



УДК 551.214 (265)

Д. Р. Акманова¹, А. М. Асавин², Е. В. Жулёва³,
М. Е. Мельников⁴, В. А. Рашидов¹, Е. И. Чесалова⁵

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

² Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН,
г. Москва;

³ Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва;
e-mail: lenageo@rambler.ru

⁴ ГНЦ «Южморгеология», г. Геленджик;

⁵ Государственный геологический музей им. В. И. Вернадского РАН, г. Москва.

Интегрированный анализ геолого-геофизических материалов с использованием ГИС-методов как новый способ исследования гайотов Магеллановых гор Тихого океана

Изложены основы проведения интегрированного анализа материалов геолого-геофизических исследований гайотов Магеллановых гор Тихого океана с использованием ГИС-методов.

Введение

Одним из наиболее интересных и изученных районов проявления мелового вулканизма в Тихом океане являются Магеллановы горы. Они представляют собой протяжённую дугообразную цепь подводных гор, в основном гайотов, в центральной части Восточно-Марианской котловины в районе между 10° с. ш. и 22° с. ш. и 149° в. д. и 160° в. д., простирающуюся на 1100 км от Марианского жёлоба к северо-востоку, востоку, а затем к юго-западу, в направлении восточного окончания Каролинского вала (рис. 1).

Авторы в течение ряда лет занимаются изучением гайотов Магеллановых гор, располагают кондиционными оригинальным данными, полученными в рейсах на судах РАН и МПР РФ, и владеют современными методиками их обработки. В настоящее время проводится систематизация и интегрированный анализ всех имеющихся оригинальных данных, доступных литературных источников и материалов из сети Интернет для детального исследования пространственно-временных особенностей проявления вулканизма и выявления закономерностей распределения железомарганцевых образований (ЖМО) в районе Магеллановых гор.

Современное состояние изученности

К настоящему времени в районе Магеллановых гор выполнен значительный объём геолого-геофизических исследований и пробурены скважины глубоководного бурения [7, 9]. Работы были направлены, преимущественно, на изучение геолого-геоморфологического строения, возраста и эволюции вулканизма отдельных вулканических построек, выявление особенностей распространения и состава железомар-

ганцевых образований, развитых на склонах и вершинах гайотов. В 80-х — 90-х годах XX века Магеллановы горы становятся объектом непрерывных исследований как отечественных, так и зарубежных

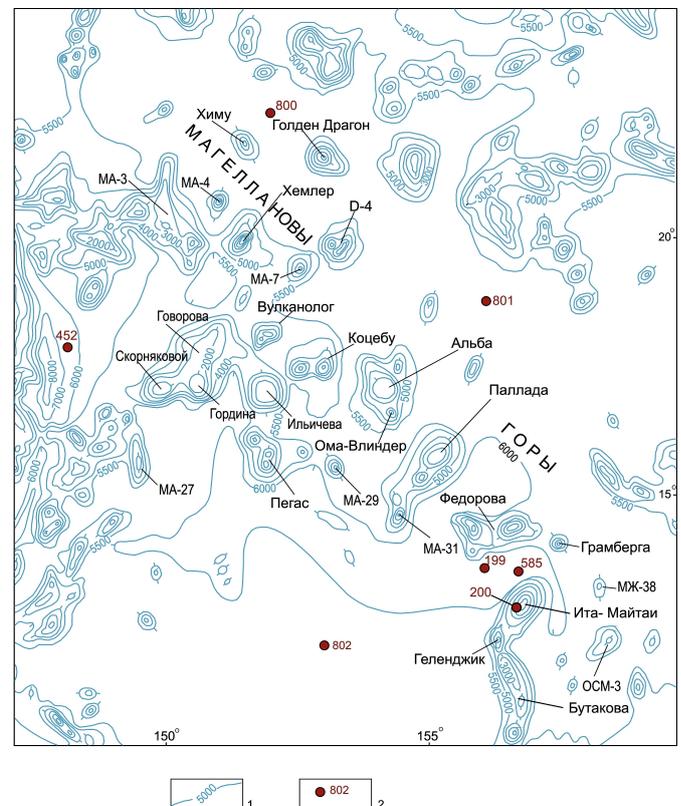


Рис. 1. Магеллановы горы Тихого океана: 1 — изобаты; 2 — скважины глубоководного бурения.

учёных. В первую очередь это связано с тем, что на склонах и вершинах Магеллановых гор были обнаружены значительные скопления железомарганцевых корок (рис. 2).

