

УДК 551.214(265.53)553.32

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЯХ РУДНЫХ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИДЗУ-БОНИНСКОЙ И МАРИАНСКОЙ ОСТРОВНЫХ ДУГ

© 2025 г. **Г. В. Новиков**^а, **В. А. Рашидов**^{б,*}, **О. Ю. Богданова**^а

^аИнститут океанологии им. П.П. Шириова РАН, Нахимовский просп., 36, Москва, 117997 Россия

^бИнститут вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, бульвар Пуйна, 9, Петропавловск-Камчатский, 683006 Россия

*e-mail: rashidva@ksnet.ru

Поступила в редакцию 12.12.2024 г.

После доработки 20.01.2025 г.

Принята к публикации 19.02.2025 г.

Рассмотрены особенности железомарганцевых отложений Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг Тихого океана, отобранных в 1-м (1977 г.) и 5-м (1978 г.) рейсах научно-исследовательского судна “Вулканолог”. Установлены два генетических типа отложений – гидрогенный и низкотемпературный гидротермальный. Основными рудными минералами гидрогенных железомарганцевых отложений являются плохо окристаллизованные с низкой степенью упорядоченности структуры Fe-вернадит и Mn-фероксигит; в меньшем количестве присутствуют гетит и бернессит. Низкотемпературные гидротермальные отложения состоят, в первую очередь, из бернессита, а также вернадита и гетита, или из гематита, гетита и фероксигита. Гидрогенные железомарганцевые отложения Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг характеризуются отношением Mn/Fe 0.84–1.36, низкотемпературные гидротермальные отложения Идзу-Бонинской дуги – Mn/Fe 6.13–13.9. Установлено, что концентрации Co, Ni и Cu существенно более высокие в гидрогенных корках Марианской дуги по сравнению с аналогичными корками Идзу-Бонинской дуги, количества остальных тяжелых и редких металлов (Pb, Cd, Ba, Sr и др.) в корках обеих дуг сопоставимые, для большинства катионов редкоземельных металлов они также близкие. Низкотемпературные гидротермальные железомарганцевые отложения Идзу-Бонинской дуги отличаются от гидрогенных отложений заметно более низким (на 1–2 порядка величины) содержанием катионов цветных, тяжелых и редких металлов. Содержание редкоземельных металлов в низкотемпературных гидротермальных образцах Идзу-Бонинской дуги невысокое: от 0.24 (Tm, Lu) до 32.35 мкг/г (Y), среди них в наиболее значительном количестве присутствуют Y, Ce, Nd.

Ключевые слова: железомарганцевые отложения, Идзу-Бонинская и Марианская островные дуги, рудные марганцевые и железистые минералы, катионы редкоземельных, цветных, тяжелых, редких металлов

DOI: 10.31857/S0024497X25040059, EDN: JEUUUH

На современном этапе развития западная окраина Тихого океана, являющаяся переходной зоной от континента к океану, характеризуется высокой вулканической и гидротермальной активностью, с которыми связываются многочисленные сульфидные рудопроявления. В свою очередь, выходы сульфидных руд на поверхность океанического дна, как правило, сопровождаются формированием вокруг них широких ореолов развития двух низкотемпературных генетических типов оксидных железомарганцевых отложений (ЖМО). К первому относятся гидротермальные корки, которые образуются вблизи выходов гидротермальных растворов, влияющих на макро- и микрокомпонентный состав придонной океанской воды. Они являются поисковым признаком

сульфидных руд [Аникеева и др., 2008; Богданова и др., 2012]. Ко второму типу относятся гидрогенные корки и конкреции, непосредственно осаждающиеся из морской воды на периферии гидротермального поля.

Анализ собственных материалов и доступных литературных источников показал, что к настоящему времени в пределах этих островных дуг выполнен значительный объем работ, направленных на изучение опробованных здесь железомарганцевых отложений [Аникеева и др., 2002, 2005, 2008; Батулин и др., 2011, 2012, 2014; Гавриленко, 1997; Гавриленко, Храмов, 1989; Дубинин и др., 2008; Успенская и др., 1989; Glasby et al., 2000, 2006; Hein et al., 2008; Knaack et al., 2021; Schulz, Hein, 1991;

Usui, Someya, 1997; Usui et al., 1986; Yamaoka et al., 2017 и др.]. Установлено, что ЖМО классифицируются как гидротермальные и гидрогенные. Среди слагающих их минералов идентифицированы бернессит, 10 \AA манганатный минерал и манганит, гематит, гетит, маггемит, кальцит, манганокальцит и родохрозит, вернадит, тодоркит, асболон-бузеврит, ферроксигит, нонтронит [Аникеева и др., 2008; Дубинин и др., 2008; Кнааск et al., 2021]. Сделан вывод о том, что со временем в гидротермальных марганцевых отложениях уменьшаются содержания Ni, Cu, Zn, Cd, Ba, РЗЭ, Tl и Pb, а также обогащенность легкими редкоземельными элементами (РЗЭ) [Yamaoka et al., 2017].

Целью настоящей работы являлось установление минералого-геохимических особенностей

рудных железомарганцевых отложений, поднятых камчатскими учеными в пределах Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы изученных железомарганцевых отложений собраны в 1-м (1977 г.) и 5-м (1978 г.) рейсах НИС “Вулканолог” в Идзу-Бонинской и Марианской островных дугах соответственно (рис. 1, 2, табл. 1).

В Идзу-Бонинской островной дуге отобраны образцы В1-14/А с глубины 1190 м, В1-35/4 из района скал Смита с глубины 1000 м, а также В-46/5, В1-52/6 и В1-55/7 в пределах подводной вулканической группы Софу с глубин 810, 800 и 1500 м соответственно (см. рис. 1, 2, рис. 3, табл. 1).

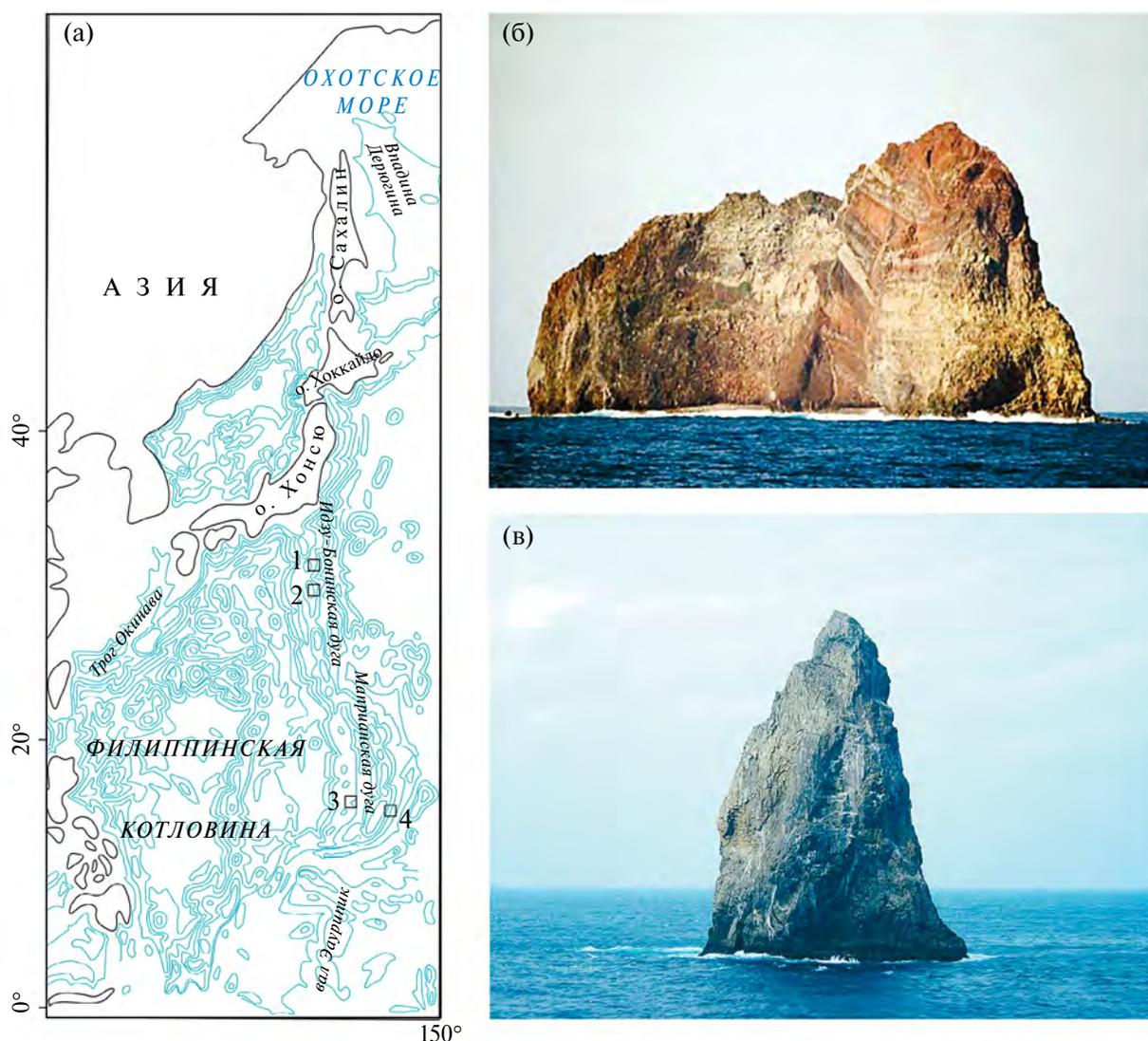


Рис. 1. Местоположение полигонов исследования (а), скалы Смита (б) и скала Софу (в). Фотографии из свободных источников.

