

## ВУЛКАНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ ГАЙОТОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР (ТИХИЙ ОКЕАН). СООБЩЕНИЕ 2: ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ

© 2023 В.Т. Съедин<sup>1</sup>, С.П. Плетнев<sup>1</sup>, Т.Е. Седышева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия, 690041  
<sup>2</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия 190121; e-mail: sedin@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 03.03.2023; после доработки 17.07.2023 г.; принята в печать 26.09.2023 г.

В эволюции гайотов Магеллановых гор выделяются пять тектоно-магматических этапов: 1 — позднеюрско-раннемеловой (самый ранний мел — ~160–140 (?) млн лет); 2 — раннемеловой (поздний баррем(?)-апт-альбский — ~127–96 млн лет); 3 — позднемеловой (позднесеноман(?)-турон-раннекампанский — ~95–76 млн лет); 4 — позднемеловой (позднекампан-маастрихский — ~74.5–66.0 млн лет); 5 — кайнозойский — 66–0 млн лет. Каждый из тектоно-магматических этапов соответствует определенному возрастному комплексу вулканитов Магеллановых гор. Тектоно-магматические этапы имеют разную продолжительность и сыграли различную роль в эволюции и формировании современной структуры гайотов Магеллановых гор. Каждый из тектоно-магматических этапов характеризует конкретное геоморфологическое пространство гайотов (основание, основная часть постройки, небольшие осложняющие наложенные структуры второго порядка). В целом тектоно-магматические этапы эволюции Магеллановых гор хорошо согласуются с этапами эволюции некоторых других районов Тихого океана и отвечают ранее установленным периодам их тектоно-магматической активизации.

*Ключевые слова:* вулканические комплексы, тектоно-магматические этапы, Магеллановы горы.

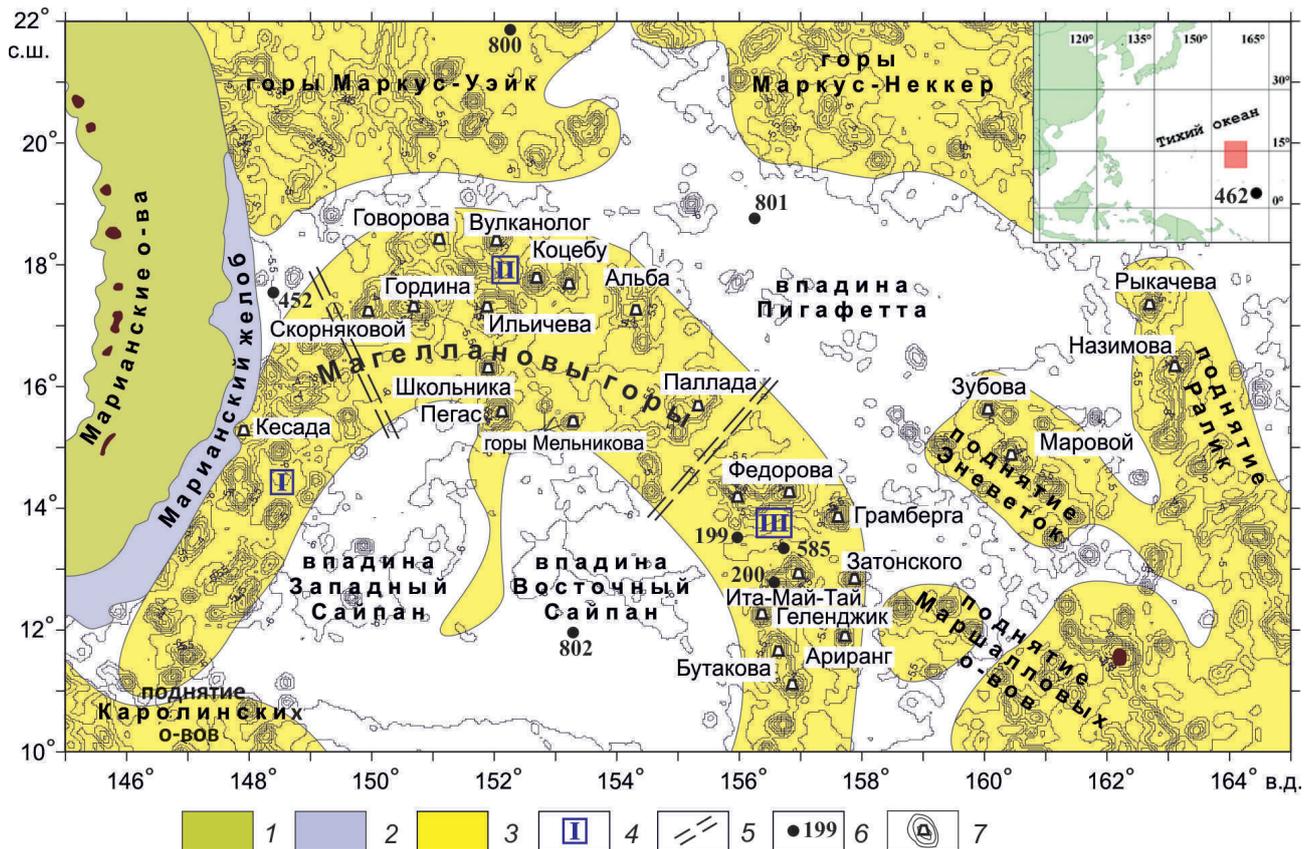
### ВВЕДЕНИЕ

Магеллановы горы расположены в южной части северо-западного сектора Тихого океана (рис. 1). Это наиболее древняя и сложная по своему геологическому строению часть Тихого океана (Васильев, 2009; Гайоты..., 1995; Геология..., 2020; Голубева, 2009; Петрологические..., 1996; Пушаровский, 2005 и др.). Подводная гряда гайотов Магеллановых гор одна из многих крупных положительных структур в этой части Тихого океана. С практической точки зрения она привлекает к себе внимание, прежде всего, как место крупных скоплений кобальтосодержащих Fe-Mn образований (ЖМО). С другой стороны гайоты Магеллановых гор представляют собой интерес как типичная структура вулканического происхождения западной и центральной частей Тихого океана.

Несмотря на активные геологические исследования гайотов Магеллановых гор, среди ученых до сих пор нет единого понимания о том,

что они собой представляют. Этот вопрос более детально рассмотрен в нашей работе (Съедин и др., 2022). В настоящей работе мы придерживаемся понятия Магеллановых гор, предложенное в работе (Углов, Мельников, 2015). Это представление базируется на понимании Магеллановых гор Р.С. Дитцем, который и предложил ввести это название для большой группы подводных гор, расположенных восточнее Марианского желоба (Dietz, 1954). Согласно этим представлениям, в целом система Магеллановых гор имеет форму полукруга (или подковы), южные концы которого открыты в сторону поднятия Каролинских островов. В ее пределах выделяются Западное, Северное и Восточное звенья (рис. 1).

В работе (Съедин и др., 2022) среди вулканических пород гайотов Магеллановых гор были выделены крупные возрастные вулканические комплексы, охватывающие временной интервал от поздней юры до кайнозоя. Породы каждого возрастного вулканического комплекса формировались в определенный (одновозрастный)



**Рис. 1.** Рельеф Магеллановых гор и сопредельных структур (по (Углов, Мельников., 2015) с некоторыми изменениями и дополнениями авторов): 1 — поднятие Марианской островной дуги; 2 — Марианский желоб; 3 — внутриплитные океанические поднятия; 4 — звенья Магеллановых гор: I — Западное звено, II — Северное звено, III — Восточное звено; 5 — границы между звеньями Магеллановых гор; 6 — скважины глубоководного бурения DSDP и ODP и их номера; 7 — изобаты (в километрах) и центры гайотов. На врезке красный прямоугольник — положение Магеллановых гор в Тихом океане. Положение скв. 462 приведено на врезке.

**Fig. 1.** Relief of the Magellanic mountains and adjacent structures (according to (Uglov, Mel'nikov., 2015) with some changes and additions by the authors): 1 — Mariana Island Arc elevation; 2 — Mariana Trench; 3 — intraplate oceanic elevations; 4 — links of the Magellanic mountains: I — Western link, II — Northern link, III — Eastern link; 5 — boundaries between the links of the Magellanic mountains; 6 — DSDP and ODP deepwater drilling wells and their numbers; 7 — isobaths (kilometres) and centers of guyots. In the inset, the red rectangle is the position of the Magellanic Mountains in the Pacific Ocean. The position of Hole 462 is shown in the inset.

тектонно-магматический этап эволюции, каждый из которых, на наш взгляд, сыграл разную (далеко не равноценную) роль в формировании и эволюции гайотов Магеллановых гор.

Цель настоящей работы — дать комплексную характеристику каждого тектонно-магматического этапа эволюции гайотов Магеллановых гор, а также показать роль и значение каждого из них в формировании современного строения этих структур.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных по радиоизотопному датированию магматических пород гайотов Магеллановых гор, изучение особенностей их рельефа и геологического строения, а также результаты глубоководного бурения, позволили нам выде-

лить на этих структурах 5 крупных возрастных вулканических комплексов: 1 — позднеюрско-раннемеловой (самый ранний мел — 160–140 (?) млн лет); 2 — раннемеловой (поздний баррем(?)–апт-альбский — 127–96 млн лет); 3 — поздне-меловой (позднесеноман (?)-турон-раннекам-панский — 95–76 млн лет); 4 — поздне-меловой (позднекампан-маастрихский 74.5–66.0 млн лет); 5 — кайнозойский — <66 млн лет (Геология..., 2020; Съедин и др., 2020, 2022). Отметим, что в первых двух цитируемых работах приведены данные по 77 определениям радиоизотопного возраста, а в последней — использованы 107 датировок.

В настоящей работе учтены новые данные по радиоизотопному датированию вулканических пород, слагающих гайоты Магеллановых гор (Перетяжко и др., 2023; Kyoko et al., 2022; Hirano

et al., 2002; Peretyazko, Savina, 2022a; Peretyazko, Savina, 2022b; Yan et al., 2021), не учтенные в работе (Съедин и др., 2022), в которых приведены 15 новых определений, полученных К-Аг и Аг-Аг методом. Эти датировки находятся в интервале 66–129 млн лет (таблица). Абсолютное большинство (14 датировок) новых определений находятся в интервале 66–121 млн лет (таблица) и попадают в интервал (15–127 млн лет), приведенный в работе (Съедин и др., 2022), не нарушая общую схему выделения возрастных вулканических комплексов гайотов Магеллановых гор и соответствующих им тектоно-магматических этапов. Эти данные, как и материалы, приведенные в работе (Съедин и др., 2022), характеризуют гайоты Северного и Восточного звеньев Магеллановых гор (рис. 1). Несколько особняком стоит работа (Hirano et al., 2002), в которой представлена характеристика одного из гайотов Западного звена Магеллановых гор (рис. 1). В цитируемой работе приведен возраст щелочного трахириолита, отобранного с верхней части уступа (эскарпа) на гайоте Кесада с глубины ~6170 м (рис. 1; таблица), который находится на океаническом склоне Марианского желоба. Возраст этого образца, полученный Аг-Аг методом, составляет  $129.3 \pm 2.6$  млн лет, что немного больше, чем самые «древние» датировки (124–127 млн лет) приведенные в работе (Съедин и др., 2022). Этот факт, в целом, не нарушает время проявления раннемелового (позднебаррем(?)-апт-альбского) вулканического комплекса, а лишь незначительно расширяет его нижнюю границу, понижая ее. Поднятые ниже по уступу на этом же гайоте радиоляриевые глины с частичками туфогенного материала, имеют возраст ~140 млн лет (Hirano et al., 2002). Эти глины представляют собой типичные пелагические осадочные образования, которые характерны для абиссальных частей океана. Однако присутствие в них мелких частиц вулканического стекла свидетельствует о том, что они формировались при разрушении ранее возникшего вулканического сооружения во время прекращения (или резкого сокращения) его вулканической активности. Это позволяет предполагать, что активный магматизм 1-го (позднеюрско-раннемелового) этапа завершился (или резко ослаб) к концу берриаса или к началу валанжина около рубежа 140 млн лет. Этот факт, а также возраст щелочного трахириолита ( $129.3 \pm 2.6$  млн лет), поднятого в верхней части этого же уступа, позволяют предположить, что здесь после периода нормального осадконакопления где-то на рубеже готерива и баррема (~130 млн лет) начался новый этап магматической активности. Не исключено, что именно это время, и было началом 2-го (раннемелового — позднебаррем(?)-апт-альбского)

тектоно-магматического этапа, выделенного для гайотов Магеллановых гор (Съедин и др., 2022).