В работе [9] впервые проведено сопоставление названий гайотов, приведённых в отечественной и зарубежной литературе, и оценена степень изученности гайотов Магеллановых гор. Позднее подобное сопоставление было сделано в работе [5]. Выявлено, что до сих пор нет единого подхода и к содержанию самого понятия «Магеллановы горы». В работах [12, 13], например, к Магеллановым горам отнесены только четыре гайота: Альба, Паллада, Фёдорова и Ита-Май-Тай. Гору Голден Драгон одни исследователи [14, 15, 18] относят к Магеллановым горам, а другие — к горам Маркус-Уэйк (<http://www.ufp.pf/geos>).

Проведён анализ абсолютного возраста драгированных пород и данных о стратиграфии осадочной толщи, полученных при глубоководном бурении в скважинах 199, 200, 201, 202, 452А, 585, 800, 801 и 802.

Для района Магеллановых гор характерно «нормальное» осадконакопление с биогенным карбонатным материалом на глубинах менее 3900–4000 м, смешанный характер осадков в зоне карбонатной компенсации и глубоководные «красные» глины на глубинах более 4000 м. Проведённые исследования позволяют говорить об отсутствии олигоценых отложений в разрезе осадочной толщи [6].

В гравитационном поле гайотам соответствуют положительные аномалии в редукции свободного воздуха и отрицательные — в редукции Буге. В магнитном поле гайоты отображаются интенсивными, до 900–1000 нТл, отрицательными аномалиями, осложнёнными положительными пиками над вершинами гайотов [7, 9, 8]. По данным геомагнитных исследований на гайотах Вулканолог и Коцебу выделены подводящие магматические каналы (рис. 3, 4) [8].



Рис. 2. Железомарганцевые образования на поверхности коренных пород и коллювия, перекрывающего базальты в привершинной части гайота Фёдорова (глубина 1685 м).

На сегодняшний момент нет однозначных данных о природе Магеллановых гор. Самой распространённой точкой зрения на происхождение гайотов Магеллановых гор является предположение о вулканизме «горячих точек» [12, 13, 16]. Однако распределение возрастов отдельных построек не позволяет использовать эту гипотезу [9]. Одним из подходов к объяснению механизма образования гайотов может быть мембранная тектоника, согласно которой внутриплитные вулканы формируются как следствие деформирования и растрескивания литосферы при её перемещении по поверхности Земли [10]. Согласно геодинамической модели, решающую роль в формировании Магеллановых гор играли сдвиговые дислокации в условиях меридионального сжатия океанической коры [11]. Не следует забывать и о гипотезах, согласно которым подводные горы образовывались в результате блоковой тектоники, с преобладанием вертикальных смещений [2]. Вулканизм в этом случае лишь сопровождает тектонические подвижки. Наиболее современно