(а) – 1 – подводный вулкан в районе скал Смита, 2 – подводная вулканическая группа Софу, 3 – Риф Аракана, 4 – бортовой вал Тихоокеанской части Марианского желоба.

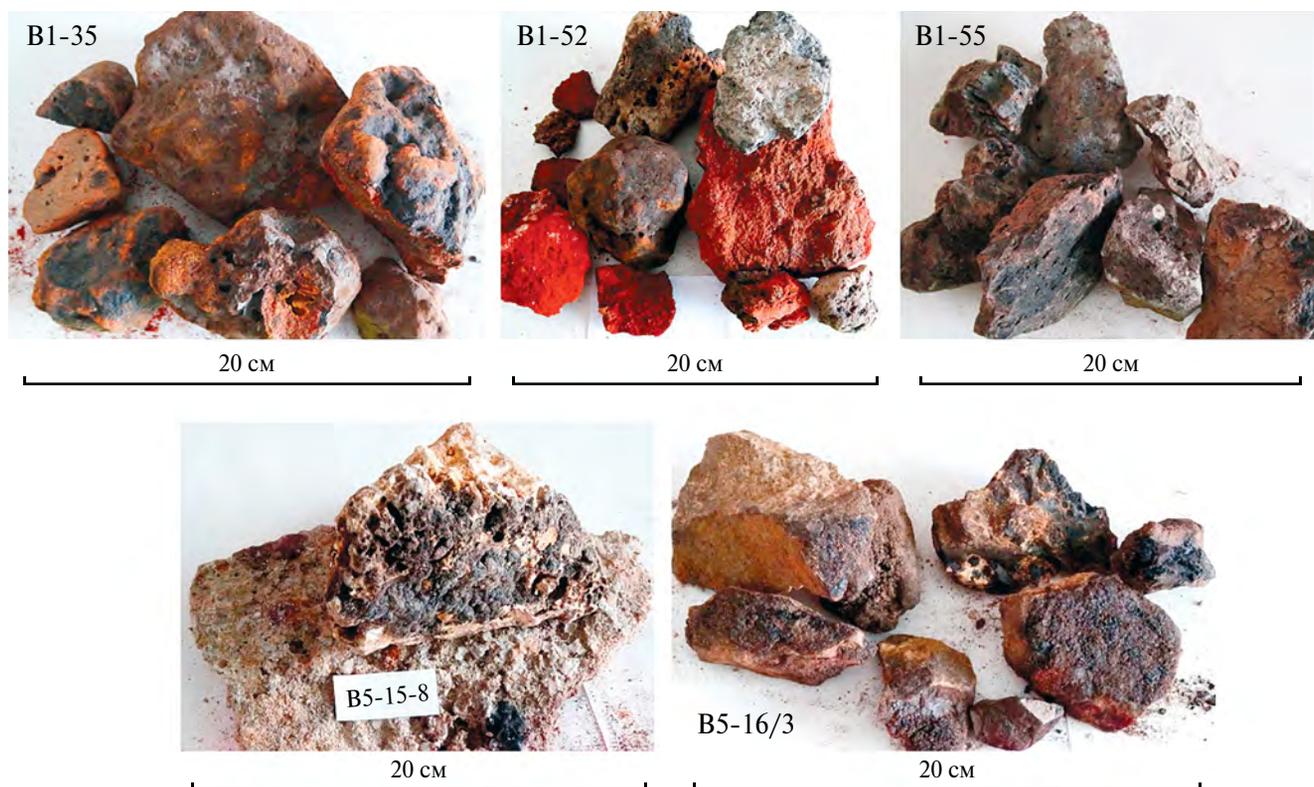


Рис. 2. Железомарганцевые отложения Идзу-Бонинской (обр. B1-35, B1-52, B1-55) и Марианской (обр. B5-15/8, B5-16/3) островных дуг.

Таблица 1. Координаты станций отбора и описание образцов железомарганцевых отложений

№ п/п	№ дночерпателя/драга	Координаты отбора		Глубинный интервал отбора, м	Описание образцов
		широта северная	долгота восточная		
Подводный вулкан в районе скал Смита					
1	B1-14/A, дночерпатель	31°06.7'	139°19.2'	1190	Железомарганцевая корка (до 1.0 см) с черной волнистой поверхностью
2	B1-35/4, драга	31°01.0'	139°03.5'	1000–920	Лавы с железомарганцевой коркой толщиной от 1 до 5 см
Подводная вулканическая группа Софу					
3	B1-46/5, драга	29°47.6'	140°13.3'	810–780	Угловатые обломки свежей пемзы (1–30 см) с железомарганцевыми прослоями
4	B1-52/6, драга	29°48.7'	140°09.2'	800–770	Железомарганцевые корки и тонкие пластинки вулканического стекла (0.5–1 см), сцементированные минералами железа
5	B1-55/7, драга	29°47.0'	140°04.4'	1600–1500	Угловатые обломки пемзы (1–25 см), покрытые тонкой железомарганцевой пленкой
Риф Аракане					
6	B5-15/8, драга	15°40.0'	142°35.6'	730–650	Обломки коралловых известняков, покрытых железомарганцевой коркой
Бортовой вал Тихоокеанской части Марианского желоба					
7	B5-16/3а, драга	14°46.7'	145°17.0'	1350–1250	Известковые песчаники, покрытые железомарганцевой коркой
8	B5-16-/3б, драга				

