

УДК 551.214(265)

СОСТАВ И ГЕНЕЗИС ЛАВ ПОДВОДНОГО ВУЛКАНА МИНАМИ-ХИОСИ (МАРИАНСКАЯ ОСТРОВНАЯ ДУГА)

В. В. Петрова^{1,*}, В. А. Рашидов²

Представлено академиком РАН М.А. Федонкиным 29.11.2016 г.

Поступило 31.10.2016 г.

Работа — звено в цепи исследований позднекайнозойских подводных вулканов островных дуг западной части Тихого океана и первое в русскоязычной литературе подробное описание вещественного состава подводного вулкана Минами-Хиоси, входящего в состав вулканического комплекса Хиоси (северная часть Марианской островной дуги). В основу положен каменный материал, драгированный с привершинной части вулкана в 5-м рейсе нис “Вулканолог”. В результате выполненных исследований получены новые оригинальные данные о структуре, химическом, минеральном составе, генезисе лав вулкана. Показано, что все исследованные лавовые потоки имеют генетическое родство и являются порождением единой магматической камеры, а структурно-петрографические различия в их строении объясняются разной динамикой продвижения расплава к поверхности дна океана.

Ключевые слова: базальты, минералогические исследования, подводный вулкан, Минами-Хиоси, Марианская островная дуга.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524852198-201>

В числе актуальных аспектов исследований современной геологии находятся вопросы строения, состава, генезиса вулканогенных пород, слагающих зоны перехода континент—океан. Наша работа продолжает серию работ авторов по изучению вещественного состава позднекайнозойских подводных вулканов островных дуг западной части Тихого океана [1–3] и посвящена изучению активного подводного вулкана Минами-Хиоси.

Подводный вулканический комплекс Хиоси, состоящий из четырёх подводных вулканических построек: Северный Хиоси (Кита-Хиоси), Центральный Хиоси (Нака-Хиоси), Минами-Хиоси (Южный Хиоси, Минами-Хиоси-Кайсан), Ко-Хиоси, входит в состав щелочной провинции Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг [4] и, в отличие от вулканитов южной и центральной частей Марианской дуги (до 23° с.ш.), выполненных низко- и среднещелочными толеитовыми базальтами, сложен щелочными лавами, обогащёнными К, Ва, Sr. По химическому (но не минеральному) составу эти породы близки к абсарокитам, шошонитам. В литературе высказаны предположения, с одной стороны, о мантийном плавлении и образовании щё-

лочно-базальтовых лав с последующей внутрикоровой дифференциацией расплавов вплоть до метаморфизации первичных расплавов путём привноса богатых К, Ва флюидов. С другой, не исключали возможность контаминации осадков расплавом и соответственно предлагали ответственность пелагических осадков за обогащение магматических пород несвойственными высокими концентрациями К, Ва. Изотопные исследования редких элементов к настоящему времени не дали однозначного ответа в пользу той или другой концепции [4]. Результаты нашей работы дополняют полученные ранее представления.

Вулканическую активность в пределах подводного вулканического комплекса Хиоси неоднократно отмечали лишь на вулкане Минами-Хиоси [5]. Вулкан поднимается с глубины 1500 м, где размер его основания ~20 × 15 км. Минимальная глубина над вершиной вулкана расположена в интервале 100–30 м. Объём постройки ~95 км³, а на глубине 100–120 м выявлено поднятие с активными фумаролами [1].

Химический состав базальтов комплекса Хиоси впервые опубликован в [6] (табл. 1). Помимо повышенного содержания в породах К было установлено высокое содержание Sr. Наши данные по лавам вулкана Минами-Хиоси, драгированным в 5-м рейсе нис “Вулканолог”, укладываются в эти пределы, но с меньшим разлётом значений. Базальты относятся к слабжелезистым. Проанализированные

¹ Геологический институт

Российской Академии наук, Москва

² Институт вулканологии и сейсмологии

Дальневосточного отделения Российской Академии наук,
Петропавловск-Камчатский

*E-mail: v.petrova.v@gmail.com

породы обогащены K_2O . По K_2O/SiO_2 большая часть анализируемых пород относится к высококалийным абзарокитам, небольшое количество анализов попадает в поле шшонитов. $K_2O/Na_2O = 0,38-0,92$. Породы вулкана Минами-Хиоси показывают относительно высокие содержания Fe, Mg, Ca. Содержание Ba, Sr также повышено.

