осадконакопление, геодинамика, магматизм и рудогенез» (№ госрегистрации 121021700342-9), а также в соответствии с проектом «Геосистемы и минеральные ресурсы переходных зон "континент—океан" и открытого океана» (ГЕОМИР) в рамках Десятилетия ООН «Науки об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 гг.)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. С-Пб: Недра, 2006. 161 с.
2. Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия океанов. М.: Наука, 1968. 255 с.
3. Брусиловский Ю.В., Городницкий А.М., Соколов В.А. Вулканотектоническая эволюция Магеллановых подводных гор в свете их геомагнитного изучения // Геотектоника. 1992. № 5. С. 96–106.
4. Гаврилов А.А. Актуальные теоретические вопросы геоморфологических и морфотектонических исследований. Владивосток: Дальнаука, 2022. 323 с.
5. Гайоты Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Ю.Г. Волохин, М.Е. Мельников, Э.Л. Школьник и др. М.: Наука, 1995. 368 с.
6. Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) / Плетнев С.П., Мельников М.Е., Съедин В.Т. и др. Владивосток: Дальнаука, 2020. 200 с.
7. Герасимов И.П. Проблемы глобальной геоморфологии. М.: Наука, 1986. 207 с.
8. Головинский В.И. Тектоника Тихого океана. М.: Недра, 1985. 198 с.
9. Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана / Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненишайн Л.Б. М.: Наука, 1990. 229 с.
10. Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ГНЦ «Южморгеология», 2005. 230 с.
11. Мельников М.Е., Плетнев С.П. Возраст и условия формирования кобальтоносных марганцевых корок на гайотах Магеллановых гор // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 1. С. 3–16.
12. Мельников М.Е., Плетнев С.П., Анохин В.М. и др. Вулканические постройки на гайотах Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35. № 6. С. 46–53.
13. Менард Г.У. Геология дна Тихого океана. М.: Мир, 1966. 276 с.
14. Петухов С.И., Анохин В.М., Мельников М.Е. Особенности геодинамических обстановок в районе северо-западного звена Магеллановых гор (Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2. Вып. 20. С. 78–88.
15. Плетнев С.П. Основные типы осадочных пород апт-сеноманского возраста на гайотах Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2019. Т. 38, № 5. С. 45–55.
16. Плетнев С.П., Мельников М.Е., Пунина Т.А., Смирнова О.Л., Копяевич Л.Ф. Новые палеонтологические данные по гайотам Говорова, Вулканолог Коцебу (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеан. геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 86–92.
17. Седов А.П., Матвеев В.В., Волокитина Л.П. и др. Качественная модель формирования цепей подводных гор. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 24–44.
18. Седов А.П., Казакевич Г.И., Матвеев В.В. и др. Механизм образования вулканических цепей французской Полинезии // Океанология 2008. Том 48. № 4. С. 624–633.
19. Съедин В.Т., С.П. Плетнев С.П., Седышева Т.Е. Вулканические комплексы и тектоно-магматические

- этапы эволюции Магеллановых гор (Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. № 4. Вып. 56. С. 90–116.
20. Уткин В.П., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Херишберг Л.Б. Роль сдвиговых дислокаций океанической коры в формировании гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // ДАН. 2004. Т. 395. № 5. С. 646–650.
 21. Углов Б.Д., Мельников М.Е. Тектоника рудной провинции Магеллановых гор Тихого океана по геофизическим данным // Руды и металлы. 2015. № 4. С. 26–38.
 22. Abrams L.J., Larson R.L., Shiply T.H., Lancelot Y. The seismic stratigraphy and sedimentary history of the East Mariana and Pigafetta basins of the western Pacific / Pro. ODP Sci. Results. College Station, 1992. V. 129. P. 551–569.
 23. Bartolini A., Larson R., Baumgartner P.O. Bajocian radiolarian age of the oldest oceanic crust in situ (Pigafetta Basin, Western Pacific, ODP Site 801, Leg 185) // Proceedings of the Ninth Meeting the International Association of Radiolarian paleontologists InterRad 2000, abstract. Reno, Nevada/Blairsdon, California. 2000. P. 15–16.
 24. Hirano N., Machida S., Sumino H. et al. Petit-spot volcanoes on the oldest portion of the Pacific Plate // Deep-Sea Research. Part I. 2019. V. 154, P. 103–142.
 25. Initial reports of the Deep-Sea Drilling Program. V. 20. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1973. 958 p.
 26. Initial reports of the Deep-Sea Drilling Program. V. 89. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1985. 998 p.
 27. 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. Scie. Let. 1998. V. 163. P. 53–68.
 28. Lancelot Y., Larson R.L. et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program, Initial reports. 1990. TX. V. 129. 488 p.
 29. Lee T.G., Moon J.W., Jung M.S. Three-dimensional flexure modelling of seamounts near the Ogasawara Fracture Zone in the western Pacific // Geophys. J. Int. 2009. V. 177. P. 247–258.
 30. Miller K.G., Kominz M.A., Browning J.V. et al. The Phanerozoic records of global sea-level // Science. 2005. V. 310. P. 1293–1298.
 31. Peretyazhko I.S., Savin E.A., Pulyaeva I.A., Yudin D.S. Intraplate volcanism of the Alba Guyot: Geodynamic formation models of the Magellan Seamounts in the Pacific Ocean for 100 million years // Russ. Geol. Geophys. 2022. V. 63. P. 1–27.
 32. Premoli S.I., Haggerty J., Rack F. et al. Proceeding of the Ocean Drilling Program. Initial reports // TX. 1993. V. 144. 1084 p.
 33. Pringle M.S. Radiometric ages of basalts basement recovered at Sites 800, 801 and 802, Leg 129 Western Pacific Ocean // Proc. ODP, Sci. Results. 1992. V. 129. P. 389–404.
 34. Sager W.W., Tarduno J.A. Paleolatitude inferred from Cretaceous sediments, Hole 865A, Allison Guyot, west central Pacific Ocean, Proc. ODP, Sci. Res. 1995. V. 143. P. 399–403.
 35. 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.
 36. 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.
 37. Staudigel H., Clague D.A. The geological history of deep-sea volcanoes // Oceanography. 2010. V. 23. № 1. P. 58–71.

ON VOLCANISM AND TECTONICS IN THE EVOLUTION OF THE GUYOTS OF THE MAGELLAN SEAMOUNTS (PACIFIC OCEAN)

S. P. Pletnev*, V. T. Sedin

Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

**e-mail: pletnev@poi.dvo.ru*

This report is devoted to the analysis of original geological materials on the Magellan Seamounts in the Pacific Ocean, obtained by the authors in numerous voyages of R/V "Gelendzhik". This chain of guyots does not have a common volcanic basement and apparently was formed in the second half of the Early Cretaceous on the oldest (middle-last Jurassic) fragment of the Pacific plate. The main points of view on the genesis of the Magellan Mountains are as follows: either they originated at the crossing of the transform fractures, or the Pacific plate moved them from the southern hemisphere to their present-day position. Because of their high degree of study, the Magellan Seamounts are one of the key sites for understanding the mechanism of the origin of linear chains in the ocean. A comprehensive analysis of new geological on the Magellan Seamounts has established the important role of magmatism and tectonics in the formation of the modern morphological shapes, sedimentation and influence on the paleoceanography. The periodic renewal of these processes from the Early Cretaceous to Late Cenozoic can be traced in the cyclicity of sedimentation, the permanent growth of ore crusts and the formation of secondary volcanic domes and cones.

Keywords: guyots, volcanic and tectonic complexes, K-Ar and Ar-Ar ages, Magellan Seamounts