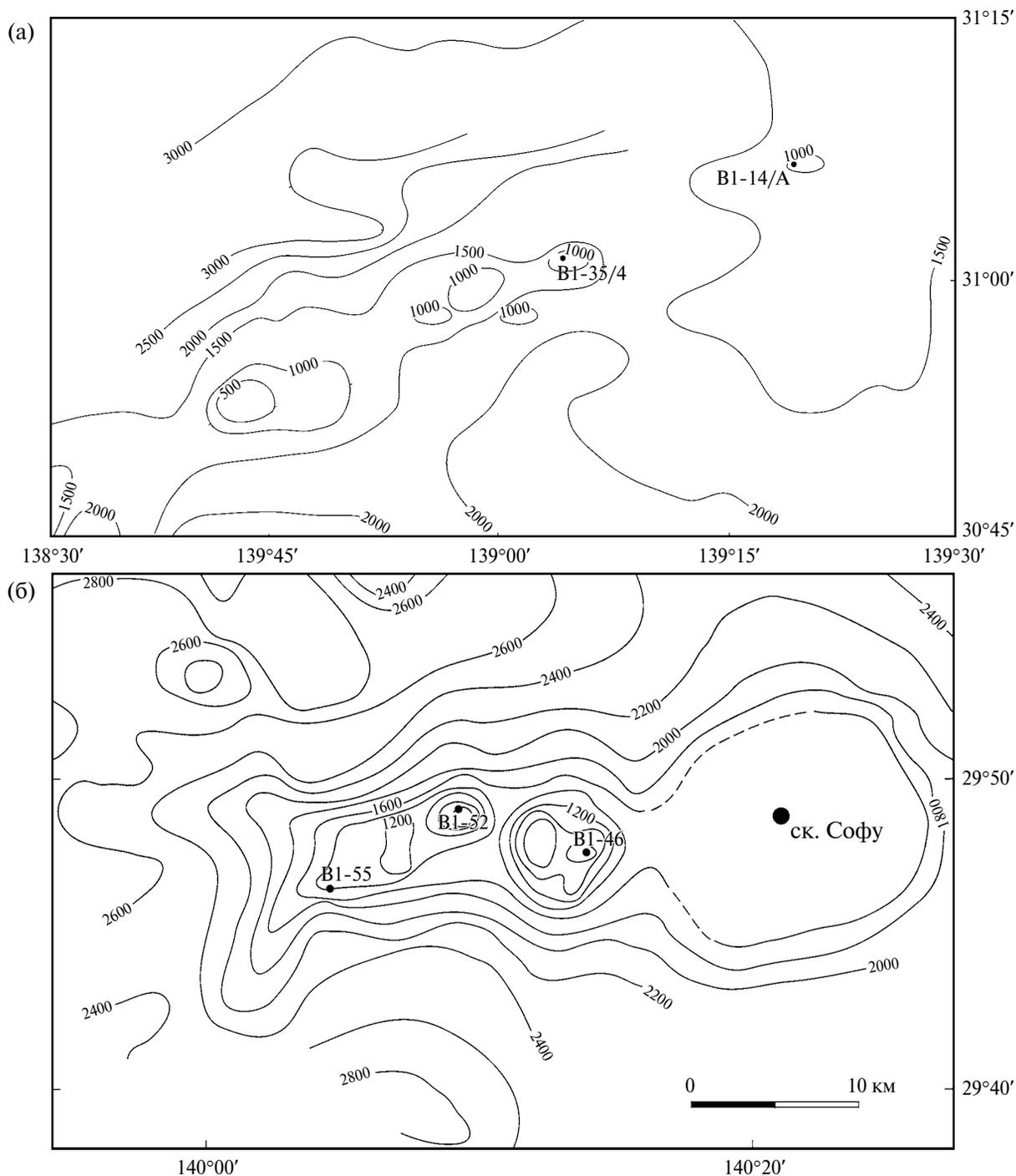


Рис. 3. Подводный вулкан в районе скал Смита (а) и подводная вулканическая группа Софу (б).

В Марианской островной дуге на склоне Западно-Марианского подводного хребта на рифе Аракане отобран образец В5-15/8 (см. рис. 1, 2, рис. 4а, табл. 1). На бортовом валу Тихоокеанской части Марианского желоба на глубине 2650 м отобраны образцы В5-16/3а и В5-16/3б (см. рис. 1, 2, 4б, табл. 1).

Минеральный состав железомарганцевых корок изучен в сертифицированном отделе минералогии

ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского методом просвечивающей электронной микроскопии – микродифракцией электронов. Подготовка образцов проводилась следующим образом. Из пробы массой ~50 мг путем ультразвуковой обработки приготовляли водную суспензию в пробирке (диспергатор УЗДН-2Г), затем каплю суспензии наносили на катодную пленку-подложку и высушивали.

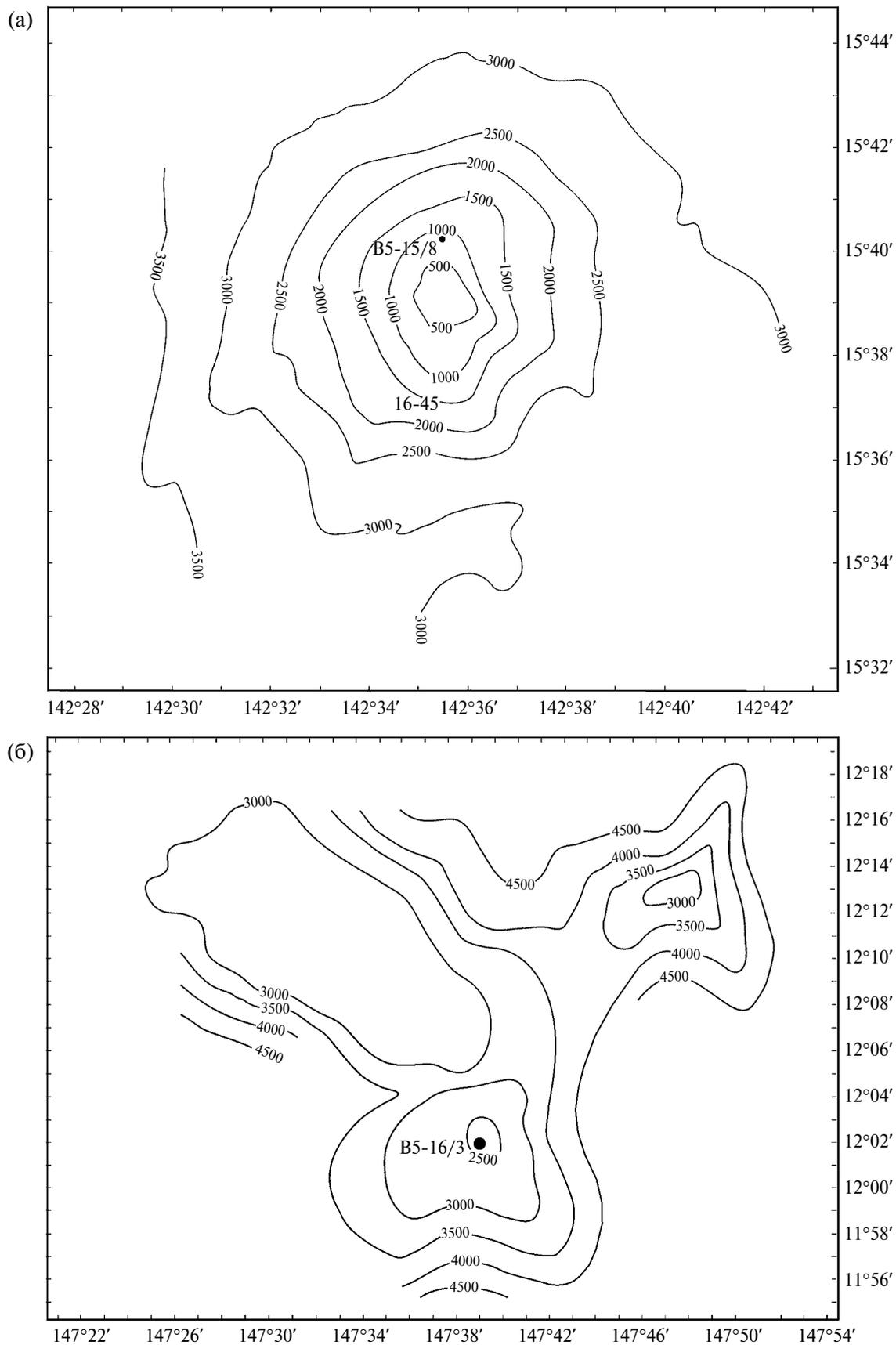


Рис. 4. Риф Аракане (а) и бортовой вал Тихоокеанской части Марианского жёлоба (б).

Исследование осуществлялось на микроскопе JEM-100С, оборудованном гониометром (обеспечивает наклон $\pm 60^\circ$), при ускоряющем напряжении 100 кВ. С каждой частицы получали изображение на просвет и электронограмму. Для диагностики бернессита в образцах, использовался метод порошковой рентгеновской дифрактометрии на приборе XPertPROMPD (Нидерланды).

Химический состав железомарганцевых отложений определялся методами ИСП-АЭС и ИСП-МС с использованием спектрометра iCAP-6500 Duo (Thermo Fisher Scientific, США) и квадрупольного масс-спектрометра ICP-MS, X-7 (Thermo Fisher Scientific, США) в Аналитическом сертифицированном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН. Химико-аналитические процедуры перед инструментальными анализами осуществлялись в соответствии с методиками, приведенными в работе [Karandashev et al., 2008]. Методом ICP-AES определялись макроэлементы (Na, Mg, P, S, K, Ca) и некоторые микроэлементы (Li, Al, Ti, V, Cr, Mn, Co, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba). Методом ICP-MS определялись только микроэлементы (Li, Be, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd, Cs, Ba, Tl, Pb, Bi, Th, U) и все редкоземельные элементы (Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu). Одновременное использование двух независимых методов анализа повысило качество и точность получаемых результатов. Таким образом, для каждого образца был выполнен дополнительный межметодный контроль точности измерений, когда элементы, содержание которых в образце надежно определяется обоими методами (ICP-AES и ICP-MS), служат внутренними стандартами для проверки точности метода. Сходимость результатов составила 95–98%. В качестве эталонов использовался стандартный отечественный образец ООПЕ-604 (железомарганцевые корки).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общие особенности исследованных структур

Подводная вулканическая группа вблизи скалы Смита (о. Сумису, о. Сумисуджима) (см. рис. 1, 3а) является вулканическим хребтом, вытянутым на 60 км и протягивающимся с запад–юго-запада на восток–северо-восток. Скалы Смита представляют собой скальный базальтовый массив, который возвышается над водой примерно на 140 м и входит в состав вулканического комплекса Сумису [Allen et al., 2010]. В районе скал были отмечены подводные извержения (<https://www.data.jma>.

[go.jp/vois/data/filing/souran_eng/volcanoes/067_sumisujima.pdf](https://www.data.jma/go.jp/vois/data/filing/souran_eng/volcanoes/067_sumisujima.pdf)). В пределах этой вулканической группы были подняты различные вулканогенные породы: органогенные известняки, андезиты, андезибазальты, базальты, пемзы андезибазальтового состава и различные железомарганцевые отложения.