**Исходные данные по радиоизотопному датированию вулканических гайотов Магеллановых гор. Статистика определений.** Впервые данные по радиоизотопному датированию для вулканических пород гайотов Магеллановых гор даны в работе (Гайоты..., 1995). В цитируемой монографии указывается, что «по данным К-Аг метода, возраст пород второго комплекса гайота Альба колеблется от 95 до 36 млн лет» (Гайоты..., 1995, с. 260). Однако никакие данные по датированию конкретных образцов пород в цитируемой работе не приводятся, что не позволяет в дальнейшем в полной мере использовать и как-то критически оценивать эти материалы.

Данные по радиоизотопному датированию для отдельных образцов базальтов, полученные Аг-Аг методом (18 определений), впервые приведены в работе (Koppers et al., 1998), для гайотов: Альба (Влиндер), Паллада (Пако), Федорова (ИОАН) и Ита-Май-Тай. Все определения относятся к меловому времени и характеризуют временной интервал — 86–120 млн лет.

Основной массив данных по радиоизотопному датированию для отдельных образцов вулканических гайотов Магеллановых гор (К-Аг метод) был получен при длительном (с 1998 г. по настоящее время) изучении гайотов Магеллановых гор в экспедициях АО «Южморгеология». Все имеющиеся данные по определению возрастов (77 датировок) вулканических гайотов Магеллановых гор на 2020 г. были приведены в работе (Геология..., 2020), а затем (107 датировок) суммированы в работе (Съедин и др., 2022). Новые 15 определений, полученные К-Аг и Аг-Аг методами и не учтенные в работе (Съедин и др., 2022), находятся в интервале 53–129 млн лет (таблица).

Таким образом, к настоящему времени для гайотов Магеллановых гор имеются 122 определения радиоизотопного возраста, которые получены К-Аг (78 датировок), и Аг-Аг методами (44 датировки). Они находятся в возрастном диапазоне 15–129 млн лет (средний миоцен-баррем).

Ранее было выделено пять крупным возрастным вулканических комплексов (Съедин и др., 2022). Новые данные только дополнили количество определений, отвечающих каждому из выделенных комплексов, и несколько расширили географию их распространения, охватив большее количество гайотов (рис. 2; таблица). Количество датировок, отвечающих 2-му (позднебаррем(?)-альб-аптскому) комплексу увеличилось на 5 определений, полученных Аг-Аг методом (теперь 39 датировок); 3-ему (позднебаррем(?)-апт-альбскому) комплексу — на 3 определения, два из которых получены Аг-Аг методом (теперь 44 датировки); 4-му (позднебаррем(?)-апт-альбскому)

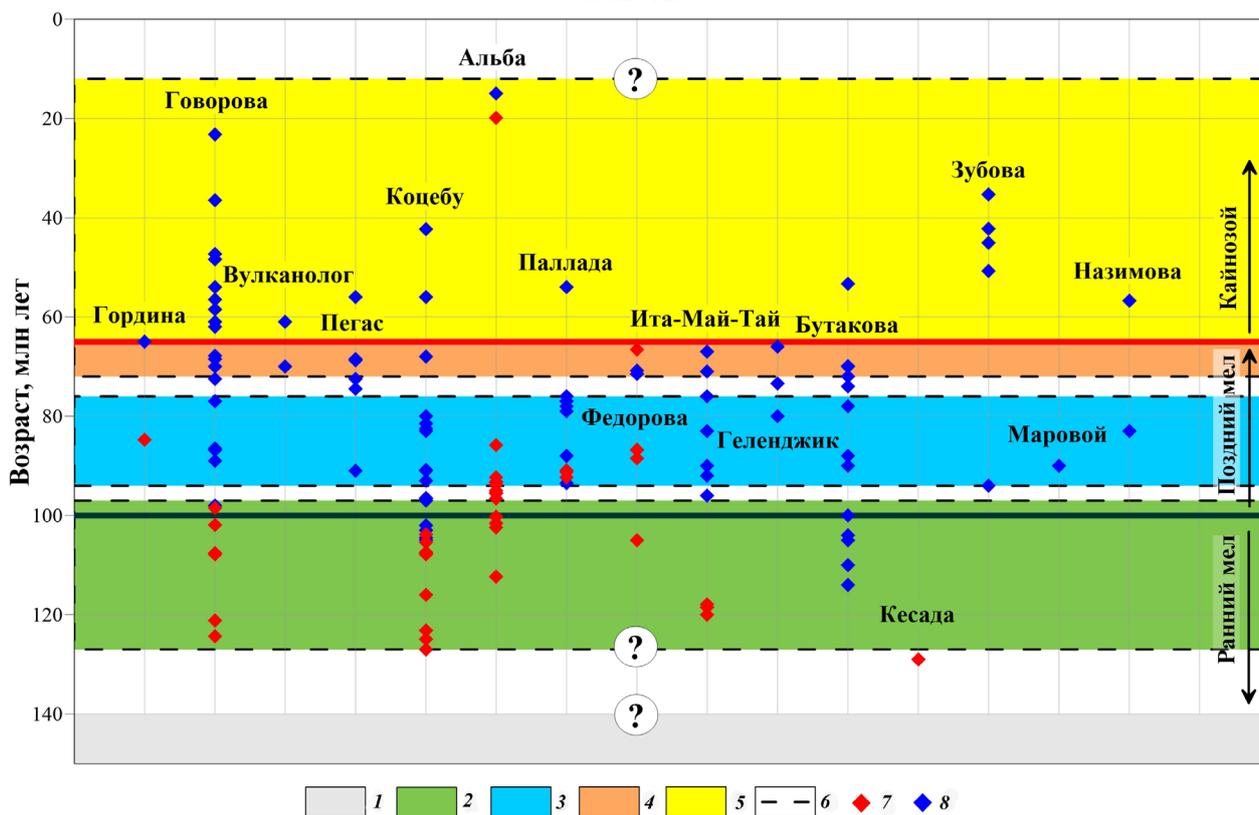
Результаты определения изотопного возраста магматических пород гайотов Магеллановых гор  
Results of isotopic age determinations of the of igneous rocks of gnyots of the Magellanic Seamounts

№ п/п	Номер образца	Порода	Местоположение	Глубина, м	Калий, % ± 2σ	<sup>40</sup> Ar <sub>рад</sub> , нг/г ± 2σ	Метод	Возраст, млн лет ± 2σ	Возраст геологический	Источник
<b>Гайот Говорова</b>										
1	<b>08Д96-А</b>	Базальт	Нижняя часть С. склона основной постройки	2636	-	-	Ar-Ar	<b>98.5±1.4</b>	<b>Сеноман</b>	Peretyazhko, Savina, 2022
2	<b>08Д99-2В</b>	Базальтовый трахиандезит	Средняя часть В. склона основной постройки	2571	-	-	---//---	<b>101.9±1.5</b>	Альб	---//---
3	<b>08Д100-3</b>	Базальт	Средняя часть В. склона основной постройки	2438	-	-	---//---	<b>121.2±2.8</b>	Апт	---//---
4	89JA14AD06-E	Базальт	-	-	-	-	К-Ar	86.8±3.0	Коньяк-сантон	Kyoko et al., 2022
<b>Гайот Гордина</b>										
5	<b>CD-1</b>	Плагиоклазовый порфиновый базальт	-	-	-	-	Ar-Ar	<b>84.7±0.9</b>	<b>Сантон</b>	Yan et al., 2021
<b>Гайот Петас</b>										
6	98JA15AD10	Базальт	-	-	-	-	К-Ar	56.0±2.8	Палеоцен	Kyoko et al., 2022
7	98JA15AD13	Базальт	-	-	-	-	---//---	68.7±3.4	Маастрихт-даний	---//---
<b>Гайот Федорова</b>										
8	98JA09AD20-1	Базальт	-	-	-	-	К-Ar	70.8±3.5	Маастрихт	Kyoko et al., 2022
9	98JA09AD20-2	Базальт	-	-	-	-	---//---	71.5±3.6	Кампан-маастрихт	---//---
10	<b>99JA09AD34</b>	Базальт	-	-	-	-	Ar-Ar	<b>86.8±1.0</b>	<b>Коньяк-сантон</b>	---//---
11	99JA09AD35	Базальт	-	-	-	-	---//---	<b>105.0±4.0</b>	Альб	---//---
12	<b>99JA09AD58</b>	Базальт	-	-	-	-	---//---	<b>66.6±1.8</b>	<b>Маастрихт-даний</b>	Kyoko et al., 2022
<b>Гайот Бутакова</b>										
13	90JA22AD05Д	Базальт	-	-	-	-	К-Ar	53.3±1.9	Ранний эоцен	Kyoko et al., 2022
14	90JA22AD11В	Базальт	-	-	-	-	---//---	69.9±2.3	Маастрихт	---//---
<b>Гайот Кесада</b>										
15	<b>R-002</b>	<b>Щелочной трахириолит</b>	<b>Эскарп в основании гайота</b>	6170	-	-	Ar-Ar	<b>129.0±2.6</b>	<b>Баррем</b>	Hirano et al., 2002

Примечание. Полуширный шрифт — определения получены Ar-Ar методом. Минералы: Ol — оливин; Срх — пироксен; Pl — плагиоклаз. <sup>40</sup>Ar<sub>рад</sub> нг/г ± 2σ (концентрация радиогенного <sup>40</sup>Ar ± погрешность определения).

Note. Numbers in bold type — determinations obtained by the Ar-Ar method. Minerals: Ol — olivine; Срх — pyroxene; Pl — plagioclase. <sup>40</sup>Ar<sub>рад</sub> нг/г ± 2σ (concentration of radiogenic <sup>40</sup>Ar ± determination error).

Гайоты



**Рис. 2.** Время проявления вулканизма и тектоно-магматические этапы на гайотах Магеллановых гор: 1–5 — тектоно-магматические этапы: 1 — позднеюрско-раннемеловой (самый ранний мел), 2 — раннемеловой (поздний баррем(?)-апт-альбский), 3 — позднемеловой (позднесеноман(?)-турон-раннекампанский), 4 — позднемеловой (позднекампан-маастрихский), 5 — кайнозойский; 6 — границы этапов; 7 — определения, полученные К-Аг методом; 8 — определения, полученные Аг-Аг методом. Толстыми горизонтальными линиями показаны геологические границы: черная — ранний / поздний мел; красная — мел / кайнозой.

**Fig. 2.** Timing of volcanism manifestations and tectonic-magmatic stages on guyots of the Magellan Seamounts: 1–5 — tectonic-magmatic stages: 1 — Late Jurassic-Early Cretaceous (earliest Cretaceous); 2 — Early Cretaceous (Late Barremian(?)-Aptian-Albian); 3 — Late Cretaceous (Late Cenomanian(?)-Turonian-Early Campanian); 4 — Late Cretaceous (Late Campanian-Maastrichtian); 5 — Cenozoic; 6 — boundaries of the stages; 7 — K-Ar data; 8 — Ar-Ar data. Thick horizontal lines the geological boundaries: black — Early / Late Cretaceous, red — Cretaceous / Cenozoic.

маастрихтскому) комплексу — на 5 определений, одно из которых получено Аг-Аг методом (теперь 21 датировка); 5-му (кайнозойскому) комплексу — на 2 датировки, которые получены К-Аг методом (теперь 18 датировок).