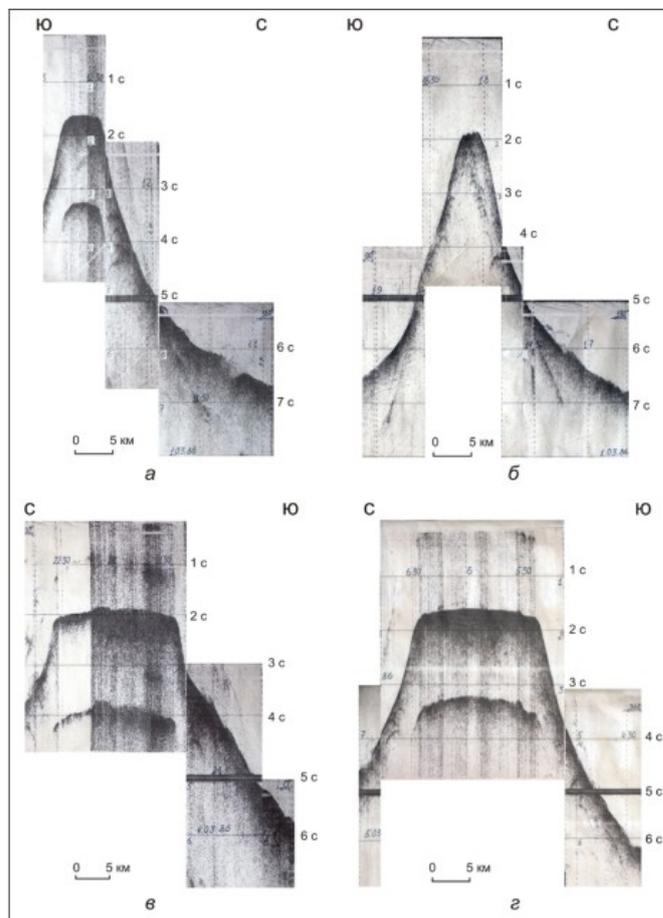


Рис. 3. Субмеридиональные профили непрерывного сейсмоакустического профилирования через вершины гайотов Вулканолог и Коцебу: а — профиль через западную вершину гайота Вулканолог; б — профиль через восточную вершину гайота Вулканолог; в — профиль через западную вершину гайота Коцебу; г — профиль через восточную вершину гайота Коцебу.

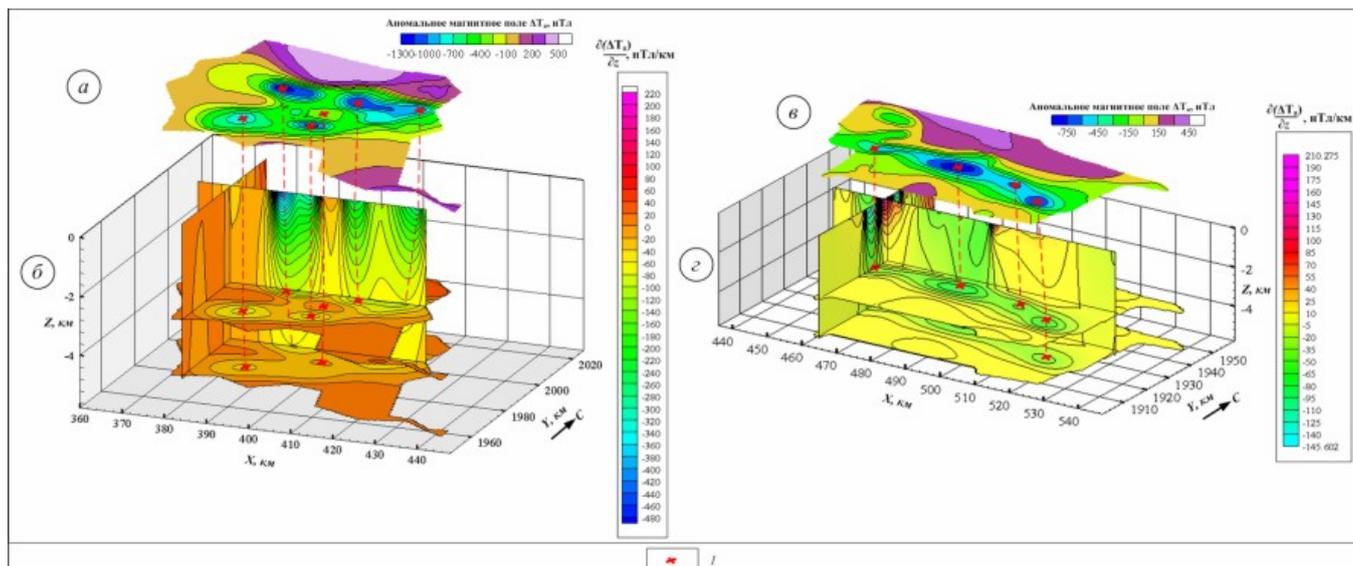


Рис. 4. Карты изолиний аномального магнитного поля ΔT_a (а, в) и ортогональные сечения 3D-диаграмм квазинамагниченности горных пород (б, г) гайотов Вулканолог (слева) и Коцебу (справа): 1 — эпицентры магнитных аномалий.



Рис. 5. Железомарганцевая корка на рифогенном известняке. Гайот Вулканолог. Интервал драгирования 1800–1600 м.

менный вариант этой концепции изложен в гипотезе мегатрендов Н. Смута [17].

ЖМО Магеллановых гор представлены минеральной ассоциацией гидроокислов железа и марганца, образованной в результате гидрогенных процессов с возможным участием гидротермальных, гальмиролитических, диагенетических процессов

Они развиты на глубинах 1200–5000 м. Субстратом для корок являются все виды пород, опробованных на гайотах, а толщина их достигает 24 см, при среднем значении 6,5 см (рис. 5). По своему составу корки являются полиминеральными образованиями и относятся к богатым кобальтмарганцевым рудам [5].