Подводная вулканическая группа Софу [Рашидов, 2010; Рашидов и др., 1981; Рашидов, Сапожников, 2001; Minami, Tani, 2024; Yuasa et al., 1991] (см. рис. 1, 3б) представляет собой хребет субширотного простирания, перпендикулярный простиранию Идзу-Бонинской островной дуги. Хребет поднимается с глубин 2200–2400 м и имеет по контуру подножия длину 50–55 км и ширину 12–25 км (см. рис. 3б). Крутизна склонов хребта изменяется в пределах 9–13°. В его привершинной части выделяется цепочка вулканических конусовидных гор. Восточным окончанием хребта является крупный, размером 17.5 × 17.5 км, вулкан Софу. Вершина вулкана в виде скалы, которая, по-видимому, является отпрепарированным нечком, поднимается на 99–100 м выше уровня моря [Yuasa et al., 1991].

Скала Софу относится к молодым четвертичным вулканам [Yuasa, 1992], а подводная вулканическая группа Софу представляет собой вулканический центр четвертичного возраста. По данным работы [Minami, Tani, 2024], в период между 2022 и 2024 гг. в пределах подводной вулканической группы Софу произошли эксплозивные извержения.

Через скалу Софу проходит “тектоническая линия Софуган”, простирающаяся с северо-запада на юго-восток и разделяющая островную дугу Бонин на северную и южную части [Yuasa, 1985]. Скала Софу сложена оливин-клинопироксеновыми базальтами и порфирированными андезитами с фенокристаллами плагиоклаза, орто- и клинопироксена и рудных минералов, с южного склона подводного вулкана Софу были драгированы андезибазальты [Yuasa, Nochaga, 1992]. Глубоководная стадия проявления подводной вулканической деятельности группы Софу характеризуется базальтовым вулканизмом, промежуточная – андезитбазальтовым, мелководная – эксплозивно-эффузивным дациандезитовым [Рашидов, Сапожников, 2001].

Риф Аракане, расположенный на склоне Западно-Марианского подводного хребта, является обособленной подводной горой размером 1.8 × 1 км и поднимается с глубины 3500 м (см. рис. 4а). Минимальная глубина, зафиксированная над вершиной рифа, равна 10 м [Tsuda et al., 2015]. При драгировании здесь были подняты рифогенные известняки,

обломки кораллов и раковин, а также галька роговообманковых андезитов. Некоторые известняки покрыты железомарганцевыми корками.

На исследованном участке в районе бортового вала Тихоокеанской части Марианского жёлоба отмечен перепад глубин с 2500 до 4500 м (см. рис. 1, 4б), при драгировании подняты железомарганцевые корки с примазками известковых фосфоритизированных песчаников.

Минеральный состав железомарганцевых отложений

Изучение минерального состава опробованных железомарганцевых отложений Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг показало, что они состоят из достаточно узкого набора рудных минералов, находящихся в разных соотношениях (табл. 2).

Идзу-Бонинская островная дуга. Образец В1-35/4, отобранный в районе скал Смита (см. рис. 1, 2, 3), представлен буро-черной железомарганцевой коркой, располагающейся на андезитовой породе. Корка, мощностью от 1 до 3 см (местами до 5 см), в основном состоит из плохо окристаллизованного Fe-вернадита с низкой степенью упорядоченности структуры (см. рис. 2, рис. 5а, 5б). В небольшом количестве присутствует плохо окристаллизованный Mn-фероксигит (см. рис. 5в, 5г), в качестве примеси присутствует бернессит (см. рис. 5д) в виде чешуйчатых агрегатов, а также встречается гетит (см. рис. 5е). Образец В1-14/А представляет собой угловатый обломок свежей пемзы, на поверхности которого сформировалась железомарганцевая корка

черного цвета. Минеральный состав этого образца иной, по сравнению с образцом В1-35/4, и основным рудным минералом в нем является бернессит, в качестве примеси присутствует Fe-вернадит; железистые минералы представлены гетитом. Полученные результаты хорошо согласуются с данными из работ [Аникеева и др., 2008; Дубинин и др., 2008] и дополняют представления о минеральном составе ЖМО, опробованных в этом районе.

Образцы В1-46/5, В1-55/7 и В1-52/6 (см. рис. 1, 2, 3), отобранные в пределах подводной вулканической группы Софу, представляют собой угловатые обломки свежей пемзы; внутри первого образца наблюдались железомарганцевые прослойки, а поверхность второго – покрыта очень тонкой железомарганцевой пленкой. Образец В1-46/5 состоит в основном из хорошо окристаллизованного бернессита и вернадита (см. рис. 5ж, 5з) с незначительным количеством гетита. Поверхность измененного вулканического субстрата образца В1-55/7 покрыта очень тонкой железомарганцевой коркой, сложенной практически полностью из плохо окристаллизованных с низкой степенью упорядоченности структуры Fe-вернадита и Mn-фероксигита, а также бернессита в качестве примеси. Значительное преобладание марганцевых минералов над железистыми в образцах В1-14/А и В1-46/5 подтверждается высоким содержанием Mn и низким Fe, а также высоким отношением Mn/Fe, которое составляет 6.13 и 13.9 соответственно (табл. 3). Данные величины являются самыми высокими среди всех изученных нами образцов железомарганцевых отложений.

Таблица 2. Рудные минералы железомарганцевых отложений Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг

№ образца	Генетический тип отложений	Минеральный состав образцов	
		Идзу-Бонинская дуга	Марианская дуга
В1-35/4	Гидрогенный	Fe-вернадит, гетит, Mn-фероксигит, бернессит (примесь)	
В1-55/7	Гидрогенный	Fe-вернадит, Mn-фероксигит, бернессит (примесь)	
В1-14/А	Гидротермальный (марганцевого состава)	Бернессит, Fe-вернадит (примесь), гетит	
В1-46/5	Гидротермальный (марганцевого состава)	Бернессит, вернадит, гетит (мало)	
В1-52/6	Гидротермальный (железистого состава)	Гематит, гетит, фероксигит, Fe-вернадит (примесь)	
В5-15/8	Гидрогенный		Fe-вернадит, гетит
В5-16/3а	Гидрогенный		Вернадит, гетит
В5-16-/3б	Гидрогенный		Вернадит, гетит, бернессит