Уровень обоснованности выделения каждого возрастного комплекса (а соответственно, и одновозрастного ему тектоно-магматического этапа эволюции Магеллановых гор) различный. Все комплексы, кроме 1-го (позднеюрско-раннемелового), выделены, в первую очередь, на основе радиоизотопных датировок вулканических пород. Первый возрастной комплекс выделен нами на основании представлений многих авторов о позднеюрско-раннемеловом времени образования этой части Тихого океана (Пуцаровский, 1984; 2005; Голубева, 2009; Гайоты..., 1995; Мельников, 2005; Петрологические..., 1996; Съедин и др., 2022 и др.), а также с учетом материалов глубоководного бурения (скв. 801 Ocean

Drilling Program (ODP)) в котловине Пигафетта, которая прилегает к Северному звену Магеллановых гор (рис. 1). В скв. 801 вскрыт щелочной силл позднеюрского ( $157.4 \pm 0.5$  млн лет) возраста, а в забое — толеитовые базальты среднеюрского ( $166.8 \pm 4.5$  млн лет) возраста (Pringle et al., 1992). Учитывая очень жидкую и, соответственно, хорошо текучую магму, характерную для продуктов магматизма вулканических островов Тихого океана можно предположить, что силл представляет собой застывший мощный поток жидкой щелочной базальтовой магмы, спустившейся со склонов подводной горы. Для абиссальной части океана щелочной магматизм не характерен т.к. здесь развиты базальты толеитового типа (Голубева, 1990, 2009; Петрологические..., 1996; Batiza et al., 1982; Initial..., 1982 и др.) Позднеюрский возраст этого щелочного силла, а также его пространственная и, скорее всего, генетическая связь с крупной подводной горой (Pringle et al.,

1992), позволяют, по нашему мнению, достаточно обоснованно предполагать, что и на близлежащих гайотах Магеллановых гор в позднеюрское время мог также проявляться щелочной магматизм. Ведь именно продукты щелочного магматизма, характерного для океанических о-вов и подводных гор Тихого океана, слагают гайоты Магеллановых гор (Васильев и др., 1985; Гайоты..., 1995; Геология..., 2020; Мельников, 2005; Петрологические..., 1996; Съедин и др., 2022 и др.). Учитывая приведенные факты, мы полагаем, что выделение 1-го вулканического комплекса и соответствующего ему тектоно-магматического этапа на гайотах Магеллановых гор вполне обосновано. Все остальные возрастные вулканические комплексы, выделены, прежде всего, на основе радиоизотопных датировок вулканических пород, а все меловые возрастные комплексы (2–4 комплексы) подтверждаются еще и результатами глубоководного бурения в скважинах, выполненных в котловинах, прилегающих к гайотам Магеллановых гор (рис. 1). В нескольких скважинах Deep Sea Drilling Program (DSDP) и Ocean Drilling Program (ODP) (скв. 585, 800, 801, 802), заложенных вблизи гайотов, разбурены мощные (до 220 м) толщи вулканокластических осадков (турбидитов) апт-альбского возраста; а в скважинах 199 и 585 — кампан-маастрихтские турбидиты с прослоями вулканических туфов и гиалокластитов (Мельников, 2005; Мельников и др., 2016; Петрологические..., 1996; Рашидов и др., 2003; Initial..., 1973; 1985; Salimullah, 1992 и др.). В этой связи, наиболее интересной является скв. 585, в которой вскрыты вулканокластические осадки на двух стратиграфических уровнях апт-альбского и кампан-маастрихтского возраста. Это указывает, как минимум, на две вспышки вулканизма на близлежащих гайотах Ита-Май Тай и/или Федорова (рис. 1), которые по времени отвечают 2-му и 4-му возрастным вулканическим комплексам гайотов Магеллановых гор. Данные бурения в прилегающих к гайотам котловинах (рис. 1) отчетливо свидетельствует о периодическом проявлении активного вулканизма в течение ранне-поздне мелового времени на этих структурах, следы которого фиксировались разбуренными отложениями вулканокластических толщ в соседних котловинах. Проявление кайнозойского вулканизма на гайотах не подтверждается данными бурения (Initial..., 1973, 1985; Proc..., 1992), хотя он известен на близлежащих Королинских и Маршалловых о-вах (Clouard, Vonneville, 2000). Скорее всего, это обусловлено двумя причинами: во-первых, вулканизм этого времени был слабее по сравнению с магматизмом мелового времени; а во-вторых, кайнозойский вулканизм на гайотах Магеллановых гор проявился по большей части в подводных условиях,

для которого пирокластические образования не характерны. Наличие 4-го и 5-го вулканических комплексов, выделенных на основе радиоизотопных датировок, подтверждается еще и некоторыми особенностями рельефа в привершинной части гайотов. Детальное изучение рельефа гайотов показало, что на их платообразной поверхности располагается большое количество небольших вторичных (наложенных) вулканических построек (Мельников и др., 2016). По мнению цитируемых авторов, время образования этих локальных «осложняющих» структур, отражающих тектоно-магматическую активизацию основной части постройки гайотов, самый поздний мел (кампан-маастрихт) и/или — кайнозойской (преобладает).

Итак, анализ имеющихся данных по радиоизотопному датированию вулканических пород позволяет нам говорить о длительном (поздняя юра-поздний кайнозой) проявлении вулканизма на гайотах Магеллановых гор. При этом следует отметить, что на некоторых крупных гайотах (Говорова, Коцебу и Альба), для которых имеется большое количество радиоизотопных определений, интервал между максимальными и минимальными датировками составляет ~100 млн лет (Съедин и др., 2022; рис. 2). Такая общая продолжительность и периодичность проявления вулканизма на одном и том же гайоте позволяет усомниться в реальности модели «горячей точки» при рассмотрении вопроса формирования (генезиса) гайотов Магеллановых гор. Это, в целом, заставляет критически (вплоть до полного ее исключения) подходить к применению любых вариантов модели «горячей точки» для обоснования образования гайотов Магеллановых гор.

Каждый из выделенных возрастных вулканических комплексов соответствует определенному (одновозрастному) тектоно-магматическому этапу эволюции Магеллановых гор. Иными словами, позднеюрско-раннемеловой возрастной вулканический комплекс сформировался в период позднеюрско-раннемелового тектоно-магматического этапа эволюции гайотов Магеллановых гор; раннемеловой-позднебаррем(?)—апт-альбский вулканический комплекс — во время раннемелового-позднебаррем(?)—апт-альбского тектоно-магматического этапа; поздне меловой-позднесеноман(?)—турон-раннекампанский вулканический комплекс — во время поздне мелового-позднесеноман(?)—турон-раннекампанского тектоно-магматического этапа; поздне меловой-позднекампан-маастрихтский вулканический комплекс — во время поздне мелового-позднекампан-маастрихтского тектоно-магматического этапа; а кайнозойский возрастной вулканический комплекс — во время кайнозойского тектоно-магматического

этапа. Таким образом, на гайотах Магеллановых гор выделяется 5 тектоно-магматических этапов: 1 — позднеюрско-раннемеловой (самый ранний мел — ~160–140 (?) млн лет); 2 — раннемеловой (поздний баррем(?)-аптальбский — ~127–96 млн лет); 3 — позднемеловой (позднесеноман(?)-турон-раннекампанский — ~95–76 млн лет); 4 — позднемеловой (позднекампан-маастрихский — ~74.5–66.0 млн лет); 5 — кайнозойский — 66–0 млн лет.

**Роль и значение тектоно-магматических этапов в формировании современной структуры гайотов.** Каждый тектоно-магматический этап отражает формирование конкретного геоморфологического пространства гайотов: основание (пьедестал), основная часть постройки гайота и небольшие осложняющие наложенные структуры второго порядка (Геология..., 2020; Съедин и др., 2020, 2022). В результате 1-го этапа тектоно-магматического этапа эволюции гайотов Магеллановых гор, скорее всего, на рубеже юры и мела (150 ± 10 млн лет назад) были сформированы основания (пьедесталы, или цоколи) гайотов Магеллановых гор до глубин 4500–4000 м. В результате 2-го и 3-го этапов эволюции гайотов были сформирована основная часть постройки каждого из гайотов до глубин современной бровки платообразной поверхности гайотов. Во время 4-го и 5-го этапов были сформированы локальные (наложенные) структуры вулканического происхождения.

Роль каждого из выделенных тектоно-магматических этапов в формировании гайотов Магеллановых гор была различной. Наиболее мощными, сопровождающиеся значительными объемами излившейся магмы, были 1-ый, 2-ой и 3-ий этапы. Они внесли наибольший вклад в формирование общей структуры гайотов Магеллановых гор. В течение 1-го этапа формировались основания (пьедесталы) гайотов до глубин 4500–4000 м. Это 2500–3000 м общей высоты гайотов при глубине их основания 5000–6000 м. Если учесть впадины проседания вокруг основания горы (а они существуют всегда у подножия подводных гор и достигают ≥500 м), то надо говорить о еще большем вкладе этого этапа в формировании всей постройки каждого из гайотов. Например, скв. 585, пробуренная у подножия гайота Ита-Май-Тай (рис. 1), прошла до забоя 893 м (Initial..., 1985) и не вошла в фундамент, т.е. мощность осадочного чехла здесь ≥1000 м, в то время как осадочный чехол в абиссальной части Восточно-Марианской котловины составляет 300–500 м (Углов, Мельников, 2015). Это позволяет предполагать, что полная высота основания (или цоколя) гайотов не 2500–3000 м, а на 500–1000 м больше. В таком случае вклад 1-го (позднеюрско-раннемелового

этапа) в формирование гайотов выглядит еще более внушительным.

Существенную роль в создании общей структуры гайотов также сыграли 2-ой и 3-ий тектоно-магматические этапы, сформировавшие основную часть постройки гайотов Магеллановых гор. Это 2–3 км высоты каждого из гайотов до его бровки выравнивания, глубина которой для разных гайотов Магеллановых гор варьирует от 2500–3000 м (гайот Бутакова) до 1300–1400 м на гайоте Вулканолог, в основном располагаясь на глубинах 1500–2000 м (Геология..., 2020). Если учесть процессы абразии, в период близповерхностного (или островного) положения вершин гайотов в меловое время, то надо признать и более значительную роль этих этапов в образовании всей структуры каждого из гайотов. То, что процессы разрушения (абразии) в определенные периоды эволюции гайотов были, мы не сомневаемся. Об этом свидетельствуют особенности осадкообразования в т.н. «регрессивные» эпохи осадконакопления, которые выделяются на гайотах Магеллановых гор (Геология..., 2020; Плетнев, 2012; Плетнев и др., 2014; Съедин и др., 2022 и др.). В эти эпохи формируются грубозернистые осадки — гравелиты, осадочные брекчии и грубозернистые песчаники, в которых часто встречаются фрагменты малоглубинной, прибрежной и рифообразующей фауны. Наиболее отчетливо эпоха «регрессивного» осадконакопления выделяется в апт-альбское время. Согласно имеющимся геолого-стратиграфическим данным, в апт-альбское время на гайотах накапливались грубообломочные терригенные осадки — конгломераты, гравелиты и песчаники, а сами гайоты в это время представляли собой архипелаг островов (Геология..., 2020; Плетнев, 2012; Плетнев и др., 2014 и др.).

Четвертый (позднекампан-маастрихский) и пятый (кайнозойский) тектоно-магматические этапы также сыграли определенную роль в формировании современной структуры гайотов Магеллановых гор. Однако их значение было существенно ниже, чем первых трех этапов. Эти этапы характеризуют процессы позднемеловой и кайнозойской тектоно-магматической активизации основной части постройки гайотов, во время которых были сформированы локальные (наложенные) структуры вулканического происхождения. Локальные структуры имеют незначительные размеры (их диаметр редко превышает первые километры) по отношению к параметрам и объему всего гайота. Плотность этих структур на гайотах различная, и не выявлена какая-либо закономерность в их распределении. Такие локальные структуры часто встречаются на гайотах Магеллановых гор и описаны в работе (Мельников и др., 2016).

Самый незначительный вклад в образование всей постройки каждого из гайотов внес 5-ый этап. Мы полагаем, что этот этап эволюции, отражает, скорее всего, процесс кайнозойской тектонической активизации гайотов, в результате которого была сформирована часть наложенных локальных («осложняющих») вулканических структур на их поверхности. Все процессы на гайотах в кайнозойское время протекали на фоне их общего погружения, при существенно пониженной по отношению к меловому времени вулканической активности. Тем не менее, значительное количество вторичных локальных структур на некоторых гайотах Магеллановых гор (Геология..., 2020; Мельников и др., 2016) указывает на достаточно высокую интенсивность магматизма на гайотах в кайнозойское время. В частности, на гайотах Говорова и Коцебу частота их встречаемости составляет  $> 22$  единиц/1000 км<sup>2</sup> (Геология..., 2020; Мельников и др., 2016). Судя по плотности вторичных локальных структур, процессы кайнозойского магматизма охватывали всю постройку гайота и сыграли заметную роль в эволюции Магеллановых гор. Особенно значительное место, на наш взгляд, кайнозойский магматизм сыграл в процессе формирования на гайотах ЖМО, в то время, когда вершины гайотов находились главным образом в подводном положении.

#### **Длительность тектоно-магматических этапов.**

Каждый из выделенных тектоно-магматических этапов Магеллановых гор имеет различную продолжительность. Наиболее длительными были 1-ый и 5-ый этапы. Мы не можем уверенно говорить, когда начался первый этап — в самой поздней, поздней, а может и в средней юре, а это порядка 20–25 млн лет. Нет никаких достоверных данных о том, в какой части раннего мела он закончился — а это еще 15–20 млн лет до конца баррема или начала апта (нижняя граница апта около 125 млн лет). Длительность 2-го этапа продолжалась от позднего баррема (125–127 млн лет) до раннего сеномана (97–100 млн лет) порядка 25–30 млн лет. Анализируя радиоизотопные данные, мы видим, что датировки, характеризующие этот этап, группируются в основном в двух интервалах: 127–115 и 107–97 млн лет (Съедин и др., 2022; рис. 2). Это позволяет предположить, что в течение этого довольно длительного этапа были два пика (эпохи или эпизода) активизации магматизма. В какой-то степени о наличии двух эпизодов щелочного вулканизма в районе гайотов Магеллановых гор в течение 2-го этапа может указывать различный возраст вулканокластических осадков в скв. 800 и 801 (Волохин, 2013; Lancelot et al., 1992; Salimullah, 1992). В скв. 800, расположенной в котловине Пигафетта (рис. 1), время формирования вулканокластической толщи (мощность 221 м) — поздний баррем-поздний апт/ранний альб (с 126–128 до 110–115 млн лет). В скв. 801 (рис. 1)

вулканокластическая толща (мощность 192 м) формировалась с позднего апта/раннего альба до раннего сеномана (с 110–115 до 95–94 млн лет). В этой связи необходимо отметить, что окраина Азиатского континента также характеризуется проявлением активного магматизма в меловое время, в течение которого отмечаются два, три или более периода (эпизода) его активизации. В частности, такое известно для окраинно-континентального Восточно-Азиатского вулканического пояса, где активный магматизм начинается с раннего мела и продолжается отдельными эпизодами до позднемелового времени или до палеоцена включительно (Вулканические..., 1984; Геодинамика..., 2006; Радиоизотопная..., 2005; Сахно, 2002 и др.).