Исследования глубоководных железомарганцевых корок гайотов Ита-Майтаи и Фёдорова (ИОАН) методом подводной фотографии позволили проследить особенности залегания этих образований и восстановить условия их формирования [3, 4].

Применение ГИС-методов для исследования гайотов Магеллановых гор

В настоящее время назрела объективная необходимость в проведении систематизации и интегрированного анализа всех имеющихся данных по Магеллановым горам для детального исследования пространственно-временных особенностей проявления вулканизма и выявления закономерностей распределения ЖМО. С этой целью:

- проанализированы результаты геоморфологических и геолого-геофизических исследований гайотов, проведённых отечественными и зарубежными специалистами;
- проведено сопоставление названий гайотов, приведённых в отечественной и зарубежной литературе, оценена степень их изученности и составлен каталог, включающий 27 наименований;
- обобщены сведения об абсолютном возрасте драгированных пород и стратиграфии осадочной толщи, о составе железомарганцевых образований, опробованных на гайотах;
- выполнено дешифрирование материалов подводного фотопрофилирования для исследования тонкой структуры рельефа и морфологии ЖМО;
- проведена работа по изучению зависимости морфометрических признаков подводных вулканических построек от времени их образования, что позволяет проследить эволюцию их рельефа.

Авторами начата работа по созданию геоинформационной системы (ГИС) «Магеллановы горы Тихого океана». Для этого использовано программное обеспечение ESRI ArcGIS v.10 для ОС семейства Windows. Вся атрибутивная информация хранится в серверной базе данных (БД). Организовано взаимодействие ГИС, БД и web-сайта. Для создания web-сайта используется модуль ArcGIS Server, позволя-

ющий предоставлять географические информационные ресурсы в виде сервисов по Интернет/Интернет сетям, оптимизировать внутренние рабочие процессы, координировать деятельность различных служб. Новые web-приложения представляют собой не просто карты с изменяемым масштабом и с получением информации об объектах на карте, но дают также возможность обработки и обновления предоставляемой информации. Предполагается внедрить геоинформационную систему в существующую информационную структуру, объединяя ГИС-сервер и пространственные данные с другими информационными системами, в частности, осуществить внедрение геопространственной составляющей в сервис-ориентированную архитектуру (SOA) и поддерживать стандарты взаимодействия OGC (Open Geospatial Consortium, Inc.) в ГИС-среде и общие стандарты W3C (World Wide Web Consortium) в web-среде.

Для численного моделирования и пространственного анализа используются модули Spatial Analyst и Geostatistical Analyst. Данные модули позволяют строить трёхмерную модель подводной горы, рассчитывать её морфологические характеристики, а также имеют алгебраические и статистические инструменты для поиска пространственных закономерностей. Предлагается вероятностная структура и комплект инструментов для анализа данных с ранней интеграцией информации, при этом неопределённость пространственного распределения крайних параметров смоделирована и минимизирована. На основе численного анализа систематизированных данных о гайотах проведена оценка пространственно-временных особенностей проявления вулканизма. С этой целью разработан пакет программ по обработке морфометрических данных и вычислению объёмов вулканических гор с использованием ряда оригинальных подходов.

На базе многолучевого эхолотирования составлены крупномасштабные, с сечением изобат 50–100 м, трёхмерные электронные карты рельефа гайотов Магеллановых гор, и проведён их сравнительный анализ.

С помощью разрабатываемой ГИС проделана работа по моделированию и выявлению пространственных закономерностей распределения железомарганцевых корок на гайоте Бутакова [1] в зависимости от их морфометрических и физико-химических признаков. С полученной моделью хорошо коррелируется распределение корок на детально изученных гайотах Магеллановых гор. На основе этих материалов можно установить геолого-геоморфологическую приуроченность железомарганцевых корок и характер их распространения и на других гайотах Магеллановых гор.

Для исследования тонкой структуры рельефа и морфологии ЖМО обработаны материалы подводного фотопрофилеирования, проведённого с подводного буксируемого аппарата в рейсах Института океанологии РАН [4].

Заключение

В настоящее время, когда назрела объективная необходимость проведения интегрированного анализа рельефа и геолого-геофизического строения гайотов Магеллановых гор Тихого океана и присущего им железомарганцевого оруденения, широкие возможности предоставляет использование ГИС-технологий. Быстрое решение специализированных задач обеспечивается созданием web-приложений, объединяющих географическое содержание с функциональными возможностями ГИС. Начата работа по созданию ГИС «Магеллановы горы Тихого океана», предоставляющей различные математические инструменты для проведения анализа как количественных, так и качественных пространственных признаков. Использование в создании web-сайта модуля ArcGIS позволяет проводить централизованное управление всеми пространственными данными и картографическими службами.