В большинстве случаев базальты полнокристаллические с порфировой структурой, практически не содержат свободного стекла и по этому признаку приближаются к долеритам. Все породы имеют близкий минеральный состав. Вкрапленники состоят

Таблица 1. Химический состав драгированных пород вулкана Минами-Хиоси и подводного вулканического комплекса Хиоси

Порода	Базальт, потоки			Туф	Шлак	[6]
	1	2	3			
	Содержание, мас. %					Мин.–макс.
SiO ₂	51,53	51,27	53,38	54,37	53,45	45–55
TiO ₂	2,73	2,46	1,98	2,25	1,11	0,03–1,12
Al ₂ O ₃	12,63	13,17	14,25	9,87	17,37	15–20
Fe ₂ O ₃	5,14	4,40	3,07	6,79	10,45	7–12
FeO	6,49	6,40	7,56	1,67		
MnO	0,16	0,16	0,16	0,12	0,18	0,01–0,22
MgO	5,41	5,53	5,08	4,83	3,00	2–9
CaO	7,99	8,26	8,30	5,52	8,91	3–12
Na ₂ O	3,77	3,64	3,60	1,87	3,23	1,5–4
K ₂ O	2,09	2,47	1,37	1,63	1,79	1–4,5
P ₂ O ₅	0,67	0,69	0,39	0,39	0,19	0,03–0,51
п.п.п.	0,68	0,96	<0,1	10,54	0,33	Н/опр
Сумма	99,28	99,29	99,15	99,82	100,01	–
S	0,08	0,42	0,05	0,19	0,19	Н/опр
	Содержание, ppm					
Cu	56	50,00	69	37,50	200	49–250
Zn	131	158,75	120	97,00	95	
As	7,4	3,90	<2,0	5,70	–	Н/опр
Pb	5,1	6,53	5,8	8,95	12	
Co	43	47,88	42	35,50	<5	
Ni	249	217,25	212	190,50	20	4–39
Ga	19	20,25	20	15,00	15	Н/опр
Rb	27	41,50	24	42,50	48	23–158
Sr	524	712,63	479	311,50	580	528–1192
Y	27	26,50	25	24,50	25	21–40
Zr	139	221,38	142	202,50	160	34–167
Nb	25	42,00	24	37,00	9	Н/опр
Mo	4,7	2,64	2,8	2,65	4	
Ba	370	626,38	403	541,50	650	622–1377
Th	3,6	6,55	5,1	8,80	14	Н/опр
U	<2,0	2,50	<2,0	<1,0	3	

Примечание. В шлаке присутствуют, мас. %: Cl — 0,12, F — 0,04.

из оливина, плагиоклаза, клинопироксена, титаномагнетита и реже ильменита. Микролиты представлены этими же минералами, но в иных количественных соотношениях.

В оливине содержание Mg (форстеритовой доли) (в формульных единицах) = 1,14–1,29, а Fe (фаялитовой доли) — 0,70–0,86 или соответственно Mg/Fe = 57–64% Fo, или 36–43% Fa. Отличаются включения в оливине. Это титаномагнетит или, реже, хромшпинель. Состав клинопироксена отвечает магнезиальному авгиту ($Mg_{0,73-0,85}Ca_{0,77-1,03}Fe_{0,24-0,38}$)_{2,00}Si₂O₆. Он широко распространён исключительно в виде микролитов. Кроме авгита, но уже во вкрапленниках в сростках с оливином отмечен малокальциевый пижонит. Среди полевых шпатов преобладает лабрадор, но встречаются андезин, битовнит. Изредка встречается санидин и матричный, или зародышевый, цеолит.

Близость химического и минерального составов лав позволяет предполагать их генетическое родство, т.е. считать, что они порождение единого магматического очага, возможно, разных его глубинных зон или отпочковавшихся магматических резервуаров. Однако условия продвижения расплава к поверхности и способы его кристаллизации были разными. По структурам образцов можно выделить по крайней мере три пути формирования лавовых потоков.

Первый предполагает зарождение породы в наиболее глубоких зонах очага, спокойную и достаточно долгую кристаллизацию в этих условиях мегавкрапленников оливина, единичных вкрапленников клинопироксена, плагиоклаза и затем резкий подъём в приповерхностную зону. Свидетельство быстрого подъёма этого лавового потока к поверхности — крипстокристаллическая структура основной массы породы, присутствие в сростках с вкрапленниками оливина редкого пироксена — пижонита — минерала, сохраняющегося до поверхностных температур только в случае стремительного подъёма магматического вещества. Высокотемпературная кристаллизация данной породы подтверждается ещё присутствием в ней высокого (т.е. высокотемпературного) плагиоклаза.

Вторым путём формируются лавовые потоки, структура которых, несмотря на широкий разброс размеров составляющих породу кристаллов (0,4–0,02 мм), кажется афировой, так как существуют все постепенные переходы между вкрапленниками и микролитами. Такая структура может образоваться при медленном изменении параметров кристаллизации в результате медленного продвижения лавовой колонны из магматической камеры (возможно, про-

межучной) в канал и далее в придонную зону разгрузки. Иногда движение кристаллизующегося расплава подчёркивается трахитовой ориентировкой лейст плагиоклаза. Именно в этих базальтах наблюдается максимальное обогащение K, Sr, Ba, Zr и другими элементами.