Самыми короткими по времени тектоно-магматическими этапами в эволюции Магеллановых гор являются позднемеловые 3-ий и 4-ый этапы. Они имеют продолжительность порядка 12–20 млн лет. Учитывая наличие определений в интервале 66–60 млн лет для гайотов Магеллановых гор, а также аналогичные данные по другим структурам Тихого океана (Clouard, Bonneville, 2000) и Азиатского континента (Вулканические..., 1984; Геодинамика..., 2006; Радиоизотопная..., 2005; Сахно, 2002 и др.), мы не исключаем, что 4-ый (позднекампан-маастрихтский) этап мог продолжаться и в самом начале палеоцена.

Кайнозойский этап — один из самых длительных в эволюции Магеллановых гор. Он составляет ~60 млн лет — от начала кайнозоя до среднепозднего миоцена (возможно до плейстоцена?) и характеризуется самыми «молодыми» датировками 20–15 млн лет (Съедин и др., 2022; рис.2). Конечно, весь этот длительный период времени не сопровождался непрерывным магматизмом, а характеризовался, скорее всего, периодической активизацией вулканических процессов, как, это известно, для других частей Земли. Учитывая этот момент, а также данные по Филиппинскому морю (Съедин, Мельниченко, 2011; 2014) и другим районам Тихого океана (Clouard, Bonneville, 2000), мы предлагаем этот крупный тектоно-магматический этап в эволюции Магеллановых гор разбить на три подэтапа (или три этапа более низкого порядка): 1 — позднепалеоцен-эоценовый; 2 — позднеолигоцен-раннемиоценовый; 3 — среднемиоцен-позднемиоценовый (плейстоценовый?).

### **КОРРЕЛЯЦИЯ ТЕКТОНО-МАГМАТИЧЕСКИХ ЭТАПОВ ЭВОЛЮЦИИ ГАЙОТОВ МАГЕЛЛАНОВЫХ ГОР С ТЕКТОНИКОЙ ТИХОГО ОКЕАНА**

Характеризуя тектоно-магматические этапы эволюции гайотов Магеллановых гор, логично их сопоставить с периодами тектонической

активизации других районов Тихого океана. Впервые идею о единых этапах эволюции различных структур Тихого океана высказал Ю.М. Пушаровский. Обобщая материалы по Тихому океану, он писал (Пушаровский, 1984, с. 140): «В области, охватывающей Центральную и Северную Пацифику, отчетливо проявляются три тектоно-магматических этапа: 1 — позднеюрско-раннемеловой, 2 — позднемеловой-раннекайнозойский, 3 — позднекайнозойский-современный». Он считал, что на первом этапе в условиях рассеянного спрединга «формировались абиссальные плиты и сопряженные с ними поднятия с утолщенной корой (Шатского, Хесса)»; во второй этап образовывались «наложенные тектоно-магматические структуры» — вулканические хребты, приуроченные к разломным зонам (Императорский, Лайн, Гавайский и др.); на третьем этапе «(продолжающемся и поныне)» развивались локальные зоны спрединга в Северо-Восточной Пацифике (Хуан де Фука, Калифорнийский залив). Позднее Э.Д. Голубева (1990, 2009) приняла и в какой-то степени развила идею Ю.М. Пушаровского о единых тектоно-магматических этапах в эволюции Тихого океана. Она, на основании анализа многочисленных данных по радиоизотопным определениям возрастов вулканитов, предложила выделять четыре этапа эволюции магматизма океанических структур Тихого океана. Выделенные Э.Д. Голубевой этапы несколько отличаются друг от друга по времени их проявления в ее разных работах (Голубева, 1990, 2009), но в целом повторяют и дополняют друг друга. В работе (Голубева, 1990) предложено выделять следующие этапы: 1 — позднеюрско-раннемеловой (150–100 млн лет), 2 — поздне-меловой-палеогеновый (100–60 млн лет), 3 — эоцено-олигоценый (60–30 млн лет), 4 — современный-миоцен-голоценовый (30–0 млн лет). В более поздней работе (Голубева, 2009) выделены этапы: 1 — познетриасово-юрско-раннемеловой (200–100 млн лет); 2 — позднемеловой-палеогеновый (100–55 млн лет); 3 — эоцено-олигоценый (55–25 млн лет); 4 — миоцен-голоценовый (25–0 млн лет). В отличие от Ю.М. Пушаровского, Э.Д. Голубева, в целом приняв его идеологию и возрастные интервалы отдельных этапов, распространила выделенные этапы на весь Тихий океан. Она также несколько изменила (сделала древнее) 1-ый («позднеюрско-раннемеловой» по Ю.М. Пушаровскому) этап и разбила на два более мелких этапа 3-ий («позднекайнозой-современный» по Ю.М. Пушаровскому) этап. Прочитированные исследователи говорили о проявлении единых тектоно-магматических этапов в эволюции различных районов Тихого океана.

Предложенные нами этапы эволюции гайотов Магеллановых гор в целом отвечают определенным этапам эволюции для других структур Тихого океана (Голубева, 1990, 2009; Пушаровский, 1984, 2005). В тоже время необходимо отметить, что наша схема выделения тектоно-магматических этапов на гайотах Магеллановых гор для позднеюрско-мелового (раннекайнозойского?) времени является более детальной (дробной), чем схема периодичности тектоно-магматической активизации структур Тихого океана, предлагаемая коллегами. В частности, Ю.М. Пушаровский для довольно продолжительного позднеюрско-мел-раннекайнозойского периода в истории Тихого океана выделяет — два этапа тектоно-магматической активизации: «1 — позднеюрско-раннемеловой, 2 — поздне-меловой-раннекайнозойский» (Пушаровский, 2005, с. 28). Для этого же временного интервала Э.Д. Голубева также выделяет два этапа тектоно-магматической активизации: 1 — «позднеюрско-раннемеловой (150–100 млн лет) или — познетриасово-юрско-раннемеловой (от 200 до 100 млн лет) и 2 — позднемеловой-палеогеновый (100–60 млн лет) или позднемеловой-палеоценовый (менее 100 до 55 млн лет)» (Голубева, 1990, с. 92; 2009, с. 106). Нами на гайотах Магеллановых гор для этого же (позднеюрско-мел-раннекайнозойского) времени выделяется четыре тектоно-магматических этапа: 1 — позднеюрско-раннемеловой (самый ранний мел — ~160–140 (?) млн лет); 2 — раннемеловой (позднебаррем(?)–апт-альбский — ~127–96 млн лет); 3 — позднемеловой (позднесеноман(?)-турон-раннекампанский — ~95–76 млн лет); 4 — позднемеловой (позднекампан-маастрихский — ~74.5–66.0 млн лет). Это существенно уточняет понимание эволюции гайотов Магеллановых гор в позднеюрско-меловое (раннекайнозойское?) время, и представляется нам более логичным, поскольку в данном случае речь идет о почти 100 миллионной истории Земли. Известно, что в период с поздней юры до конца мела континентальная и океаническая части Земли характеризуется активными тектоно-магматическими процессами (Вулканические..., 1984; Геодинамика..., 2006; Голубева, 1990, 2009; Маракушев и др., 2005; Петрологические..., 1996; Пушаровский, 2005; Радиоизотопная..., 2006; Сахно, 2002 и др.).

Для кайнозоя предложенная нами схема выделения тектоно-магматических этапов на гайотах Магеллановых гор также выглядит более детальной (дробной), чем схема периодичности тектоно-магматической активизации структур Тихого океана, предлагаемая для этого времени Ю.М. Пушаровским (1984, 2005) и Э.Д. Голубевой (1990, 2009). Ю.М. Пушаровский для

кайнозойского времени в истории Тихого океана выделяет — один тектоно-магматический этап активизации: «позднекайнозой-современный» (Пушаровский, 1984, с. 140; 2005, с. 28). Э.Д. Голубева для кайнозоя выделяет два этапа тектоно-магматической активизации: «1 — эоцен-олигоценный (60–30 млн лет); 2 — современный-миоцен-голоценовый (30–0 млн лет)» или «1 — эоцен-олигоценный (55–25 млн лет); 2 — миоцен-голоценовый (25–0 млн лет)» (Голубева, 1990, с. 92; 2009, с. 107). Мы в кайнозойской эволюции гайотов Магеллановых гор выделяем один крупный «кайнозойский» (66–0 млн лет) тектоно-магматический этап, который предлагается разбить на три этапа более низкого порядка: 1 — позднепалеоцен-эоценовый; 2 — позднеолигоцен-раннемиоценовый; 3 — среднемиоцен-позднемиоценовый (плиоцен-плейстоценовый?). На наш взгляд, выделение таких этапов хорошо отражает особенности эволюции гайотов Магеллановых гор и согласуется с проявлением вулканизма на гайотах, подводных горах и о-вах Тихого океана (Clouard, Bonneville, 2000).

В работе (Stadler, Tominogava, 2015) рассмотрены вулканические события мелового периода котловины Пигафетта, которая с северо-востока обрамляет Магеллановы горы (рис. 1). На основании сейсмических и магнитометрических исследований, а также литературного обзора цитируемые авторы выделяют три периода (этапа) активного магматизма в котловине: 1 — рубеж апта и альба (~113 млн лет); 2 — рубеж сеномана и турона (~93.4 млн лет); 3 — рубеж кампана и маастрихта (~72 млн лет). Не совсем понятно, как на основании геофизических материалов можно выяснить возраст проявления вулканизма, однако такие данные в цитируемой работе приведены. Заметно, что определенные этими авторами периоды активного вулканизма в котловине Пигафетта хорошо совпадают с некоторыми выделенными нами тектоно-магматическими этапами эволюции гайотов Магеллановых гор. А именно: их 1-ый этап хорошо согласуется с нашим 2-ым (позднебаррем(?)—апт-альбским — 127–96 млн лет); а их 2-ой и 3-ий этапы согласуются, соответственно, с нашими 3-им (позднесеноман(?)—турон-раннекампанским — 95–76 млн лет) и 4-ым (позднекампан-маастрихским — 74.5–66.0 млн лет) этапами. Этот факт, в какой-то мере, свидетельствует о единых периодах (этапах) проявления магматизма на различных структурах западной части Тихого океана. Отметим, что в работе (Stadler, Tominogava, 2015) не упоминается о позднеюрско-раннемеловом и кайнозойском этапах эволюции котловины Пигафетта. То есть, геофизические исследования не позволяют цитируемым авторам говорить ни о нали-

чии 1-го (позднеюрско-раннемелового) этапа, ни о его длительности. Вероятно, в силу малых форм рельефа кайнозойский этап ими не выделен.

Геофизические (сейсмические и магнитометрические) исследования и геологические работы (материалы драгирования и глубоководного бурения) позволили выделить свои тектоно-магматические этапы в эволюции различных структур Филиппинского моря (Съедин, Мельниченко, 2011, 2014), которое многие исследователи считают отгороженной частью Тихого океана (Васильковский, 1981; Гнибиденко, 1979; Евланов, 2000 и др.). В Филиппинском море, как и на гайотах Магеллановых гор, выделяются близкие по времени проявления тектоно-магматические этапы — два мезозойских: раннемеловой и позднемеловой, а также группа — кайнозойских. Кайнозойские этапы выделены, прежде всего, на основании данных глубоководного бурения, скважины которого (DSDP и ODP) довольно широко представлены на акватории Филиппинского моря (Съедин, Мельниченко, 2011; 2014). В глубоководных котловинах моря выделяются три кайнозойских тектоно-магматических этапа (Съедин, Мельниченко, 2011; 2014): 1 — среднепалеогеновый (поздний палеоцен-средний эоцен); 2 — поздний олигоцен-раннемиоценовый; 3 — средне-позднемиоценовый (плиоценовый?). Мезозойские и кайнозойские этапы эволюции Филиппинского моря хорошо согласуются с тектоно-магматическими этапами гайотов Магеллановых гор. Этот факт, также, в какой-то мере, свидетельствует о единых периодах (этапах) проявления магматизма в различных структурах западной части Тихого океана.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что тектоно-магматические этапы гайотов Магеллановых гор хорошо согласуются как с этапами эволюции магматизма всего Тихого океана (Пушаровский, 1984, 2005; Голубева, 1990, 2009), так и его отдельных структур — Филиппинского моря и котловины Пигафетта. Кроме этого, выделенные тектоно-магматические этапы гайотов Магеллановых гор дополняют и уточняют по времени меловые и кайнозойские этапы эволюции для Тихого океана. Факт хорошего согласования по времени проявления тектоно-магматических этапов эволюции гайотов Магеллановых гор и других структур Тихого океана свидетельствует о единых периодах проявления магматизма для различных районов Тихого океана.

