УДК 553.2 (265.54)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О НАЛОЖЕННОЙ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД ЯПОНСКОГО МОРЯ

О. Н. Колесник^{1,*}, В. Т. Съедин¹, А. Н. Колесник¹,
Е. И. Ярошук¹, А. А. Карабцов²

Представлено академиком РАН А. П. Лисицыным 12.04.2017 г.

Поступило 25.04.2017 г.

Выполнена первая полуколичественная и качественная оценка наложенной (поствулканической) рудной минерализации основных типов вулканических пород — окраинно-континентального, пострифтового и щелочного, — слагающих в Японском море подводные возвышенности. Главное внимание сосредоточено на минеральных формах выделения цветных, благородных и редких металлов. Максимально ярко минерализация проявлена в породах пострифтового типа, что объясняется флюидонасыщенностью исходной магмы, длительностью вулканических и поствулканических процессов.

Ключевые слова: Японское море, подводные вулканические постройки, вулканические породы, поствулканические процессы, наложенные минеральные фазы, цветные, благородные и редкие металлы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652487173-77>

Японское море — одно из окраинных морей Северо-Восточной Азии. В течение кайнозойского времени Японское море являлось районом активного магматизма, в частности вулканизма, который в пределах разных структур проявлялся по-разному. Как следствие, в Японском море выделяется несколько формационно-геохимических типов вулканизма, основные из которых [1]: 1 — окраинно-континентальный (крупные возвышенности, позд-неолигоцен-раннемиоценовое время); 2 — пострифтовый (небольшие вулканические постройки в глубоководных котловинах и наложенные постройки в краевых частях крупных возвышенностей, среднемиоцен-плейстоценовое время); 3 — щелочной континентальных рифтов (обрамление Цусимской котловины, плиоцен-четвертичное время), рис. 1. Вулканические постройки в глубоководных котловинах сложены главным образом базальтами, а на крупных возвышенностях — более кремнена-сыщенными вулканическими породами.

С позднего олигоцена вулканизм в Японском море имел непрерывно-пульсирующий характер [2]. Это определило масштаб и долговременность поствулканических процессов. В результате выносились одни и привносились другие химические элементы,

разрушались “первичные” и образовывались “вторичные” минералы, изменялись химические и петрофизические характеристики магматических пород, формировались гидротермальные породы и руды (зелёные глины, марганцевые корки, фосфориты, баритовые конкреции [3]).

Специальное исследование наложенных (вторичных) минеральных фаз в магматических породах Японского моря началось сравнительно недавно. На первом этапе рассматривались только низкотемпературные (до 100 °С) новообразования. Образцы магматических пород изучались визуально с помощью бинокля, сканирующего электронного микроскопа, рентгеноструктурного, химического, спектрального, электронографического анализов. Согласно полученным данным, низкотемпературные вторичные минералы представлены в основном ди- и триоктаэдрическими смектитами, смешанослойными образованиями гидрослюда-смектитового ряда, гидрослюдами, в меньшей степени хлоритом, цеолитами, сульфидами, гидроксидами железа, кальцитом и некоторыми другими карбонатами, в том числе франколитом в парагенезисе с глауконитом и пиритом [4, 5]. Позже для изучения вторичных минералов в магматических породах (вулканические породы пострифтового типа, единичные образцы габбро и сиенитов) был применён микрозонд с энергодисперсионной приставкой [6]. В результате кроме уже описанных минеральных фаз удалось выявить оксиды марганца в порах базальтов, а также относительно высокотемпературные оксидные, интерметаллидные, самородные, сульфидные, сульфатные

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

² Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

*E-mail: kolesnik_o@poi.dvo.ru

Рис. 1. Карта изученности наложенной рудной минерализации вулканических пород Японского моря. 1, 2 — станции пробоотбора с указанием образцов, изученных в ходе электронно-зондового микроанализа в рамках настоящего исследования (1) и ранее (2) [6, 7]. Цвет фигур обозначает принадлежность вулканических пород к определённому формационно-геохимическому типу: чёрный цвет — вулканические породы окраинно-континентального типа, тёмно-серый — вулканические породы пострифтового типа, серый — вулканические породы пострифтового типа и их интрузивные аналоги, белый — вулканические породы щелочного типа. Цифры внутри фигур соответствуют морфоструктурам: 1 — безымянная гора вблизи возвышенности Алпатова; 2 — хребет Берсенева; 3 — возвышенность Беляевского; 4 — возвышенность Гэбасс; 5 — хребет Южное Ямато; 6 — безымянная наложенная постройка на северо-восточном окончании хребта Южное Ямато; 7 — хребет Северное Ямато; 8 — возвышенность Мейё-2; 9 — гора Ямато; 10 — возвышенность Восточно-Корейская (вулкан Ченцова); 11 — возвышенность Криштофовича; 12 — возвышенность Медведева; 13 — возвышенность Галагана; 14 — гора Глебова; 15 — гайот Оки; 16 — хребет Оки. Картографическая основа составлена по данным Генеральной батиметрической карты океанов ГЕБКО_08.