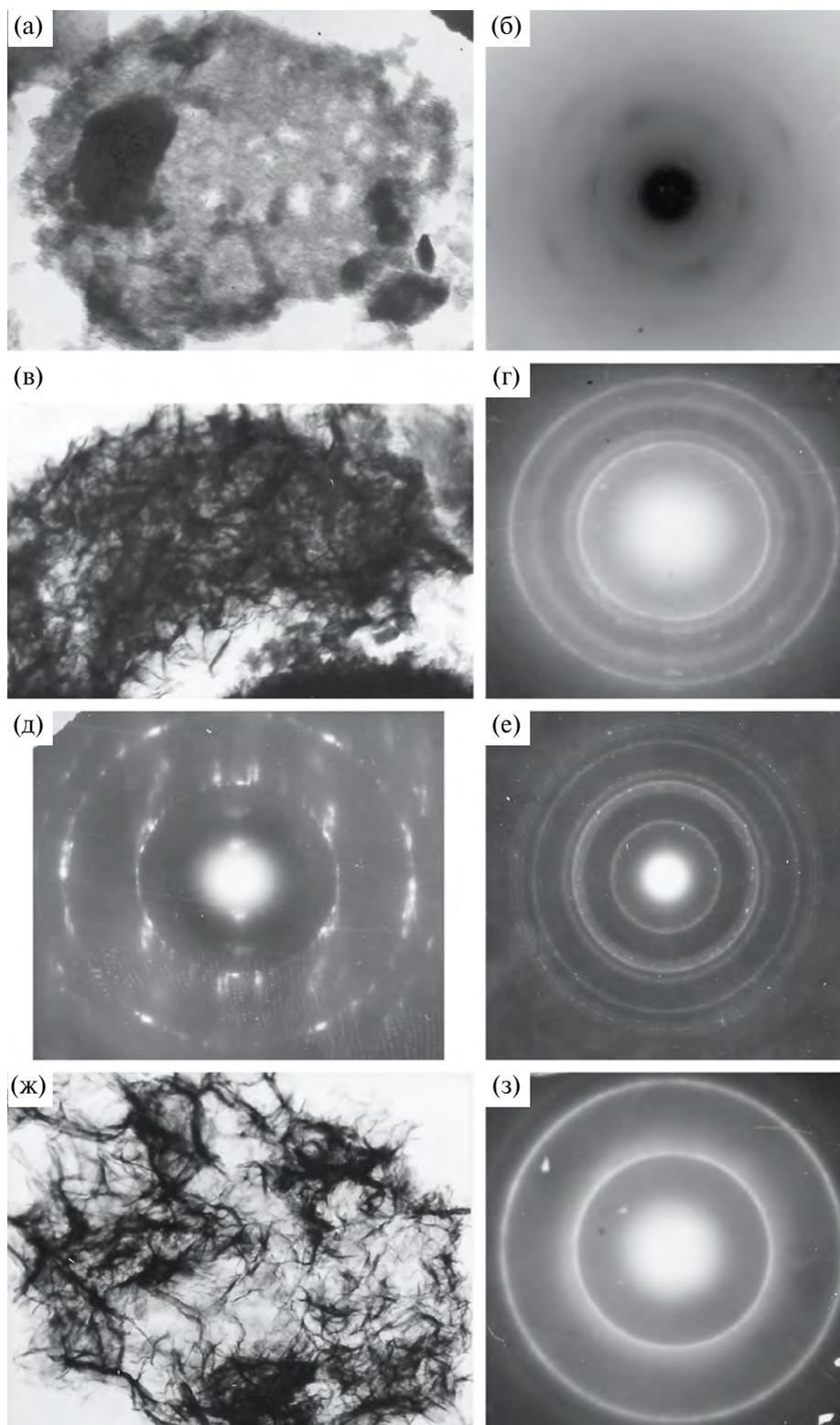


Рис. 5. Электронно-микроскопическое изображение (а) и микродифракционная картина частицы слабо окристаллизованного Fe-вернадита (обр. В1-35/4) (б); электронно-микроскопическое изображение (в) и микродифракционная картина частицы Mn-ферросигита (обр. В1-35/4) (г); микродифракционная картина частицы хорошо окристаллизованного бернессита (обр. В1-35/4) (д); микродифракционная картина частицы гетита (обр. В1-35/4) (е); электронно-микроскопическое изображение (ж) и микродифракционная картина (з) частицы вернадита (обр. В1-46/5).

Таблица 3. Химический состав железомарганцевых отложений Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг

Элементы	Предел обнаружения	Идзу-Бонинская дуга					Марианская дуга		
		B1-35/4	B1-55/7	B1-14/A	B1-46/5	B1-52/6	B5-15-8	B5-16/3a	B5-16/3б
Si	0.005	8.63	8.34	12,25	9.38	20.90	3.32	2.17	6.35
Ti	0.0004	0.75	0.66	0.23	0.17	0.56	1.01	0.60	1.14
Al	0.007	2.61	4.37	3.11	3.03	7.14	0.80	0.84	2.08
Ca	0.009	3.40	3.85	1.48	6.83	4.70	3.80	20.10	3.29
Mg	0.005	1.57	1.26	1.30	1.28	1.28	1.45	0.76	1.11
Na	0.005	2.25	2.35	1.98	4.68	2.45	4.38	1.40	0.50
K	0.001	0.50	0.76	1.10	0.40	0.38	0.64	0.34	0.58
P	0.005	0.48	0.27	0.11	0.04	0.18	0.26	3.42	0.28
Fe	0.006	18.28	16.75	4.06	1.86	16.54	17.43	11.34	19.72
Mn	0.0001	15.31	18.78	24.87	25.92	0.24	20.07	15.40	20.40
Co	0.1	3847	3184	13.68	14.36	23.48	7849	2855	4827
Ni	0.4	2412	2874	12.86	43.01	11.43	3750	3687	3632
Cu	0.2	1275	1350	6.35	17.51	52.91	274.6	1207	697.0
Zn	0.9	569.0	517.3	5.28	58.76	114.6	501.0	474.6	554.8
Sr	0.2	1423	1512	658.4	395.6	193.4	1398	1677	1423
Ba	0.73	1286	1378	2106	286.0	78.54	954.5	1324	1282
Pb	0.06	1670	1642	4.67	8.83	7.12	1823	910.0	1670
Li	0.03	15.81	11.68	155.8	141.6	8.18	5.48	10.73	9.91
Be	0.02	3.49	2.96	0.32	0.26	0.38	3.87	4.17	3.93
Sc	0.2	12.71	10.36	9.33	6.15	18.43	9.08	14.32	10.27
V	0.8	595.8	538.2	455	82.7	255.5	587.4	402.5	546.5
Cr	0.8	26.40	13.78	28.6	5.49	3.71	8.80	8.33	13.84
Ga	0.03	5.02	4.95	5.08	4.98	6.78	4.55	4.53	5.21
Ge	0.014	1.64	2.17	3.14	0.75	7.54	1.31	1.08	1.51
As	0.1	357.6	178.4	24.8	19.04	36.65	264.2	145.8	230.3
Rb	0.04	8.46	6.36	4.06	5.02	5.95	4.38	6.00	14.07
Y	0.07	171.2	185.8	33.82	14.05	32.25	195.1	622.3	200.2
Zr	0.1	317.2	426.8	152.7	44.78	74.91	519.9	495.2	645.4
Nb	0.03	49.63	51.34	1.22	0.97	1.83	68.74	26.95	61.71
Mo	0.06	238.3	334.8	77.4	83.64	74.65	376.5	353.3	299.8
Cd	0.03	3.51	4.55	0.35	0.68	0.30	4.78	3.26	4.35
Cs	0.06	0.46	0.38	0.28	0.15	0.43	0.11	0.38	1.10
La	0.030	241.4	266.4	53.4	3.84	5.97	201.4	401.4	283.6
Ce	0.014	750.2	883.6	115.7	8.65	15.24	1005	737.8	966.6
Pr	0.008	49.76	52.32	8.33	1.33	2.25	56.73	54.58	55.23
Nd	0.008	203.5	222.7	42.83	6.24	10.95	232.6	229.5	227.0
Sm	0.01	44.45	42.68	7.76	1.72	3.45	49.82	47.72	49.21
Eu	0.006	10.00	9.85	3.47	0.55	1.00	11.92	10.23	11.47
Gd	0.007	45.05	48.93	11.13	2.05	4.12	53.67	55.31	52.50
Tb	0.005	7.50	7.82	1.34	0.38	0.78	8.85	9.31	8.95
Dy	0.009	40.60	52.37	7.56	2.39	5.07	50.02	59.57	50.83
Ho	0.005	8.30	11.44	1.48	0.55	1.16	10.41	15.33	10.90
Er	0.008	22.97	28.95	5.17	1.71	3.42	29.41	47.33	30.66
Tm	0.007	3.18	3.92	6.32	0.24	0.50	4.31	6.93	4.51
Yb	0.009	19.20	24.55	4.51	1.61	3.34	26.28	43.27	28.33
Lu	0.007	2.96	3.48	0.60	0.24	0.50	4.04	7.16	4.41
Hf	0.01	6.02	7.37	1.45	1.26	2.07	8.98	7.93	10.28
Ta	0.01	0.49	0.54	0.08	0.05	0.13	0.67	0.59	0.70
W	0.02	34.09	48.73	12.46	14.00	0.56	58.84	64.95	59.78
Tl	0.005	24.30	31.48	0.32	0.53	0.26	128.14	120.48	122.9
Th	0.007	53.86	44.88	0.42	0.40	0.50	39.10	2.39	33.30
U	0.003	10.84	11.36	1.38	1.62	2.35	12.61	10.05	12.00
Mn/Fe		0.84	1.12	6.13	13.9	0.014	1.15	1.36	1.03

Примечание. Содержание и пределы обнаружения элементов с Si по Mn даны в мас. %, с Co по U – в мкг/г.

Совершенно иной минеральный состав наблюдается в образце В1-52/6. Одна часть образца вишнево-красного цвета, достаточно рыхлая и практически полностью сложена гематитом, тогда как другая часть — буро-желтая, представлена гетитом (см. рис. 2, табл. 2). На поверхности некоторых обломков присутствует очень тонкая буро-черная пленка, состоящая из ассоциации Fe-вернадита и Mn-ферроксигита. Полученные данные существенно дополнили имевшуюся информацию [Аникеева и др., 2008; Дубинин и др., 2008] о составе рудных железомарганцевых корок, отобранных в пределах подводной вулканической группы Софу.

Марианская островная дуга. Образец В5-15/8 (см. рис. 2, 4) отобран на рифе Аракане. В нем тонкая железомарганцевая корочка толщиной до 2 мм, расположенная на осадочном субстрате, сложена в основном Fe-вернадитом, в небольшом количестве присутствует гетит (см. табл. 2). При этом количества (мас. %) Mn и Fe близкие — 20.07 и 17.43 соответственно, марганцевый модуль составляет 1.15.