**Взаимоотношение тектоно-магматических и палеогеографических этапов эволюции Магеллановых гор.** В результате многолетних работ на гайотах Магеллановых гор было поднято большое количество осадочных и минеральных образований. Изучение осадочных пород позволило определить их возраст, фациальные особенности

их формирования, а также установить роль и значение этих образований в понимании эволюции этих структур. Основные результаты изучения осадочных пород приведены в многочисленных работах и суммированы в монографии (Геология..., 2020). В целом результаты изучения осадочных пород сводятся к следующему (Геология..., 2020; Мельников и др., 2006; 2009; 2012; Плетнев, 2012; Плетнев, Мельников, 2015; Плетнев и др., 2014; 2017 и др.):

1 — осадочные породы подняты на всех гайотах Магеллановых гор.

2 — они представлены грубозернистыми образованиями (эдафогенные брекчи, конгломераты, гравелиты), песчаниками разной размерности, а также известняками мелководных и глубоководных фаций.

3 — судя по имеющимся к настоящему времени данным, осадочные образования на гайотах стали формироваться с аптского времени. К этому времени вулканические основания гайотов не только успели оформиться как самостоятельные морфоструктуры, но и на них возникли нормальные морские условия для роста и образования рифовых биогермов.

4 — на основе соотношения остатков мелководной и глубоководной фауны выделены «регрессивные» и «трансгрессивные» фазы развития гайотов. Для «регрессивных» фаз осадконакопления характерны грубозернистые осадочные породы и наличие в них мелководной бентосной фауны, а для «трансгрессивных» — тонкозернистые осадочные образования с остатками планктонных организмов

5 — в истории развития гайотов Магеллановых гор выделяется 5 палеогеографических этапов осадконакопления. Среди них два «регрессивных» цикла осадконакопления: 1 — апт-среднеальбский, и 2 — турон-раннекампанский; а также — три «трансгрессивных» цикла эволюции: 1 — позднеальб-сеноманский, 2 — среднекампан-маастрихтский и 3 — кайнозойский. Временные границы данных циклов часто отмечены стратиграфическими перерывами, резкими литологическими и биостратиграфическими изменениями и одновременно являются независимыми и дополнительными хронологическими рубежами для выделения отдельных тектоно-магматических этапов.

Однако, несмотря на многочисленные публикации, посвященные изучению осадочных пород гайотов Магеллановых гор (Геология..., 2020; Мельников и др., 2006, 2009, 2012; Плетнев, 2012; Плетнев и др., 2014, 2017 и др.), в них не проводилось сопоставление, и не выяснялись корреляционные связи между палеогеографическими этапами осадконакопления и тектоно-магматическими этапами эволюции этих структур.

Речь обычно (и в общих чертах) шла о связи вулканизма с процессами осадконакопления, и иногда, в лучшем случае, указывалось на неоднократные проявления на этих этапах вулканизма. Прежде всего, это обусловлено тем, что тектоно-магматические этапы гайотов Магеллановых гор выделены сравнительно недавно (Съедин и др., 2017). Кроме этого, степень изученности гайотов Магеллановых гор до конца 1990-х гг. была явно недостаточной, чтобы проводить такие исследования, и, чаще всего, охватывала только отдельные гайоты. В разное время выделялись возрастные вулканические комплексы (верхний, нижний; верхний, средний, поздний; и т.д.) обычно без привязки их к определенным возрастным интервалам (Васильев и др., 1985; Гайоты..., 1995; Казьмин и др., 1987; Мельников, 2005; Петрологические..., 1996; Рашидов и др., 2003 и др.). Особенности осадконакопления на гайотах Магеллановых гор также были изучены крайне фрагментарно и только в некоторых работах были сделаны попытки увязать возраст магматического фундамента и время формирования гайотов с возрастом имеющихся здесь осадочных пород обычно на основе их взаимоотношения (Гайоты..., 1995; Казьмин и др., 1987; Мельников, 2005; Петрологические..., 1996 и др.). В тоже время, связь вулканизма и осадконакопления на этих структурах рассматривалась на качественном уровне, т. е. чаще всего говорилось о структурообразующей роли магматизма в образовании гайотов и/или указывалось на влияние вулканизма в целом на процессы осадконакопления (Гайоты..., 1995; Казьмин и др., 1987; Мельников, 2005; Петрологические..., 1996; Плетнев, Мельников, 2015; Heezen et al., 1973 и др.). И только в результате целенаправленных, продолжительных (1998–2020 гг.) и детальных исследований, выполненных в многочисленных рейсах АО «Южморгеология», был накоплен материал, обработка которого позволила выделить вначале особенности и этапы осадконакопления (Геология..., 2020; Мельников и др., 2006, 2009, 2012; Плетнев, 2012; Плетнев и др., 2014, 2017 и др.), а затем — тектоно-магматические этапы (Геология..., 2020; Съедин и др., 2017, 2020, 2022 и др.) эволюции этих структур. Особенности осадконакопления были рассмотрены как для отдельных гайотов (Мельников и др., 2006, 2009, 2012; Плетнев и др., 2017 и др.), так и для всей цепи гайотов Магеллановых гор (Геология..., 2020; Плетнев, 2012; Плетнев и др., 2014; Плетнев, Мельников, 2015 и др.). Тектоно-магматические этапы впервые были выделены в работе (Съедин и др., 2017), более детально рассмотрены в работе (Геология..., 2020) и окончательно были определены в работе (Съедин и др., 2022). Подчеркнем, что указанные геологические (тектоно-

магматические и палеогеографическими) этапы выделены разными исследователями и на основе изучения разных типов пород — осадочных и вулканических. Между тем, следует отметить полное (или практически полное) сходство во времени проявления этих геологических этапов в эволюции гайотов Магеллановых гор. В частности, 2-му тектоно-магматическому этапу соответствует 1-ый (раннемеловой аптальбский) палеогеографический этап осадконакопления «регрессивного» цикла, а 3-ему тектоно-магматическому этапу соответствует 2-ой (позднемеловой турон-раннекампанский) палеогеографический этап осадконакопления «регрессивного» цикла. Подобное сходство по времени проявления и в названии отмечается также и для 4-го (позднемелового) и 5-го (кайнозойского) тектоно-магматических этапов и 2-го (среднекампан-маастрихтского) и 3-го (кайнозойского) палеогеографических этапов осадконакопления «трансгрессивного» цикла эволюции гайотов Магеллановых гор. Этот факт свидетельствует о наличии единых (одновременных) хорошо проявленных этапах эволюции гайотов Магеллановых гор, которые выделены при изучении различных генетических типов пород разными исследователями.

Тектоно-магматические и палеогеографические этапы хорошо увязываются (согласуются) между собой. В период активного вулканизма вершинная часть гайотов находится на поверхности, образуя о-ва, идет их активное разрушение и формируются грубозернистые осадки рифогенных фаций с мелководной малакофауной. Периоду прекращения вулканизма или его относительного покоя между 2-ым и 3-им, а также между 3-им и 4-ым меловыми тектоно-магматическими этапами отвечают «трансгрессивные» палеогеографические этапы осадконакопления — позднеальб-сеноманский и среднекампан-маастрихтский. В это время вершинные части гайотов находятся под водой, формируются более тонкозернистые осадки и биогенные карбонатные илы. В кайнозойское время вершинные части гайотов постепенно погружаются под воду до стадии подводных гор. Кайнозойский вулканизм, в сравнении с меловым, резко ослабевает и обычно имеет подводный характер. Влияние его на осадконакопление ослабевает. Идет, главным образом, биогенное карбонатное осадконакопление.

**Влияние процессов вулканизма и осадконакопления на формирование железо-марганцевых образований.** Гайоты Магеллановых гор стали объектом детальных исследований, в значительной степени благодаря открытию на них крупных скоплений кобальтосодержащих ЖМО. Изучение ЖМО гайотов Магеллановых гор отражено

в отечественных монографиях (Гайоты..., 1995; Железомарганцевые..., 1990; Железомарганцевые..., 2009; Мельников, 2005; Оксидные..., 2014 и др.), а также в большом количестве статей в отечественных и иностранных журналах (Асавин и др., 2010, 2015; Новиков и др., 2014; Hein, Koschinsky, 2014 и др.). В этих работах рассмотрены различные вопросы изучения ЖМО: их распространение, локализация, морфология, структурно-текстурные особенности, минеральный и химический состав, возраст, время образования, а также проблемы их происхождения. Однако, вопрос источника рудного вещества при происхождении ЖМО остается открытым, т. е. до сих пор не ясно откуда берется то огромное количество рудных компонентов, формирующих ЖМО — извлекается из обычной океанской воды или поставляется в воду флюидами при поствулканических процессах?

ЖМО в большом количестве присутствуют на всех гайотах Магеллановых гор и «представлены корками, конкрециями и корково-конкреционными образованиями» (Мельников, 2005, с. 129). Последние, «по-сути, являются конкрециями с нерудными ядрами, занимающими более половины площади центрального среза» (Мельников, 2005, с. 221). Наибольший интерес представляют собой корки — как образования, формирование которых протекало длительное время (поздний мел-четвертичное) и имело дискретный (прерывистый) характер (Мельников, 2005; Мельников, Плетнев, 2013; Мельников, Пуляева, 1994).

Нам представляется, что в рамках настоящей работы наиболее важным моментом в изучении ЖМО гайотов Магеллановых гор являются не их состав, а время (возраст) и периодичность их формирования, а также возможная связь процесса железомарганцевого рудообразования на этих структурах с тектоно-магматическими и палеогеографическими этапами их эволюции. В результате биостратиграфических исследований удалось обосновать возрастную стратификацию полного разреза корок (Мельников, 2005; Мельников, Плетнев, 2013; Мельников, Пуляева, 1994). Возрастные границы в рудном разрезе, созданные на основе разных биостратиграфических групп, в целом сходны, незначительно дополняя и уточняя одна другую. В основании разреза находится т.н. «реликтовый слой» (по кокколитофоритам выделяется два реликтовых слоя — «а» и «b» (Мельников, 2005; Мельников, Плетнев, 2013; Мельников, Пуляева, 1994), возраст которого, определенный по кокколитофоритам, — кампан-маастрихт, а по фораминиферам — конец маастрихта-ранний палеоцен. Согласно положению обеих шкал, «реликтовый слой» начал формироваться в самом позднем мелу и завершил свое образование

к концу маастрихта или — в раннем палеоцене. Возраст слоев в кайнозойском разрезе корок по обем шкалам практически совпадает, несколько отличаясь в его миоцен-четвертичной части. Кроме «реликтового слоя» выше стратиграфически выделяются еще три слоя (Мельников, 2005; Мельников, Пуляева, 1994; Мельников, Плетнев, 2013): слой I-1 (по фораминиферам — поздний палеоцен-первая половина эоцена; по наннопланктону — поздний палеоцен-ранний эоцен); слой I-2 (по фораминиферам — средний эоцен-первая половина позднего эоцена; по наннопланктону — средний-поздний эоцен); слой II (по фораминиферам — поздний миоцен; по наннопланктону — миоцен); слой III — (по фораминиферам — плейстоцен; по наннопланктону — плиоцен-четвертичный). Такой разрез корок четко указывает на цикличность в формировании ЖМО и их отдельных слоев, а также на наличие длительных перерывов между ними.

Наиболее древние ЖМО в виде слоев погребенных конкреций обнаружены на гайоте Бутакова в осадочных породах сеноманского возраста (Мельников, Плетнев, 2013), а также в виде обломков рудных корок в сантонских брекчиях (Мельников, 2005). Вероятно, что погребенные конкреции и эти рудные корки сформировались после 2-го (позднebarрем(?)—апт-альбского) тектоно-магматического этапа в период 1-го «трансгрессивного» этапа осадконакопления в позднеальб-раннесеноманское время. Позднее они были разрушены, а их фрагменты стали обломочным материалом в период нового подъема вершинных частей гайотов и их активной дезинтеграции (разрушения), что произошло, скорее всего, во время 3-го (позднесеноман(?)-турон-раннекампанского) тектоно-магматического этапа в период активного вулканизма, когда вершины гайотов вновь оказались на поверхности, и начался 2-ой (турон-раннекампанский) «регрессивный» этап осадконакопления, сопровождавшийся формированием грубозернистых осадков.