С использованием ГИС-методов для 3D-моделирования проводится численная оценка различных характеристик рельефа, и получаются данные для разработки обобщённой модели формирования рельефа гайотов. На основе численного анализа систематизированных данных о гайотах проводятся оценки пространственно-временных особенностей проявления вулканизма. Преимущества использования ГИС при анализе морфоструктуры гайотов состоят в возможности введения и анализа различных численных характеристик, установления количественных зависимостей в виде определённых функций, которые затем можно проверить физическими моделями формирования плит и вулканических аппаратов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 12-05-00 974-а).

Список литературы

1. Асавин А. М., Чесалова Е. И., Мельников М. Е. Прогнозная ГИС модель формирования кобальтмарганцевых корок гайота Бутакова (Магеллановы горы, Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 10. Вып. 2. С. 105–117.
2. Герасимов И. П. Проблемы глобальной геоморфологии. М.: Наука, 1986. 207 с.
3. Жулёва Е. В. Исследование глубоководных Fe-Mn корок гайота Ита-Майтаи методом подводной фотографии // Океанология. 1995. Т. XXXV. № 6. С. 930–936.
4. Жулёва Е. В. Геоморфология вулканических гор ложа океана. М.: ИО РАН, 2004. 186 с.
5. Мельников М. Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: ГНЦ ФГУГП «Южморгеология», 2005. 230 с.
6. Мельников М. Е., Туголесов Д. Д., Плетнёв С. П. Строение верхней части разреза осадочной толщи гайота Ита-Май-Тай по данным геоакустического профилирования (Тихий океан) // Океанология. 2010. Т. 50. № 4. С. 618–626.

7. Рашидов В. А. Магеллановы горы (Тихий океан): состояние геологической изученности // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 2. С. 13–20.
8. Рашидов В. А., Долгаль А. С., Новикова П. Н. Геоманитные исследования гайотов Вулканолог и Коцебу (Магеллановы горы, Тихий океан) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. 13. С. 98–106.
9. 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.
10. Седов А. П., Матвеевков В. В., Волокитина Л. П. и др. Качественная модель формирования цепей подводных гор // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 24–44.
11. Уткин В. П., Ханчук А. И., Михайлик Е. В., Хешберг Л. Б. Роль сдвиговых дислокаций океанической коры в формировании гайотов Магеллановых гор (Тихий океан) // Докл. РАН. 2004. Т. 395. № 5. С. 646–650.
12. Koppers A. A. P., Staudigel H., Wijbrans J. R. Short-lived and discontinuous intraplate volcanism in the South Pacific: Hot spots or extensional volcanism? // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003. Vol. 4. № 10. P. 1–49.
13. Koppers A. P., Staudigel H., Wijbrans J. R., Pringle M. S. The Magellan seamount trail: implications for Cretaceous hotspot volcanism and absolute Pacific plate motion // *Earth and Planetary Science Letters*. 1998. Vol. 163. P. 53–68.
14. Ozima M., Kaneoka I., Saito K. et al. Summary of geochronological studies of submarine rocks from the western Pacific Ocean // *Geodynamics of the western Pacific-Indonesian Region*. Geodynam. Ser. 1983. Vol. 11. Edited by T. Hilde and S. Uyeda. AGU, Washington D. C. P. 137–142.
15. Sager W. W., Weis C. J., Tivey M. A., Jonson H. P. Geomagnetic polarity reversal model of deep-tow profiles from the Pacific Jurassic Quiet Zone // *Journal of Geophys. Res.* 1998. Vol. 103. № B3. P. 5269–5286.
16. Smith W. H. F., Staudigel H., Watts A. B., Pringle M. S. The Magellan Seamounts: Early Cretaceous Record of the South Pacific Isotopic and Thermal Anomaly // *Journal of Geophys. Res.* 1989. Vol. 94. № B8. P. 10501–10523.
17. Smoot N. C. Orthogonal intersections of megatrends in the Western Pacific ocean basin: a case study of the Mid-Pacific mountains // *Geomorphology*. 1999. Vol. 30. P. 323–356.
18. Staudigel H., Park K. H., Pringle M. et al. The longevity of the South Pacific isotopic and thermal anomaly // *Earth and Planetary Science Letters*. 1991. Vol. 102. P. 24–44.