и более экзотические минеральные выделения цветных, благородных и редких металлов.

Наше исследование является логическим продолжением микронзондовых работ [6, 7] и направлено

на изучение вторичных минеральных фаз цветных, благородных и редких металлов в трёх основных формационно-геохимических типах вулканических пород Японского моря. Всего рассмотрено 12 образцов (аншлифов) с 11 вулканических построек (рис. 1), получено около 1000 анализов.

1. Установлено, что минеральные фазы цветных, благородных и редких металлов с однотипной морфологией (очень мелкие зёрна размером 1–5 мкм) и близким характером локализации (всевозможные зоны ослабления, мелкие трещины и пустоты) содержатся во всех основных формационно-геохимических типах вулканических пород Японского моря (рис. 2).

2. Дополнен перечень цветных, благородных и редких металлов, образующих в вулканических породах самостоятельные минеральные фазы (Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Mo, W, Bi, Sb, Cd, Hg, As, Au, Ag, Pd, Pt, Os). Молибден, висмут, сурьма, ртуть, кадмий, золото, палладий, платина и осмий отмечены в этом качестве впервые. К металлам массового распространения отнесены медь, цинк, свинец, олово, никель, вольфрам, сурьма, мышьяк, серебро. Ограниченное распространение имеют молибден, висмут, кадмий, ртуть, золото, палладий, платина и осмий (зёрна этих металлов обнаружены не во всех типах вулканических пород).

3. Уточнён список содержащихся в вулканических породах минеральных фаз цветных, благородных и редких металлов (по классам, группам). Теперь это не только оксиды, интерметаллиды, самородные элементы, сульфиды, сульфаты, вольфраматы, оксихлориды, фосфиды, но и молибдаты. Установлен ряд фаз, ранее не известных в вулканических породах Японского моря. Например, интерметаллиды золота, меди и серебра, железа и никеля, хрома и висмута, меди, цинка и никеля, оксиды меди, никеля, сурьмы, сульфиды ртути (киноварь) и кадмия, предположительно ферримоллибдит, тунгстит, бисмоклит (рис. 2–4).

4. Впервые с использованием численного показателя (плотность распределения — количество зёрен, приходящихся на квадратный сантиметр поверхности аншлифа) охарактеризована неравномерность распределения в вулканических породах зёрен цветных, благородных и редких металлов. В широких пределах изменяется количество зёрен, сам набор металлов и образуемых ими минеральных фаз. Непостоянна также роль отдельно взятых фаз в наложенной минерализации вулканических пород разных возвышенностей. В целом среди изученного материала наибольший интерес представляют

Рис. 2. Зёрна цветных, благородных и редких металлов в вулканических породах Японского моря. Вид в отраженных электронах. Большинство специально не обозначенных рудных зёрен (белые пятна) — оксиды железа и титана, преимущественно титаномагнетит и ильменит. Различные оттенки серого соответствуют породообразующим минералам, в частности основному плагиоклазу ($Pl_{очн}$), калиевому полевому шпату (Kfs), амфиболу (Amp).

Рис. 3. Химический состав зёрен цветных и редких металлов, впервые обнаруженных в вулканических породах Японского моря. Под каждым зерном (столбцом) указан номер образца, в котором это зерно встречено. Сумма элементов часто не достигает либо несколько превышает 100 вес.%. Основные причины — пористость пород и полуколичественное определение лёгких элементов, в первую очередь кислорода [6]. На качестве результатов сказались также чрезвычайно малый размер зёрен, который в большинстве случаев не достигал объёма зондируемой области. Последнее приводило к тому, что возбуждались рентгеновские спектры элементов соседних фаз, главным образом породообразующих минералов, и в анализах появлялась примесь (МП*, матричная примесь). На рисунке приведен упрощённый состав зёрен, без учёта элементов с содержанием менее 1 вес.%.

Рис. 4. Химический состав зёрен благородных металлов, впервые обнаруженных в вулканических породах Японского моря. См. примечание к рис. 3.