Формирование «реликтового» (кампан-маастрихтского или конец маастрихта-ранний палеоцен) слоя корок, скорее всего, произошло после завершения 3-го (позднесеноман(?)-турон-раннекампанского) тектоно-магматического этапа, когда процессы активного вулканизма резко сократились (или вообще прекратились) и начался очередной 2-ой «трансгрессивный» (среднекампан-маастрихтский) этап осадконакопления.

Кайнозойские слои в разрезе железомарганцевых корок формируются в течение всего этого периода с отчетливо выраженной цикличностью. Кайнозойское время соответствует 3-му «трансгрессивному» этапу осадконакопления.

Осадконакопление в этот период идет главным образом в подводных условиях при периодической активизации процессов вулканизма, который протекал главным образом в подводных условиях. Скорее всего, слой I-1 (поздний палеоцен-первая половина эоцена) формируется после завершения 4-го (позднемелового-позднекампан-маастрихтского) тектоно-магматического этапа, а слой I-2 (средний эоцен-поздний эоцен) — после завершения 1-го кайнозойского (позднепалеоцен-среднеэоценового) тектоно-магматического этапа. Слой II (миоцен или поздний миоцен) формируется после завершения 2-го кайнозойского (позднеолигоцен-раннемиоценового) тектоно-магматического этапа. Слой III (плиоцен-четвертичный) формируется после завершения 3-го кайнозойского (среднепозднемиоценового (плейстоценового?)) этапа.

На наш взгляд, именно таким образом выглядит взаимосвязь разновозрастного железомарганцевого рудогенеза с процессами геологической эволюции гайотов Магеллановых гор. В таком случае, т.н. цикличность железомарганцевого рудообразования здесь отражает не случайное явление, а закономерно возобновляемые природные процессы, скорее всего, обусловленные очередной активизацией магматизма, а также — сменой тектоно-магматических режимов и условий осадконакопления. Время активного роста рудных корок в мелу и палеогене хорошо совпадает с «трансгрессивными» фазами осадконакопления в эволюции 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 разную температуру по вертикали и различный химический состав, прежде всего, по уровню кислорода. Тем не менее, это не повлияло на прекращение процессов рудогенеза на подводных горах. Существенное погружение на 1000–2500 м гайотов Магеллановых гор, которое происходило, начиная с позднего мела, подтверждается имеющимися батиметрическими и геологическими фактами. По данным (Геология..., 2020) вершинные поверхности гайотов, которые в настоящее время расположены на глубинах 1300–2500 м, ранее выступали на поверхность в виде о-вов или находились в близповерхностном положении. Возможным триггером периодического очередного возобновления роста ЖМО могли быть глубинное эндогенное тепло, очередная активизация вулканизма, сопровождающая его поствулканическая деятельность и сопряженные

с ней восходящие газо-флюидные потоки, которые путем сложного взаимодействия гидрологических, геохимических и биологических процессов создавали в экосистемах над гайотами благоприятные условия для рудогенеза коркового типа. Однако, необходимым и определяющим фактором являются поствулканические процессы, которые поставляют в обычную океанскую воду рудные компоненты, впоследствии формирующие ЖМО.

Детальное послышное (реликтовый слой, слои I-I, I-II, II и III) изучение химического состава железо-марганцевых корок с гайотов Магеллановых гор (Асавин и др., 2010, 2015; Новиков и др., 2014 и др.) позволило цитируемым авторам сделать некоторые выводы об особенностях концентрации и поведения в них различных элементов, а также предложить свое объяснение причин вариаций их содержаний по всему разрезу корок. В работе (Новиков и др., 2014) указывается на «пульсационный характер» поступления катионов тяжелых металлов в рудные минералы в разные геологические эпохи, притом, что «источник катионов металлов всегда один — океанская вода» (Новиков и др., 2014, с. 23–24).

В работах (Асавин и др., 2010; 2015) говорится о значительных вариациях концентраций различных элементов в каждом слое и по всей мощности корок. В работе (Асавин и др., 2015) авторы говорят о наличии микропериодичности в изменении содержаний большинства микроэлементов, которая может быть обусловлена глобальными вариациями климатических условий в океане, а также «изменением уровня океана и изменением глубины кислородного уровня» (Асавин и др., 2015, с. 38). В то же время авторы цитируемой работы рассматривают вулканизм как один из возможных процессов, который может влиять на формирование микрослоистости и изменений содержаний микроэлементов в корках. Однако влияние процессов вулканизма на образование всех слоев корок (кроме слоя III, и то частично) ими не признается.

Мы полагаем, что «пульсационный характер» поступления катионов тяжелых металлов в рудные минералы в разные интервалы геологического времени (Новиков и др., 2014), а также обнаруженная микрослоистость Fe-Mn корок и микропериодичность в изменении содержаний в них большинства микроэлементов (Асавин и др., 2010, 2015) логичнее всего объясняются периодической активизацией магматизма и, соответственно, поствулканических процессов на гайотах Магеллановых гор. Это хорошо согласуется с нашими представлениями о периодическом поступлении в океанскую воду обогащенных различными элементами флюидов

при поствулканических процессах вследствие очередной (разновременной) активизации магматизма.

Существует точка зрения, согласно которой поставка рудного вещества происходит за счет взаимодействия восходящих гидротермальных флюидов с породами субстрата. Таких представлений придерживаются многие геологи, занимающиеся проблемами океанического рудогенеза (Курносков, 1986; Fistova et al., 2022; German, Seyfried, 2014; Hein, Whisman, 2018; Metz, Trefry, 2000; Tivey, 2007 и др.)

Если стать на точку зрения поставки рудного вещества в воду гидротермальным флюидом при поствулканических процессах, то в дальнейшем можно ожидать извлечение химических элементов из пересыщенной ими водной толщи и концентрацией их в виде ЖМО в результате различных процессов. В этом случае, если магматизм имеет длительный и дискретный характер, то время и периоды его проявления должны отразиться в циклическом строении разреза разновозрастных ЖМО. Отметим, что процессы магматизма на гайотах Магеллановых гор проявлялись периодически в течение длительного (ранний мел-поздний миоцен-плиоцен-плейстоцен (?)) времени (Геология..., 2020; Съедин и др., 2022), поэтому здесь следует ожидать существование ЖМО разного возраста. Так и оказалось. Изучение Fe-Mn корок на гайотах Магеллановых гор выявило наличие в них циклического строения и различный возраст отдельных слоев в рудном разрезе от позднего мела до плейстоцена (Мельников, 2005; Мельников, Пуляева, 1994; Мельников, Плетнев, 2013). В дополнение к этому детальное послышное изучение химического состава Fe-Mn корок гайотов Магеллановых гор позволило исследователям сделать вывод о «пульсационном характере» поступления катионов тяжелых металлов в рудные минералы Fe-Mn корок в разные интервалы геологического времени (Новиков и др., 2014), а также установить микрослоистость этих корок и микропериодичность в изменении содержаний в них многих элементов по всему разрезу корок (Асавин и др., 2010, 2015).

Итак, циклическое (дискретное) формирования Fe-Mn корок, особенности их строения и различный возраст отдельных слоев в рудном разрезе, пульсационный характер поступления катионов тяжелых металлов в рудные минералы корок, а также микропериодичность в изменении содержаний в них большинства микроэлементов, логичнее всего объясняются периодической активизацией магматизма и, соответственно, поствулканических процессов на гайотах Магеллановых гор. Все это позволяет предполагать

наличие генетической связи между магматизмом и процессами формирования ЖМО на этих структурах.

## ВЫВОДЫ

Данные по радиоизотопному датированию вулканических пород гайотов Магеллановых гор, а также анализ доступных геолого-геофизических материалов по изучению этих структур и прилегающей части Тихого океана позволяют сделать следующие выводы:

1. Вулканическая активность на гайотах Магеллановых гор имела длительный и пульсирующий (дискретный) характер. Скорее всего, активный магматизм начался здесь в позднеюрское время и проявлялся в виде отдельных эпизодов вплоть до позднего миоцена (плиоцен-плейстоцена?).

2. Данные о длительной (поздняя юра — поздний кайнозой) и периодической активности вулканизма на одних и тех же гайотах в течение порядка 100 млн лет заставляют критически (вплоть до полного ее исключения) подходить к применению любых вариантов модели «горячей точки» для обоснования образования этих структур.

3. На гайотах Магеллановых гор на основе имеющихся определений радиоизотопного возраста вулканических пород, биостратиграфических данных, а также материалов глубоководного бурения выделены 5 крупных тектоно-магматических этапов: 1 — позднеюрско-раннемеловой (самый ранний мел — ~160–140 (?) млн лет); 2 — раннемеловой (поздний баррем (?)—апталбский — ~127–96 млн лет); 3 — позднемеловой (позднесеноман (?)—турон-раннекампанский — ~95–76 млн лет); 4 — позднемеловой (позднекампан-маастрихский ~74.5–66.0 млн лет); 5 — кайнозойский — ~66–0 млн лет. Крупный кайнозойский этап разделяется на три этапа более низкого порядка: 1 — позднепалеоцен-эоценовый, 2 — позднеолигоцен-раннемиоценовый, 3 — среднемиоцен-позднемиоценовый (плиоцен-плейстоценовый?).

4. Каждый из тектоно-магматических этапов характеризует конкретное геоморфологическое пространство гайотов Магеллановых гор (основание или пьедестал, основная часть постройки, небольшие осложняющие наложенные структуры второго порядка). В результате 1-го тектоно-магматического этапа эволюции этих структур сформированы их основания (пьедесталы, или цоколи) до глубин 4500–3500 м; в результате 2-го и 3-го этапов эволюции были сформированы основная часть постройки каждого из гайотов; во время 4-го и 5-го этапов формировались локальные (наложенные) структуры вулканического

происхождения, которые характеризуют процесс позднемеловой и кайнозойской тектонической активизации основной части постройки гайотов. Наиболее значимыми для формирования гайотов Магеллановых гор были 1-ый, 2-ой и 3-ий тектоно-магматические этапы, в течение которых были сформированы пьедестал и основная часть постройки каждого из гайотов.

5. Тектоно-магматические этапы гайотов Магеллановых гор имеют различную продолжительность, и каждый из них естественно внес разный вклад в формирование общего тела этих структур. Наиболее длительными были 1-ый и 5-ый этапы, длительность которых составляет ~40–60 млн лет.

6. Хронология тектоно-магматических этапов гайотов Магеллановых гор хорошо согласуется с этапами тектоно-магматической активизации, как для всего Тихого океана, так и его отдельных структур. Выделенные для гайотов Магеллановых гор тектоно-магматические этапы дополняют и уточняют по времени меловые и кайнозойские этапы тектоно-магматической активизации для Тихого океана. Факт хорошего согласования по времени проявления тектоно-магматических этапов эволюции гайотов Магеллановых гор и других структур Тихого океана свидетельствует о существовании единых этапов проявления магматизма в различных районах Тихого океана.

7. Тектоно-магматические этапы эволюции гайотов Магеллановых гор, выделенные при изучении вулканических пород, хорошо согласуются с палеогеографическими этапами осадконакопления, которые предложены ранее на основании биостратиграфических и литологических материалов по этим структурам. Периоды активного магматизма совпадают по времени с этапами «регрессивного» осадконакопления, а время затухания или полного прекращения вулканизма — с этапами «трансгрессивного» осадконакопления. Тектоно-магматические и палеогеографические этапы хорошо дополняют друг друга и позволяют более обоснованно и корректно интерпретировать эволюцию гайотов Магеллановых гор.

8. Продолжительная вулканическая деятельность и, прежде всего, поствулканические процессы сыграли определяющую роль в поставке в океанскую воду флюидов, обогащенных рудными компонентами. Это в результате различных процессов, могло привести к формированию различных типов ЖМО на гайотах Магеллановых гор. Периодичность (дискретность) вулканических процессов в течение длительного периода времени обеспечила стадийность в образовании Fe-Mn корок. Судя по стратиграфии ЖМО, наиболее значимыми для

поставки и накопления рудного вещества были 4-ый и 5-ый тектоно-магматические этапы — то есть, те этапы, в которых магматизм протекал, главным образом, в подводных условиях.

Таким образом, изучение вулканических пород и данные по их радиоизотопному датированию свидетельствуют о длительных процессах магматизма на гайотах Магеллановых гор и его определяющей роли в формировании и эволюции этих структур. Высокий уровень исследований и кондиционные материалы, полученные при изучении вулканических и осадочных пород, а также ЖМО гайотов Магеллановых гор позволяет рассматривать их в качестве эталонного объекта при изучении особенности эволюции структур подобного типа Тихого океана.

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).