Образцы В5-16/3а и В5-16/3б (см. рис. 2, 4) отобраны на бортовом валу Тихоокеанской части Марианского желоба на глубине 2200 м. В образцах измененная порода субстрата покрыта тонкой черной пленкой, состоящей из вернадита, часто плохо окристаллизованного, гетита и небольшого количества бернессита в виде чешуйчатых агрегатов (см. табл. 2). Общим свойством вернадита и гетита является низкая степень их структурной упорядоченности и, как следствие, слабая окристаллизованность. В отличие от вернадита и гетита, бернессит достаточно хорошо окристаллизован, дифрактограммы характеризуются узкими интенсивными пиками с $d \sim 0.72$ и 0.36 нм, но его количество в образцах составляет не более 3–4%.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют, в соответствии с минералогической типизацией [Богданова и др., 2008], что изученные нами образцы железомарганцевых отложений относятся к двум генетическим типам. Гидрогенные железомарганцевые корки — это образцы В1-35/4, В1-55/7 Идзу-Бонинской дуги и образцы В5-15/8, В5-16/3а, В5-16/3б Марианской дуги. Основными рудными минералами в них являются Fe-вернадит, вернадит, Mn-ферроксигит и гетит. Образцы В1-14/А, В1-46/5 и В1-52/6 из Идзу-Бонинской дуги относятся к низкотемпературным гидротермальным железомарганцевым отложениям, причем в первом и во втором образцах преобладают марганцевые минералы: бернессит, вернадит, а в третьем — железистые минералы: гематит, гетит (см. табл. 2). Результаты исследований достаточно хорошо сопоставляются с данными работ [Schulz, Hein, 1991; Hein et al., 2008]

по гидротермальным образцам ЖМО Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг.

Химический состав железомарганцевых отложений

Содержание рудообразующих металлов (мас. %) в гидрогенных железомарганцевых отложениях Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг (обр. В1-35/4, В1-55/7, В5-15/8, В5-16/3а и В5-16/3б) следующее: Mn — 15.31–25.92, Fe — 11.34–19.72; отношение Mn/Fe изменяется от 0.84 до 1.36 (см. табл. 3), что подтверждает их гидрогенную природу и в геохимическом отношении.

Содержание катионов цветных, тяжелых и редких металлов в этих же (гидрогенных) отложениях составляет (мкг/г): Co — 1867–7849; Ni — 2412–3750; Cu — 274.6–1350; Zn — 474.6–569.0; Pb — 910.0–1823; Sr — 1398–1677; Ba — 954–1378; Mo — 238–376; Cd — 3.26–4.78; Li — 5.48–15.81 (см. табл. 3). При этом более высокая концентрация Co, Ni отмечается в корках В5-15-8 и В5-16/3б Марианской дуги по сравнению с корками В1-35/4 и В1-55/7 Идзу-Бонинской дуги. Для катионов Cu наблюдается обратная картина: содержание их в корках Идзу-Бонинской дуги выше, чем в корках Марианской дуги. Остальные катионы тяжелых и редких металлов в железомарганцевых корках обеих дуг присутствуют в близких количествах. Вместе с тем установлено, что содержание перечисленных выше катионов металлов в ЖМО Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг сопоставимо с количеством этих катионов в железомарганцевых корках открытого океана [Аникеева и др., 2002; Батулин, 1993; Мельников, 2005, 2018; Новиков, 2018; Bau et al., 2014; Cronan, 1992; Halbach, 1986; Halbach et al., 1981; Hein, Koschinsky, 2014; Hein et al., 1997, 2000; deMatos et al., 2023; Novikov et al., 2021; Takahashi et al., 2007; Zhou et al., 2023].

Содержание большинства катионов редкоземельных металлов (РЗМ), в гидрогенных отложениях Идзу-Бонинской (образцы В1-35/4 и В1-55/7) и Марианской (образцы В5-15, В5-16/3а и В5-16/3б) дуг находящихся в степени окисления 3+, почти одинаковое — от первых мкг/г (2.96 для Lu) до тысячи мкг/г (1005 для Ce) (см. табл. 3). Для всех изученных образцов гидрогенных корок характерна ярко выраженная положительная аномалия катионов Ce^{3+} и сравнительно невысокая положительная аномалия катионов Nd^{3+} . Однако в образце В5-16/3а содержание катионов тяжелых редкоземельных металлов (Ho, Er, Tm, Yb и Lu) в 1.5–2 раза больше, чем в остальных образцах гидрогенных корок. Близкое содержание катионов Y отмечается в образцах В1-35/4, В1-55/7, В5-15/8 и В5-16/3б — 171.2–200.2 мкг/г, в образце В5-16/3а его содержание более чем в три раза больше — 622.3 мкг/г

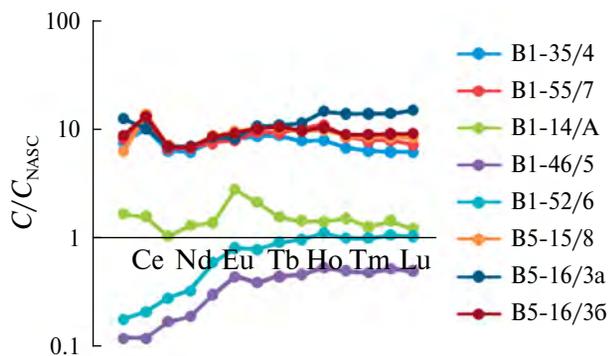


Рис. 6. Распределение редкоземельных элементов в железомарганцевых отложениях разных генетических типов Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг, нормализованное на соответствующий элемент NASC.

(см. табл. 3). Сумма катионов РЗМ, включая Y, составляет от 1620.33 (обр. B1-35/4) до 2347.74 мкг/г (обр. B5-15/8). Наибольший вклад в эту сумму вносят катионы Ce – от 31.4 (обр. B5-16/3a) до 49.5% (обр. B5-15/8).

Концентрации редкоземельных металлов в гидротермальных отложениях Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг, нормализованные на содержание соответствующего катиона в североамериканском сланце NASC [Gromet et al., 1984], характеризуются достаточно близким и равномерным распределением (рис. 6). На этом фоне отмечается общая тенденция – незначительная положительная аномалия катионов Ce^{3+} (см. рис. 6). Кроме того, в образце B5-16/3a наблюдается слабая положительная аномалия тяжелых катионов РЗМ, из которых наибольшая относится к катионам Ho^{3+} (см. рис. 6).

В отличие от гидротермальных железомарганцевых корок, содержание катионов Mn и Fe в низкотемпературных гидротермальных отложениях Идзу-Бонинской островной дуги существенно различается. В образцах B1-14/A и B1-46/5 содержание катионов Mn значительно больше содержания катионов Fe – 24.87 и 25.92 и 4.06 и 1.86 мас. % соответственно; отношение Mn/Fe в них 6.13 и 13.9, эти значения являются наиболее высокими среди изученных железомарганцевых отложений. В образце B1-52/6 отмечается противоположная картина: содержание катионов Fe (16.54 мас. %) значительно превосходит содержание катионов Mn (0.24 мас. %); отношение Mn/Fe является минимальным (0.014) среди всех изученных образцов (см. табл. 3).

Низкотемпературные гидротермальные железомарганцевые отложения Идзу-Бонинской островной дуги (обр. B1-46/5, B1-52/6) отличаются от гидротермальных отложений не только значительными вариациями Mn и Fe, о чем уже

говорилось, но и пониженным (на 1–2 порядка) содержанием катионов цветных, тяжелых и редких металлов (мкг/г): Co – 14.36–23.48; Ni – 11.43–43.01; Cu – 17.51–52.91; Zn – 58.76–114.6; Pb – 7.12–8.83; Sr – 193.4–395.6; Ba – 78.54–286.0; Cd – 0.30–0.68 (см. табл. 3). При этом содержание Co меньше на два порядка величины, Ni – на один порядок, а Zn и Cu – соответственно в 5 и 2 раза меньше в корке B1-52/6 железистого состава, чем в гидротермальных корках образцов B1-35/4 и B1-55/7 (см. табл. 3). Такая же тенденция отмечается для редких (Mo, Zr, Nb, Hf, W, Tl) и радиоактивных (Th и U) металлов (см. табл. 3). В то же время содержание катионов Li в низкотемпературной гидротермальной корке марганцевого состава (обр. B1-46/5) составляет 141.6 мкг/г, что примерно в 8–26 раз превышает его содержание в гидротермальных железомарганцевых отложениях Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг (см. табл. 3).

Следует отметить, что полученные нами данные о содержании катионов металлов в гидротермальных и низкотемпературных гидротермальных железомарганцевых отложениях находятся практически в том же диапазоне значений, что и для аналогичных отложений других районов Мирового океана [Аникеева и др., 2008; Батурин и др., 2011; Мельников, 2018; Новиков, 2018].