По третьему пути формируются лавы, по структуре промежуточные между первым и вторым типами. Между вкрапленниками и основной массой также наблюдаются постепенные размерные переходы, но вкрапленники оливина, содержащие включения хромшпинели, могли образовываться только в глубинной магматической камере. Далее при постепенном медленном движении расплава менялись параметры и создавались условия для кристаллизации довольно крупных кристаллов плагиоклаза, клинопироксена, ильменита. При дальнейшем подъёме к поверхности микролитами заполнялись интерстиции между выделившимися ранее разноразмерными кристаллами. Предполагаются, что кристаллизация породы, начавшаяся в пределах очага выпадением вкрапленников оливина, далее, при продвижении расплава в приповерхностную зону, шла непрерывно на фоне меняющихся физико-химических условий.

Основные минералы-индикаторы условий минералообразования для базальтов Минами-Хиоси — оливин и ассоциации оливин + хромшпинель, оливин + пижонит, оливин → плагиоклаз → пироксен и оливин → пироксен → плагиоклаз. Согласно литературным данным, оливин может находиться в равновесии с расплавом при 1890–1290 °С. Температура образования оливина, содержащего 65% Mg и 35% Fe (в оливинах Минами-Хиоси 57–64% Fo, 36–43% Fa), оценивается в пределах 1600 °С и ниже. Диапазон температур кристаллизации хромшпинели, включённой в оливин, 1280–1310 °С, а устойчивое существование пижонита возможно при температуре >1250 °С. Эти данные позволяют определить температуру образования природных минеральных ассоциаций Минами-Хиоси, содержащих оливин, 1250–1600 °С. Давление, необходимое для формирования соответствующих ассоциаций, 2–5 кбар [6, 7]. Перечисленные условия соответствуют параметрам глубинной очаговой зоны.

Обогащение базальтов калием происходило на этапах их становления, когда формировались высокие плагиоклазы, кристаллизовался санидин, формировались альбитовые оторочки вокруг плагиоклаза и матрицы К-цеолитов. Давление столба океанической воды, перекрывающей потоки лавы, затрудняло газовыделение и делало базальт пористым. Газовые пустоты остаются свободными или заполняются поздними окислами, карбонатами или сульфатами, а также плотными оксидами углерода.

Иностранцами коллегами убедительно показано [7], что подводный вулкан Северный Хиоси, входящий в вулканический комплекс Хиоси, питается из единого магматического источника, образованного расплавом, являющимся дериватом первичных толеитовых магм. Наши данные говорят о том, что все исследованные лавовые потоки вулкана Минами-Хиоси имеют генетическое родство и также являются порождением единой магматической камеры.

В результате выполненных исследований получены новые оригинальные данные о структуре, минеральном составе и генезисе лав активного современного подводного вулкана Минами-Хиоси в западной части Тихого океана.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15–05–02955-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рашидов В.А. // Вулканология и сейсмология. 2001. № 5. С. 55–64.
2. Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В. // Вулканология и сейсмология. 2015. № 3. С. 36–51.
3. Рашидов В.А., Пилипенко О.В., Петрова В.В. // Физика Земли. 2016. № 4. С. 84–106.
4. Sun C.-H., Stern R.J., Yoshida T., Kimura J.-I. // The Island Arc. 1998. V. 7. P. 432–442.
5. Siebert L., Simkin T., Kimberly P. Volcanoes of the World. Berkeley: Univ. California Press, 2010. 568 p.
6. Bloomer Sh.H., Stern R.J., Fisk E., Geschwind C.H. // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. № B4. P. 4469–4496.
7. Meen J.K., Stern R.J., Bloomer Sh.H. // The Island Arc. 1998. V. 7. P. 443–459.

COMPOSITION AND ORIGIN OF LAVAS FROM THE MINAMI-HIYOSHI SUBMARINE VOLCANO (MARIANA ARC)

V. V. Petrova, V. A. Rashidov

Presented by Academician of the RAS M.A. Fedonkin November 29, 2016

Received October 31, 2016

This work is a link in a series of studies of Late Cenozoic submarine volcanoes of the island arcs in the western part of the Pacific Ocean, representing the first detailed Russian-language description of the material composition of the Minami-Hiyoshi submarine volcano, which is involved in the Hiyoshi volcanic complex (the northern part of the Mariana arc). This study was based on rock material dragged from the volcano during the 5th cruise of the R/V Vulkanolog. New original data on the structure, chemical and mineral compositions, and origin of volcanic lava were obtained. It was shown that all the lava flows studied are genetically linked and originated from the same magma chamber. Structural–petrographic differences in the lava flows are explained by different dynamics in the melt transportation to the surface of the bottom of the ocean.

Keywords: basalts, mineralogic studies, submarine volcano, Minami-Hioshi, Mariana island arc.