образцы 77117-5, 1621-а, 1618 и 1625-1 с возвышенностей Мейё-2, Восточно-Корейской и Криштофовича (рис. 1). Цветные, благородные и редкие металлы встречаются здесь с частотой не менее 25 зёрен/см². Цветные и редкие металлы однозначно преобладают. На их долю приходится от 60% (обр. 1621-а) до 80% (обр. 1625-1) обнаруженных зёрен. Из ранее проанализированных образцов самыми обогащёнными оказались базальты возвышенностей Галагана (обр. 1226) и Беляевского (обр. 2207-2) [6, 7]. В интрузивных коагматах как сравнительно монолитных и менее проницаемых для флюидов образования наложенная рудная минерализация заметно беднее. Марганцевые корки, несмотря на то что заключают в себе зёрна тех же металлов, что и вулканические породы, в общем содержат таких зёрен больше, а их состав более разнообразен [7–9]. Вероятно, это связано с тем, что корки имеют гидротермальное (гидротермально-осадочное) происхождение и тяготеют в своём распространении к участкам интенсивного развития поствулканических процессов (привершинные/прижерловые части возвышенностей). В то же время вулканические породы, которые драгировались в подводных условиях без возможности выбора точки опробования, вполне могли быть подняты там, где газогидротермальная деятельность проявлена слабо либо вовсе отсутствует.

Если говорить о вулканических породах разных формационно-геохимических типов, то наибольшее

количество зёрен цветных, благородных и редких металлов самого пёстрого состава с максимальным разбросом температур образования [6] содержат пострифтовые вулканические породы (средняя плотность распределения в изученных образцах превышает 20 зёрен/см²). В два раза реже зёрна встречаются в вулканических породах окраинно-континентального и щелочного типа (около 10 и 9 зёрен/см² соответственно). Значительное количественное преобладание зёрен металлов в пострифтовых вулканических породах можно объяснить следующими моментами. Во-первых, вулканические постройки глубоководных котловин характеризуются магматизмом мантийного типа с высокой флюидонасыщенностью исходной магмы, во-вторых, вулканические процессы на этих структурах протекали более длительное время [1, 2, 6, 10].

5. Подтверждён масштабный (во времени и в пространстве) и вместе с тем локальный (точечный) характер поствулканических процессов, сопряжённых с металлоносными флюидными потоками, которые как минимум с позднего олигоцена сопровождали вулканизм на подводных возвышенностях Японского моря. Рудоносные растворы пронизывали все слагающие возвышенности образования с максимальным внедрением в породы прижерловой части морфоструктур.

Источники финансирования. Работа выполнена на базе Аналитического центра ДВГИ ДВО РАН в рамках госзадания ТОИ ДВО РАН (№ гос. рег.

AAAA-A17-117030110033-0) при дополнительной финансовой поддержке РФФИ (проект № 16–35–00364 мол_а) и Программы фундаментальных исследований ДВО РАН “Дальний Восток” (проект № 18–1–008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Съедин В.Т. В кн.: Кайнозойский континентальный рифтогенез. Материалы Всероссийского научного симпозиума с международным участием, посвященного памяти академика РАН Н.А. Логачёва. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. Т. 2. С. 138–142.
2. Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Ващенко Н.Г., Съедин В.Т., Терехов Е.П., Цой И.Б. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
3. Астахова Н.В. Аутигенные образования в поздне-кайнозойских отложениях окраинных морей Востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2007. 244 с.
4. Можеровский А.В. // Тихоокеан. геология. 1986. № 3. С. 58–63.
5. Липкина М.И. // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17. № 3. С. 81–93.
6. Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т. // Геохимия. 2014. № 2. С. 158–177.
7. Колесник О.Н., Астахова Н.В. // Океанология. 2018. Т. 58. № 1. С. 80–88.
8. Астахова Н.В. // ДАН. 2008. Т. 422. № 4. С. 522–527.
9. Астахова Н.В. // Океанология. 2013. Т. 53. № 6. С. 769–785.
10. Съедин В.Т. // ДАН. 1987. Т. 296. № 6. С. 1441–1446.

OVERLAPPING ORE MINERALIZATION OF VOLCANIC ROCKS FROM THE SEA OF JAPAN: NEW DATA

O. N. Kolesnik¹, V. T. S'edin¹, A. N. Kolesnik¹, E. I. Yaroshchuk¹, A. A. Karabtsov²

¹*Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

²*Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS A.P. Lisicin April 12, 2017

Received April 25, 2017

An overlapping (postvolcanic) ore mineralization of volcanic rocks building up submarine edifices in the Sea of Japan has been semi-quantitatively and qualitatively evaluated for the first time. The study considers the main types of volcanic rocks (marginal continental, post-rift, and alkali ones) and focuses primarily on mineral phases formed in them by nonferrous, noble, and rare metals. The most enriched are post-rift rocks. That is due to the initial magma's fluid saturation, as well as long-lived volcanic and postvolcanic processes.

Keywords: Sea of Japan, submarine volcanic edifices, volcanic rocks, postvolcanic processes, overlapping mineral phases, nonferrous, noble, and rare metals.