#### Список литературы [References]

- Асавин А.М., Кубракова И.В., Мельников М.Е. и др.* Геохимическая зональность железомарганцевых корок гайота Ита-Май-Тай // Геохимия. 2010. № 5. С. 451–474 [Asavin A.M., Kubrakova I.V., Melnikov M.E. et al. Geochemical zoning in Ferromanganese Crusts of Ita-MaiTai guyot // Geochemistry International. 2010. V. 48. № 5. P. 423–445 (in Russian)].
- Асавин А.М., Дарин А.В., Мельников М.Е.* Микроритмичность в содержаниях Co, Mo, Ni, La в кобальт-марганцевых корках Магеллановых подводных гор // Геохимия. 2015. № 1. С. 22–42 [Asavin A.M., Darin A.V., Melnikov M.E. Microrhythmic distribution of Co, Mn, Ni and La contents in Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts from Magellan Seamounts // Geochemistry International. 2015. Iss. 1. P. 19–38. <https://doi.org/10.1134/S0016702915010024>].
- Васильев Б.И.* Геологическое строение и происхождение Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2009. 560 с. [Vasiliev B.I. Geological structure and origin of the Pacific ocean. Vladivostok: Dalnauka. 2009. 560 p. (in Russian)].
- Васильев Б.И., Евланов Ю.Б., Симаненко В.П.* К геологическому строению Магеллановых гор Тихого океана // Тихоокеанская Геология. 1985. № 3. С. 97–101 [Vasiliev B.I., Evlanov Yu.B., Simonenko V.P. Geological structure Magellan Seamounts of the Pacific ocean // Pacific Geology 1985. № 3. P. 97–101 (in Russian)].
- Васильковский Н.П.* Направленность развития земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану // Геология дальневосточной окраины Азии. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 120–136 [Vasilkovsky N.P. The direction of the development of the earth's crust in the area of transition from the Asian continent to the Pacific Ocean // Geology of the Far-Eastern margin Asia. Vladivostok, 1981. P. 120–136 (in Russian)].
- Волохин Ю.Г.* Мезозойское и кайнозойское кремнеосаждения в окраинных бассейнах востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2012. 434 с. [Volokhin Yu. G. Mesozoic and Cenozoic Siliceous Sedimentation in Eastern Asian Margin Basins: Vladivostok: Dalnauka, 2012. 434 p. (in Russian)].
- Вулканические пояса Востока Азии (геология и металлогения) / Отв. ред. А.Д. Щеглов. М.: Наука, 1984. 504 с. [Vcanic belts of Eastern Asia / Ed. A.D. Shcheglov. 1984. Moscow: Nauka, 504 p. (in Russian)].
- Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Волохин Ю.Г., Мельников М.Е., Школьник Э.Л. и др. М.: Наука, 1995. 368 с. [Guyots of the Western Pacific and their mineralization / Volokhin Yu.G., Melnikov M.E., Shkolnik E.L. et al. Moscow: Nauka, 1995. 368 p. (in Russian)].
- Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 1–572 [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russian East: in 2 books / Ed. by A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dalnauka, 2006. Book. 1. P. 1–572. (in Russian)].
- Геология гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) / Плетнев С.П., Мельников М.Е., Съедин В.Т. и др. Владивосток: Дальнаука, 2020. 200 с. [Geology of the guyots of the Magellan Seamounts (Pacific Ocean) / Pletnev S.P., Melnikov M.E., S'edin V.T. et al. Vladivostok: Dalnauka, 2020. 200 p. (in Russian)].
- Гнибиденко Г.С.* Тектоника окраинных морей Дальнего Востока. М.: Наука. 1979. 164 с. [Gnibidenko H.S. The tectonics of the Far East Marginal seas. Moscow: Nauka, 1979. 164 p. (in Russian)].
- Голубева Э.Д.* Толейтовые базальты Тихого океана (петрология и геохимия). Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 136 с. [Golubeva E.D. Tholeiitic basalts of the Pacific ocean (geochemistry and petrology). Vladivostok: DVO AN USSR, 1990. 136 p. (in Russian)].
- Голубева Э.Д.* Эволюция магматизма Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2009. 132 с. [Golubeva E.D. Magmatic Evolution of the Pacific ocean. Vladivostok: Dalnauka, 2009. 132 p. (in Russian)].
- Евланов Ю.Б.* Филиппинское море. Геологическое строение, эволюция магматизма и осадконакопления. Владивосток: Дальнаука, 2000. 92 с. [Evlanov Yu.B. The Philippine sea. Geological structure, evolution of magmatism and sedimentation. Vladivostok: Dalnauka, 2000. 92 p. (in Russian)].
- Железомарганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана / Под ред. Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.Б. М.: Наука, 1990. 229 с. [Ferromanganese Crusts and Nodules of Pacific Seamounts / Ed. by Yu.A. Bogdanov, O.G. Sorokhtin, L.B. Zonenshain, Moscow: Nauka, 1990. 229 p. (in Russian)].
- Железомарганцевые корки, конкреции гайотов и конкреции батииали океана — проблемы определения условий их формирования / Под ред. В.В. Авдонин. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2009. 125 с.

- [Ferromanganese crust, guyot nodules and bathyal nodules of the ocean – problems of their formation conditions / Ed. by V.V. Avdonin. Vladivostok: DVGI DVO RAN, 2009. 125 p. (in Russian)].
- Курносов В.Б.* Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения (по материалам глубоководного бурения). М.: Наука, 1986. 256 с. [*Kurnosov V.B.* Hydrothermal alterations of basalts in the Pacific Ocean and metal-bearing Deposits, Using Data of Deep-sea Drilling. Moscow: Nauka, 1986. 256 p. (in Russian)].
- Маракушев А.А., Моисеенко В.Г., Сахно В.Г., Тарарин И.А.* Рудно-петрологические комплексы Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2005. 296 с. [*Marakushev A.A., Moiseenko V.G., Sakhno V.G., Tararin I.A.* Ore-magmatic complexes of the Pacific Ocean. Vladivostok: Dalnauka, 2005. 296 c. (in Russian)].
- Мельников М.Е.* Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. – Геленджик: ГНЦ «Южмор-геология», 2005, 230 с. [*Mel'nikov M.E.* Deposits of cobalt-rich manganese crusts. Gelendzhik: SSC «Yuzhmorgeologiya», 2005. 230 p. (in Russian)].
- Мельников М.Е., Подшувейт В.Б., Пуляева И.А., Невретдинов Эр.Б.* Среднемиоценовые вулканические постройки на гайоте Дальморгеология (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 5. С. 38–46 [*Mel'nikov M.E., Podshuveit V.B., Pulyaeva I.A., Nevretdinov Er.B.* Middle Miocene Volcanic structures on the Guyot Dalmorgeologiya (Magellan Mountains, Pacific Ocean) // Pacific Geology. 2000. V. 19. № 5. P. 38–46 (in Russian)].
- Мельников М.Е., Плетнев С.П., Басов И.А. и др.* Новые геологические и палеонтологические данные по гайоту Федорова (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 1. С. 3–13 [*Mel'nikov M.E., Pletnev S.P., Basov I.A. et al.* New geological and paleontological data from the Fedorov guyot (Magellan seamounts Pacific Ocean) // Russian Journal of Pacific Geology. 2006. V. 25. № 1. P. 3–13].
- Мельников М.Е., Плетнев С.П., Басов И.А., Седышева Т.Е.* Новые данные о морфологии и геологическом строении гайота Грамберга (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 4. С. 105–115 [*Mel'nikov M.E., Pletnev S.P., Basov I.A., Sedysheva T.E.* New data on the morphology and geological structure of the Gramberg guyot (Magellan seamounts Pacific Ocean) // Russian Journal of Pacific Geology. 2009. V. 3. Iss 4. P. 401–410. <https://doi.org/10.1134/S1819714009040071>].
- Мельников М.Е., Плетнев С.П., Седышева Т.Е. и др.* Первые данные о геологическом строении гайота Бутакова, Магеллановы горы, Тихий океан // Вестник КРАУНЦ. 2012. № 1. Вып. 19. С. 231–250 [*Mel'nikov M.E., Pletnev S.P., Sedysheva T.E. et al.* First data on the geological structure of Butakov's guyot, Magellanic Mountains, Pacific Ocean // Bulletin of KRAUNTs. 2012. № 1 (19). P. 231–250 (in Russian)].
- 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 [*Mel'nikov M.E., Pletnev S.P.* Age and formation conditions of the Co-Rich manganese crust on guyots of the Magellanic Seamounts // Lithology and Mineral Resources. 2013. V. 48. № 1. P. 1–13. <https://doi.org/10.1134/S0024490212050057>].
- Мельников М.Е., Плетнев С.П., Анохин В.М. и др.* Вулканические постройки на гайотах Магеллановых гор (Тихий океан) // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35. № 6. С. 46–53 [*Mel'nikov M.E., Pletnev S.P., Anokhin V.M. et al.* Volcanic Edifices on Guyots of the Magellan Seamounts (Pacific Ocean) // Russian Journal of Pacific Geology. 2016. V. 10. № 6. С. 435–442. <https://doi.org/10.1134/S1819714016060038>].
- Мельников М.Е., Пуляева И.А.* Железомарганцевые корки поднятия Маркус-Уэйк и Магеллановых гор Тихого океана: строение, состав, возраст // Тихоокеанская геология. 1994. № 4. С. 13–27 [*Mel'nikov M.E., Pulyaeva I.A.* Ferromanganese crust of the Markus-Wake elevation and Magellan Seamounts: construction, composition, age // Pacific Geology. 1994. № 4. P. 13–27 (in Russian)].
- Новиков Г.В., Мельников М.Е., Богданова О.Ю., Викентьев И.В.* Природа кобальтоносных железомарганцевых корок Магеллановых гор Тихого океана. Сообщение 1. Геология, минералогия, геохимия // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 1. С. 3–25 [*Novikov G. V., Mel'nikov M.E., Bogdanova O.Y., Vikent'ev I.V.* Nature Co-bearing Ferromanganese crusts of the Magellan Seamounts of the Pacific ocean. Communication 1. Geology, Mineralogy, Geochemistry // Lithology and Mineral Resources. 2014. V. 49. № 1. P. 1–22. <https://doi.org/10.1134/S0024490213060072>].
- Оксидные железомарганцевые руды океана: генетическая интерпретация текстур и структур / Под ред. В.В. Авдолина. М.: ГЕОС, 2014. 163 с. [Oxide ferromanganese ores of the ocean: genetic interpretation of textures and structures / Ed. by V.V. Avdonin. Moscow: GEOS, 2014. 163 p. (in Russian)].*
- Перетяжко И.С., Савина Е.А., Пуляева И.А., Юдин Д.С.* Возраст вулканических пород и геодинамические модели формирования гайотов Магеллановых гор в Тихом океане. Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН (Москва), научное электронное издание. 2020. С. 409–412 [*Peretyazhko I.S., Savina E.A., Pulyaeva I.A., Yudin D.S.* The age of Volcanic rocks and geodynamic models of the formation of the Guyots of the Magellanic Mountains in the Pacific Ocean. Conference: Rock, Mineral and Ore Formation: Achievements and Research Prospects. Proceedings for the 90th anniversary of IGEM RAS (Moscow), scientific electronic publication. 2020. P. 409–412 (in Russian)].
- Перетяжко И.С., Савина Е.А., Пуляева И.А., Юдин Д.С.* Внутриплитный вулканизм гайота Альба: геодинамические модели формирования Магеллановых гор в Тихом Океане на протяжении 100 миллионов лет // Геология и геофизика, 2023. Т. 64. № 1. С. 3–33 [*Peretyazhko I.S., Savina E.A., Pulyaeva I.A., Yudin D.S.* Intraplate Volcanism of the Alba Guyot: Geodynamic models formation of the Magellan Seamounts in the Pacific Ocean over 100