Концентрации катионов редкоземельных металлов в низкотемпературных гидротермальных образцах Идзу-Бонинской островной дуги низкие и сопоставимые. При этом в образце B1-52/6 корки железистого состава, уровень содержания РЗМ почти в два раза выше, чем в образце B1-46/5 корки марганцевого состава: от 0.24 (Tm, Lu) до 32.35 мкг/г (Y) (см. табл. 3). В обоих образцах среди редкоземельных металлов в наибольшем количестве содержатся Y, Ce, Nd (см. табл. 3). Сумма катионов РЗМ, включая Y, в образцах B1-46/5 и B1-52/6 составляет соответственно 45.55 и 90.00 мкг/г. Наибольший вклад в эту сумму вносят катионы Y – 30.8 и 35.8%. Кроме того, содержание катионов РЗМ в низкотемпературных гидротермальных отложениях Идзу-Бонинской островной дуги на порядок ниже, чем в гидротермальных корках (обр. B1-35/4, B1-55/7) и в корках Марианской дуги (обр. B5-15/8, B5-16/3a, B5-16/36) (см. табл. 3).

Распределение катионов РЗМ в низкотемпературных гидротермальных железомарганцевых образцах Идзу-Бонинской дуги указывает на три важные геохимические особенности. Во-первых, на отсутствие положительной цериевой аномалии, характерной для гидротермальных железомарганцевых корок; во-вторых, преобладание катионов тяжелых РЗМ над катионами легких РЗМ,

и в-третьих, значительное недосыщение низкотемпературных гидротермальных отложений всеми катионами редкоземельных металлов относительно гидrogenных корок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили получить новые данные о минеральном и химическом составе железомарганцевых отложений, отобранных в пределах Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что изученные нами образцы железомарганцевых отложений относятся к двум генетическим типам. Гидrogenными железомарганцевыми корками являются образцы В1-35/4, В1-55/7 Идзу-Бонинской дуги и образцы В5-15/8, В5-16/3а, В5-16/3б Марианской дуги. Основными рудными минералами в этих образцах являются слабо окристаллизованные с низкой степенью упорядоченности структуры Fe-вернаит и Mn-ферроксит, а также вернадит и гетит. К низкотемпературным гидротермальным железомарганцевым отложениям относятся образцы В1-14/А, В1-46/5 и В1-52/6 Идзу-Бонинской дуги с разным минеральным составом: в первых двух преобладают марганцевые минералы – хорошо раскристаллизованный бернессит и вернадит, в третьем – железистые минералы гематит и гетит.

Установлено, что содержание катионов Co, Ni в корках Марианской дуги (образцы В5-15-8 и В5-16/3б) существенно превышает их содержание в корках Идзу-Бонинской дуги (образцы В1-35/4 и В1-55/7). Для катионов Cu наблюдается обратная картина – меди содержится больше в корках Идзу-Бонинской дуги по сравнению с корками Марианской дуги. Содержание остальных тяжелых и редких металлов Pb, Cd, Ba, Sr и других в железомарганцевых корках этих дуг близкое. Концентрации большинства редкоземельных металлов в гидrogenных отложениях Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг сопоставимые: от первых мкг/г (2.96 для Lu) до тысячи мкг/г (1005 для Ce). Для всех изученных образцов гидrogenных корок характерна ярко выраженная положительная аномалия Se^{3+} и сравнительно невысокая положительная аномалия Nd^{3+} .

Низкотемпературные гидротермальные железомарганцевые отложения Идзу-Бонинской островной дуги (обр. В1-46/5, В1-52/6) содержат на 1–2 порядка меньше катионов цветных, тяжелых и редких металлов по сравнению с гидrogenными ЖМО этой же дуги. В то же время содержание катионов Li (141.6 мкг/г) в низкотемпературной гидротермальной корке В1-46/5 марганцевого состава в 8–26 раз больше содержания

этих катионов в гидrogenных ЖМО Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг. Концентрации редкоземельных металлов в низкотемпературных гидротермальных образцах Идзу-Бонинской островной дуги невысокие и составляют от 0.24 (Tm, Lu) до 32.35 мкг/г (Y), при этом в наибольшем количестве присутствуют катионы Y, Ce, Nd. Распределение катионов редкоземельных металлов в низкотемпературных гидротермальных железомарганцевых корках Идзу-Бонинской дуги указывает на три важные геохимические особенности. Во-первых, отсутствие положительной Ce-аномалии, характерной для гидrogenных железомарганцевых корок; во-вторых, преобладание катионов тяжелых РЗМ над катионами легких РЗМ; в-третьих, значительное недосыщение низкотемпературных гидротермальных корок всеми катионами РЗМ относительно гидrogenных корок.

В целом следует констатировать, что полученные нами данные по минеральному и химическому составу гидrogenных и низкотемпературных гидротермальных отложений Идзу-Бонинской и Марианской островных дуг находятся в хорошем соответствии с характеристиками аналогичных отложений открытой части океана и вносят дополнительный вклад в изучение Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность Татьяне Михайловне Михайлик за редакцию графического материала.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственных заданий FMWEFMWE-2024-0018, FWME-2024-0012.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аникеева Л.И., Андреев С.И., Казакова В.Е. и др.* Кобальт-богатые руды Мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 2002. 167 с.
- Аникеева Л.И., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А. и др.* Железомарганцевые корки подводного вулканического массива Эдельштейна и подводного вулкана, расположенного к западу от о. Парамушир (Курильская островная дуга) // Вулканология и сейсмология. 2005. № 6. С. 47–60.
- Аникеева Л.И., Казакова В.Е., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А.* Железомарганцевые корковые образования западно-тихоокеанской переходной зоны // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1. Вып. 11. С. 10–31.
- Батурин Г.Н.* Руды океана. М.: Наука, 1993. 303 с.
- Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т., Рашидов В.А.* Особенности распределения микроэлементов в железомарганцевых корках со дна Охотского моря // ДАН. 2011. Т. 440. № 2. С. 213–219.

- Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т., Рашидов В.А. Железомарганцевые корки Охотского моря // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 1. С. 95–108.
- Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т., Рашидов В.А. Пузыристая лава со дна Охотского моря // *ДАН*. 2014. Т. 456. № 2. С. 207–212.
- Богданова О.Ю., Горшков А.И., Новиков Г.В., Богданов Ю.А. Минеральный состав морфогенетических типов железо-марганцевых рудных образований Мирового океана // *Геология рудных месторождений*. 2008. Т. 50. № 6. С. 526–534.
- Богданова О.Ю., Демина Л.Л., Новиков Г.В., Сивцов А.В. Низкотемпературные железистые образования – поисковый признак полиметаллических сульфидов гидротермальных полей Атлантического океана // *Разведка и охрана недр*. 2012. № 3. С. 25–30.
- Гавриленко Г.М. Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник металлов в железомарганцевых образованиях островных дуг. Владивосток: Дальнаука, 1997. 165 с.
- Гавриленко Г.М., Храмов С.В. Железомарганцевые образования на подводных склонах Курильской островной дуги // *Вулканология и сейсмология*. 1989. № 9. С. 278–284.
- Горшков А.П., Абрамов Е.П., Сапожников Е.А. и др. Геологическое строение подводного вулкана Эсмеральда // *Вулканология и сейсмология*. 1980. № 4. С. 65–78.
- Дубинин А.В., Успенская Т.Ю., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А. Геохимия и проблемы генезиса железомарганцевых образований островных дуг западной части Тихого океана // *Геохимия*. 2008. № 10. С. 1280–1303.
- Мельников М.Е. Месторождения кобальтоносных марганцевых корок. Геленджик: Южморгеология, 2005. 230 с.
- Мельников М.Е. Кобальтоносные железомарганцевые корки // *Мировой океан*. Т. III. Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане. М.: Научный мир, 2018. С. 267–322.
- Новиков Г.В. Ионообменные свойства рудных минералов океанских железомарганцевых образований // *Мировой океан*. Т. III. Твердые полезные ископаемые и газовые гидраты в океане. М.: Научный мир, 2018. С. 355–497.
- Рашидов В.А. Геомагнитные исследования при изучении подводных вулканов островных дуг и окраинных морей западной части Тихого океана / Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Петропавловск-Камчатский, 2010. 27 с.
- Рашидов В.А., Горшков А.П., Иваненко А.Н. Магнитные исследования над подводными вулканами Эсмеральда и Софу // *Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии на акваториях морей и океанов электромагнитными методами*. М.: ИЗМИРАН, 1981. С. 213–218.
- Рашидов В.А., Сапожников Е.А. Геолого-геофизические исследования подводной вулканической группы Софу (Идзу-Бонинская островная дуга) // *Вулканология и сейсмология*. 2001. № 4. С. 39–47.
- Успенская Т.Ю., Горшков А.И., Гавриленко Г.М., Сивцов А.В. Железомарганцевые корки и конкреции Курильской островной дуги: их строение, состав генезис // *Литология и полез. ископаемые*. 1989. № 4. С. 30–40.
- Allen Sh.R., Fiske R.S., Tamura Y. Effects of water depth on pumice formation in submarine domes at Sumisu, Izu-Bonin Arc, Western Pacific // *Geology*. 2010. V. 38(5). P. 391–394.
<https://doi.org/10.1130/G30500.1>
- Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J., Kuhn T., Usui A. Discriminating between different genetic types of marine ferro-manganese crusts and nodules based on rare earth elements and yttrium // *Chem. Geol.* 2014. V. 381. P. 1–9.
- Cronan D.S. *Marine Minerals in Exclusive Economic Zones*. London: Chapman and Hall, 1992. 209 p.
- Gromet L.P., Dymek R.F. et al. “The North American Shale Composite”: Its composition, major, and trace element characteristics // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1984. V. 48. P. 2469–2482.
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90298-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90298-9)
- Glasby G.P., Iizasa K., Yuasa M., Usui A. Submarine Hydrothermal Mineralization on the Izu–Bonin Arc, South of Japan: An Overview // *Marine Georesources and Geotechnology*. 2000. V. 18(2). P. 141–176.
<https://doi.org/10.1080/10641190009353785>
- Glasby G.P., Chercashov G.A., Gavrilenko G.M., Rashidov V.A., Slovitsov I.B. Submarine hydrothermal activity and mineralization on the Kurile and western Aleutian Island arcs, N.W. Pacific // *Mar. Geol.* 2006. V. 231. P. 163–180.
- Halbach P. Processes controlling the heavy metal distribution in Pacific ferromanganese nodules and crusts // *Geol. Resch.* 1986. Bd. 75. H. 1. P. 235–247.
- Halbach P., Scherhag C., Hebisch V., Marchig V. Geochemical and mineralogical control of different genetic types of deep-sea nodules from the Pacific Ocean // *Miner. Deposita*. 1981. V. 16. P. 59–84.
- Hein J.R., Koschinsky A. Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules // *Treatise Geochem.* 2014. V. 13. P. 273–91.
- Hein J.R., Koschinsky A., Halbach P. et al. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific // *Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits* / Eds K. Nicholson, J.R. Hein, B. Buchann, S. Dasgupta // *Geol. Soc. Spec. Pub.* 1997. V. 119. P. 123–138.
- Hein J.R., Koschinsky A., Bau M. et al. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific // *Handbook of Marine Mineral Deposits* / Ed. D.S. Cronan. Boca Raton, London, N. Y., Washington, D.C.: CRS Press, 2000. P. 239–279.
- Hein J.R., Marjorie S., Schulz M.S. et al. Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin Arc system, Western Pacific // *J. Geophys. Res.* 2008. V. 113. B08S14.
<https://doi.org/10.1029/2007JB005432>
- de Matos C.S., Benites M., Jovane Li., Ulsen C. Chemical-mineralogical characterization of critical elements into ferromanganese crusts // *J. Mater. Res. Technol.* 2023. V. 25. P. 5633–5649.
- Karandashev V.K., Turanov A.N., Orlova T.A. et al. Use of the inductively coupled plasma mass spectrometry for element analysis of environmental objects // *Inorg. Mater.* 2008 V. 44. P. 1491–1500.
- Knaack D.R., Sullivan K., Brown D.J. et al. Geochemical and mineralogical composition of ferromanganese precipitates from the southern Mariana arc: Evaluation, formation, and implications // *Chem. Geol.* 2012. V. 568. 120132. 20 p.
<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120132>