- million years // Russian Geology and Geophysics. 2023. V. 64. № 1. P. 1–27 (in Russian) <https://doi.org/10.2113/RGG20214422>].
- Петрологические провинции Тихого океана / Говоров И.Н., Голубева Э.Д., Пушин И.К. и др. М.: Наука, 1996. 444 с. [Pacific petrological provinces / Govorov I.N., Golubeva E.D., Pushchin I.K. et al. Moscow: Nauka, 1996. 444 p. (in Russian)].
- Плетнев С.П. Палеогеография осадочных бассейнов западной части Тихого океана (Поздний мел – Кайнозой) / Автореф. дисс. доктора географич. наук. Владивосток, 2012. 49 с. [Pletnev S.P. Paleogeography of sedimentary basins of the Western Pacific Ocean (Late Cretaceous – Cenozoic) / Avtoreferat dissertation of Doctor of Geographical Sciences. V.I. Ilyichev Pacific Oceanol. Institute of the FEB RAS. Vladivostok, 2012. 49 p. (in Russian)].
- Плетнев С.П., Мельников М.Е. Палеогеографические этапы развития Магеллановых гор (Тихий океан) // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 33–42 [Pletnev S.P., Melnikov M.E. Paleogeographic stages of development of the guyots of the Magellan Seamounts (Pacific ocean) // Vestnik DVO RAN. 2015 № 2. P. 33–42 (in Russian)].
- Плетнев С.П., Пунина Т.А., Смирнова О.А. Геологическое развитие гайотов Магеллановых гор и сопредельных районов в меловое время // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 251–253 [Pletnev S.P., Punina T.A., Smirnova O.A. Geological development of the guyots of the Magellanic Mountains and adjacent areas in the Cretaceous // Cretaceous system of Russia and neighboring countries: problems of stratigraphy and paleogeography. Vladivostok: Dalnauka, 2014. P. 251–253 (in Russian)].
- Плетнев С.П., Мельников М.Е., Пунина Т.А. и др. Новые палеонтологические данные по гайотам Говорова, Вулканолог и Коцебу (Магеллановы горы, Тихий океан) // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 2. С. 86–92 [Pletnev S.P., Melnikov M.E., Punina T.A. et al. New paleontological data on Govorov, Vulkanolog and Koceby guyots (Magellan Seamounts, Pacific ocean) // Russian Journal of Pacific Geology. 2017. V. 11. № 2. С. 148–153. <https://doi.org/10.1134/S1819714017020063>].
- Пушаровский Ю.М. О магматических провинциях и тектонике Тихого океана // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1984. № 11. С. 13–18 [Pushcharovskiy Yu.M. About the magmatic areas and tectonics of the Pacific Ocean // Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya geologicheskaya. 1984. № 11. P. 13–18 (in Russian)].
- Пушаровский Ю.М. Тектоника Земли. Т. 1. Тектоника и геодинамика. М.: Наука, 2005. С. 9–32 [Pushcharovskiy Yu.M. Tectonics of the Earth. V.1: Tectonics and Geodynamics. Moscow: Nauka, 2005. P. 9–32 (in Russian)].
- Радиоизотопная геология в задачах и примерах / Рассказов С.В., Брандт С.Б., Брандт И.С. и др. Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2005. 268 с. [Radiogenic isotopic geology in problems and examples / Rasskazov S.V., Brandt S.B., Brandt I.S., Ivanov A.V. et al. Novosibirsk: «ГЕО», 2005. 268 p. (in Russian)].
- Рашидов В.А., Невретдинов Э.Б., Селянгин О.Б., Невретдинов Эр.Б. Геолого-геофизические исследования гайотов Магеллановых гор Тихого океана // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 103–126 [Rashidov V.A., Nevredtinov E.B., Selyangin O.B., Nevredtinov Er.B. Geologic-geophysical investigations of guyots of the Magellan Seamounts of the Pacific ocean // Vestnik KRAUNTs. Earth Sciences. 2003. № 1. P. 103–126 (in Russian)].
- Сахно В.Г. Позднемезозойско-кайнозойский континентальный вулканизм Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2002. 336 с. [Sakhno V.G. Late Mesozoic-Cenozoic Continental Volcanism. Vladivostok: Dalnauka, 2002. 336 p. (in Russian)].
- Съедин В.Т., Мельниченко Ю.И. Тектоно-магматические этапы Филиппинского моря и эволюция его впадины // Физика геофер: 7-ой Всероссийский симпозиум, 5–9 сентября 2011 г., Владивосток, Россия: мат. Докл. Владивосток: Дальнаука, 2011. С. 405–417 [S'edin V.T., Melnichenko Yu.I. Tectono-magmatic stages of the Philippine Sea and Evolution of this basin // Physics of Geospheres: 7-th All-Russia Symposium, 5–9 September 2011, Vladivostok, Russia: Proceeding – Vladivostok: Dalnauka, 2011. P. 405–417 (in Russian)].
- Съедин В.Т., Мельниченко Ю.И. Широкий разлом Филиппинского моря – особенности строения и эволюции // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 6. С. 81–98 [S'edin V.T., Mel'nichenko Yu.I. Shirotny Fault of the Philippine Sea – Structural peculiarities and evolution // Tihookeanskaya geologiya. 2014. V. 33. № 6. P. 81–98 (in Russian)].
- Съедин В.Т., Авдонин В.В., Мельников М.Е. Тектоно-магматические этапы Магеллановых гор (Тихий океан) // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Материалы 49-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2017. Т. 2. С. 234–239 [Syedin V.T., Avdonin V.V., Melnikov M.E. Tecton-magmatic stages of the Magellan Seamounts (Pacific Ocean) // Tectonics of modern and ancient oceans and their margins Proceeding of 49 Tectonics Conference. Moscow: GEOS, 2017. V. 2. P. 234–239 (in Russian)].
- Съедин В.Т., Авдонин В.В., Плетнев С.П. Тектоно-магматические этапы Магеллановых гор (новые представления) // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы 52-го Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2020. Т. 2. С. 200–204 [S'edin V.T., Avdonin V.V., Pletnev S.P. Tecton-magmatic stages of the Magellan Seamounts (new views) // Fundamental Problems of Tectonics and Geodynamics. Proceeding of 52 Tectonics Conference. Moscow: GEOS, 2020. V. 2. P. 200–204 (in Russian)].
- Съедин В.Т., Плетнев С.П., Седышева Т.Е. Возрастные вулканические комплексы и тектоно-магматические этапы эволюции Магеллановых гор (Тихий океан). Сообщение 1: Вулканические комплексы // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. № 4. Вып. 56. С. 90–116. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-4-56-90-116> [Syedin V.T., Pletnev S.P., Sedysheva T.E. Volcanic complexes and tecton-magmatic stages of the Magellan Seamounts (Pacific Ocean). Message 1: Volcanic complexes //

- Vestnik KRAUNTS. Earth Sciences. 2022. № 4 (56). P. 90–116 (in Russian).
- Углов Б.Д., Мельников М.Е. Тектоника рудной провинции Магеллановых гор Тихого океана по геофизическим данным // Руды и металлы. 2015. № 4. С. 26–38 [Uglov B.D., Melnikov M.E. Tectonics of ore province Magellan Seamounts ore province of Pacific Ocean by geophysical data // Ores and metals. 2015. №. 4. P. 26–38 (in Russian)].
- Batiza R., Shcheka S., Tokuyama H. et al. Sannury and index to petrologic and geochemical studies of LEG 61 basalts // Initial Reports DSDP. 1982. V. 61. P. 829–839.
- Clouard V., Bonneville A. Ages of Seamounts, islands and plateaus on the Pacific Plate (ver. 2.0. October 2000). <http://www.ufp.pf/geos>
- Deitz R.S. Marine geology of Northwestern Pacific: description of Japanese bathymetric chart 6901 // Bulletin of the Geological Society of America. 1954. V. 65. P. 1199–1221.
- Firstova A., Cherkashov G., Stepanova T. et al. New Data for the Internal Structure of Ultramafic Hosted Seafloor Massive Sulfides (SMS) Deposits: Case Study of the Semenov-5 Hydrothermal Field (13°31' N, MAR). Minerals. 2022. V. 12. 1593. <https://doi.org/10.3390/min12121593>
- German C.R., Seyfried W.E. Hydrothermal Processes // Ed. by Holland H.D., Turekian K.K. Treatise on Geochemistry, Second Edition. Oxford: Elsevier, 2014. V. 8. P. 191–233. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00607-0>
- Heezen B.C., Matthews J.L., Catalano R. et al. Western Pacific guyots // Initial Reports DSDP. 1973. V. 20. P. 653–723.
- Hein J.R., Koschinsky A. Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules // Ed. by Holland H.D., Turekian K.K. Treatise on Geochemistry, Second Edition. Oxford: Elsevier, 2014. V. 13. P. 273–291.
- Hein J.R., Whisman S. Resource potential of hydrothermal manganese deposits from the global ocean. 28th Goldschmidt Conference. USA: Boston, 2018. Abstract 992.
- Hirano N., Ogawa Y., Saito K. Long-lived early Cretaceous Seamount Volcanism in the Mariana Trench, Western Pacific Ocean // Marine Geology. 2002. V. 189 Iss. 3–4. P. 371–379.
- Initial reports of the Deep-Sea Drilling Program. V. 20. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1973. 958 p.
- Initial reports of the Deep-Sea Drilling Program. V. 89. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 1985. 998 p.
- 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 Planetary Science Letters, 1998. V. 163. P. 53–68.
- Koppers A.A.P., Staudigel H., Pringle M.S., Wijlbrans J.R. Short-lived and discontinuous intraplate Volcanism in the South Pacific: hot spots or extensional Volcanism? // Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G3). Electronic Journal of the Earth Sciences. 2003. V. 4. № 10. 49 p.
- Kyoko Y., Osamu I., Haruhisa M., Hikari H. Chemical compositions and ages of basalts from seamounts in the Northwest Pacific // Bulletin of the Geological Survey of Japan. 2022. V. 73. № 3. P. 103–135.
- Lancelot Y., Larson R.L. et al. Proceeding ODP, Initial Reports, TX. College Station, 1990. V. 129. 488 p.
- Metz S., Trefry J.H. Chemical and mineralogical influences on concentrations of trace metals in hydrothermal fluids // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, V. 64, № 13. P. 2267–2279. [https://doi.org/10.1016/s0016-7037\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/s0016-7037(00)00354-9)
- Peretyazko I.S., Savina E.A. Chemistry and Crystallization Conditions of Minerals in Metasomatized Oceanic lithosphere and Basaltic Rocks of Govorov Guyot, Magellan Seamounts, Pacific Ocean // Minerals. 2022a. V. 12. Iss. 10. min 2101305. <https://doi.org/10.3390/min12101305>
- Peretyazko I.S., Savina E.A. Cretaceous intraplate Volcanism of Govorov Guyot and formation models of the Magellan seamounts, Pacific Ocean // International Geology Review. 2022b. <https://doi.org/10.1080/00206814.2022.2145512>
- Pringle M.S. Radiometric ages of basalts basement recovered at Sites 800, 801 and 802, Leg 129 Western Pacific Ocean // Proceeding ODP, Science Results. 1992. V. 129. P. 389–404.
- Proceeding ODP Initial reports 1992. V. 129. 488 p.
- Salimullah A.R.M. Volcaniclastic facies and sequences, LEG 129 // Proceeding ODP, Science Results. 1992. V. 129. P. 153–167.
- Stadler T., Tominaga M. Intraplate Volcanism of the western Pacific: New insights from geological and geophysical observations in the Pigafetta Basin // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2015. V. 16. Iss. 9. № 1. September. P. 3015–3033. <https://doi.org/10.1002/2015GC005873>
- Tivey M.K. Generation of seafloor hydrothermal vent fluids and associated mineral deposits // Special issue Oceanography. 2002. V. 20. № 1. P. 50–65.
- Yan Q., Milan L., Saunders J.E., Shi X. Petrogenesis of Basaltic Lavas From the West Pacific Seamount Province: Geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf Isotopic Constraints // Journal of Geophysical Research. Solid Earth. 2021. V. 126. e2020JB021598. <https://doi.org/10.1029/2020JB021598>

**VOLCANIC COMPLEXES AND TECTONIC-MAGMATIC STAGES  
OF THE EVOLUTION OF THE GUYOTS OF THE MAGELLAN SEAMOUNTS  
(PACIFIC OCEAN). COMMUNICATION 2: TECTONO-MAGMATIC STAGES**

**V.T. S'edin<sup>1</sup>, S.P. Pletnev<sup>1</sup>, T.E. Sedysheva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia, 690041*

<sup>2</sup>*VNIIOkeanologia, St. Petersburg, Russia, 190121;*

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

Received 03, 2023 March; revised July 13, 2023; accepted September 26, 2023

Five tectonic-magmatic stages are distinguished in the evolution of the guyots of the Magellan Seamounts: 1 — Late Jurassic-Early Cretaceous (earliest Cretaceous — ~160–140 (?) Ma); 2 — Early Cretaceous (Late Barremian(?)-Aptian-Albian — ~127–96 Ma); 3 — Late Cretaceous (Late Cenomanian (?)-Turonian-Early Campanian — ~95–76 Ma); 4 — Late Cretaceous (Late Campanian-Maastrichtian — ~74.5–66.0 Ma); 5 — Cenozoic — 66–0 Ma. Each of the tectonic-magmatic stages corresponds to a certain age complex of volcanic rocks of the Magellan Seamount. Tectonic-magmatic stages have different durations and played different roles in the evolution and formation of the modern structure of the guyots of the Magellanic Seamounts. Each of the tectono-magmatic stages characterizes a specific geomorphological space of guyots (base, main part of the edifice, small complicating superimposed structures of the 2-nd order). Each of the tectonic-magmatic stages characterizes a specific geomorphological space of guyots (base, main body, small complicating superimposed second-order structures). On the whole, the tectonic-magmatic stages of the evolution of the Magellan Seamounts are in good agreement with the evolution stages of some other regions of the Pacific Ocean and correspond to the previously established periods of their tectonic-magmatic activation.

*Keywords: volcanic complexes, tectonic-magmatic stages, Magellan Seamounts.*