- Minami H., Tani K.* Morphological evidence of an explosive eruption event in October 2023 at Sofu Seamount in the Izu-Bonin Arc // *Mar. Geol.* 2024. V. 477. 107405. 17 p. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2024.107405>
- Novikov G.V., Sedysheva T.E., Lobus N.V., Bogdanova O. Yu.* Cobalt-rich ferromanganese crusts of the Govorov guyot of the Magellan seamounts of the Pacific Ocean: conditions of occurrence, mineralogy, and geochemistry // *Oceanology*. 2021. V. 61(6). P. 1026–1039. <https://doi.org/10.1134/S0001437021060102>
- Schulz M.N., Hein J.R.* Petrography and chemistry of hydrothermal manganese oxyhydroxides from the Mariana and Izu-Bonin volcanic Arc, West Pacific // *Open File Report 91-557*. U. S. Department of the Interior Geological Survey, 1991. 80 p.
- Takahashi Y., Manceau A., Geoffroy N., Marcus M.A., Usui A.* Chemical and structural control of the partitioning of Co, Ce, and Pb in marine ferromanganese oxides // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2007. V. 71. P. 984–1008.
- Tsuda R.T., Vroom P.S., Page-Albino K.N., Giuseffi L.* Marine Benthic Algae from Seamounts along the Mariana Islands, Western Pacific // *Micronesica*. 2015. V. 4. P. 1–19.
- Usui A., Someya M.* Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific // *Manganese mineralization: Geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits* / Eds K. Nicholson, J.R. Hein, B. Buhn, S. Dasgupta // *Geol. Soc. Publ.* 1997. V. 119. P. 177–198.
- Usui A., Yuasa M., Yokata S. et al.* Submarine manganese deposits from the Ogasawara (Bonin) Arc, of Japan Islands // *Mar. Geol.* 1986. V. 73. P. 311–322.
- Yamaoka K., Ma L., Hishikawa K. et al.* Geochemistry and U-series dating of Holocene and fossil marine hydrothermal manganese deposits from the Izu-Ogasawara arc // *Ore Geology Review*. 2017. V. 87. P. 114–125. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.07.025>
- Yuasa M.* Sofugan tectonic line. A new tectonic boundary separating northern and southern parts of the Ogasawara (Bonin) Arc, northwest Pacific // *Formation of Active Ocean Margins* / Eds N. Nasu et al. Tokio: TERRAPUB, 1985. P. 483–496.
- Yuasa M.* Origin of along-arc geologic variations of the volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc // *Bull. Geol. Surv. Japan*. 1992. V. 43(7). P. 457–466.
- Yuasa M., Murakami F., Saito E., Watanabe K.* Submarine Topography of seamounts on the volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc // *Bull. Geol. Serv. Japan*. 1991. V. 12(12). P. 703–743.
- Yuasa M., Nochara M.* Petrographic and geochemical along-arc variations of volcanic rocks on the volcanic front of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc // *Bull. Geol. Surv. Japan*. 1992. V. 43(7). P. 421–456.
- Zhou J., Liu J., Yang S. et al.* Microstratigraphic geochemical characteristics of ferromanganese crust from central Pacific: Implication for the role of Fe and Mn in REY enrichment // *Chem. Geol.* 2023. V. 637. 121665. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2023.121665>

NEW MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE ORE FERROMANGANESE DEPOSITS OF THE IZU-BONIN AND MARIANA ISLAND ARCS

G. V. Novikov¹, V. A. Rashidov^{2,*}, O. Yu. Bogdanova¹

¹*Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky prosp., 36, Moscow, 117997 Russia*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, bulvar Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia*

**e-mail: rashidva@kscnet.ru*

Some features of the ferromanganese deposits of the Izu-Bonin and Mariana Island arcs tested in the 1st (1977) and 5th (1978) flights of the R/V *Volcanologist* are considered. Two types of genetic deposits have been identified – hydrogenic and low-temperature hydrothermal. The main ore minerals of hydrogenic ferromanganese deposits are poorly crystallized structures with a low degree of ordering Fe-vernadite and Mn-feroxygite, with a smaller amount of goethite and bernessite. Low-temperature hydrothermal deposits consist either primarily of bernessite, as well as vernadite and goethite, or of hematite, goethite and feroxygite. Hydrogenic ferromanganese deposits of the Izu-Bonin and Mariana Island arcs are characterized by a Mn/Fe ratio of 0.84–1.36, for low-temperature hydrothermal deposits of the Izu-Bonin arc it is 6.13–13.9. It was found that the content of Co, Ni and Cu is significantly higher in the crusts of the Mariana arc compared with the crusts of the Izu-Bonin arc. The contents of the remaining cations of heavy and rare metals – Pb, Cd, Ba, Sr and others – in the crusts of both arcs are close to each other. The content of most rare earth metal cations in the hydrogenic deposits of the Izu-Bonin and Mariana arcs is comparable to each other. Low-temperature hydrothermal ferromanganese deposits of the Izu-Bonin arc differ significantly from hydrogenic deposits with a low (by 1–2 orders of magnitude) content of cations of non-ferrous, heavy and rare metals. The contents of rare earth metal cations in low-temperature hydrothermal samples of the Izu-Bonin arc are low and range from 0.24 (Tm, Lu) to 32.35 mcg/g (Y). Among all rare earth metal cations, Y, Ce, Nd are present in the largest amounts in these samples. Among all rare earth metal cations, Y, Ce, and Nd are present in the largest amounts in these samples.

Keywords: Izu-Bonin and Mariana Island arcs, ferromanganese crusts, ore manganese and ferruginous minerals, cations of rare earth, heavy metals