

УДК 553.064

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛЬНЫХ ФАЗАХ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ КОРОК С-3 ПАЦИФИКИ

© 2022 г. П. Е. Михайлик^{1,*}, академик РАН А. И. Ханчук¹, Е. В. Михайлик¹, В. А. Рашидов²

Поступило 29.10.2021 г.
После доработки 13.01.2022 г.
Принято к публикации 03.02.2022 г.

Впервые рассмотрено распределение Fe, Mn, Cu, V, Zn и Ni в минеральных фазах железомарганцевых корок разного генезиса, формирующихся в пределах островных дуг. Гидротермальные Fe–Mn-корки подводного купола, расположенного в 47 км к ССЗ от о. Чагулан, Алеутская островная дуга, содержат меди до 12511 г/т, Курильской островной (КОД) дуги цинка до 1073 г/т. В гидрогенных Fe–Mn-корках КОД концентрация никеля (2078 г/т) сопоставима с его количеством в океанских кобальт-марганцевых корках. Результаты фазового анализа показывают, что в гидротермальных образованиях медь находится в сорбированном состоянии и до 90% связывается с оксидами Mn. В гидрогенных Fe–Mn-корках, подвергшихся гидротермальному воздействию, наблюдается увеличение доли Cu в марганцевой фазе. Эта тенденция характерна для V и Zn.

Ключевые слова: фазовый анализ, селективное выщелачивание, Fe–Mn-корки, генезис, С-3 Пацифика

DOI: 10.31857/S2686739722050097

На морском дне залегают гидрогенные Fe–Mn-корки, приуроченные к подводным горам и поднятиям, диагенетические конкреции абиссальных котловин и гидротермальные отложения, ассоциирующиеся с вулканически активными структурами [1]. В периоды роста гидрогенных и диагенетических железомарганцевых образований (ЖМО) возможна дополнительная поставка химических элементов гидротермальными флюидами. Такие факты были установлены нами при изучении гидрогенных кобальт-марганцевых корок (КМК) гайотов Детройт (Императорский хребет) [2] и Сет (подводные горы Маркус-Уэйк) [3]. Рудные корки гайота Детройт, растущие с позднего олигоцена по голоцен, в интервале средний миоцен содержат пластинки самородного золота, сформировавшиеся вследствие низкотемпературной гидротермальной деятельности. Признаки наложенной гидротермальной деятельности установлены в керне скв. 884 (ODP) гайота Детройт в базальтоидах субстрата и в перекрывающих осадочных породах вплоть до среднего миоцена [4]. Медная минерализация в керне

приурочена только к плоскостям разрывных нарушений. Здесь впервые в тихоокеанском регионе установлен атакамит [4], являющийся поисковым признаком обнаружения глубоководных полиметаллических сульфидов в Атлантике [5]. Еще один элемент-индикатор гидротермальной принадлежности – ртуть, с аномально высоким до 4120 мг/т содержанием выявлен в плиоцен-четвертичных слоях КМК гайота Сет, где Fe–Mn-рудообразование фиксируется с палеоцена [3].

Все морские ЖМО состоят из четырех минеральных фаз: I – легкорастворимая биогенная (loosely bound); II – марганцевая (Mn oxide); III – железистая (Fe oxyhydroxide); IV – остаточная алюмосиликатная (residual) [6].

Марганцевая и железистая фазы, являющиеся главными рудными составляющими ЖМО, имеют противоположный поверхностный заряд [6]. Для первой он отрицательный, для второй – положительный или нейтральный. Это приводит к избирательной сорбции растворенных в морской воде и/или гидротермальном флюиде химических элементов. В результате смешения гидрогенного и гидротермального источников следует ожидать перераспределения химических элементов между оксидами Mn и гидроксидами Fe. Соотношение химических элементов в гидрогенных Fe–Mn-корках, подвергшихся воздействию гидротермального флюида, в настоящее время не известно. Данная работа посвящена изучению этого вопроса.

¹Дальневосточный геологический институт, Дальневосточное отделение Российской академии наук, Владивосток, Россия

²Институт вулканологии и сейсмологии, Дальневосточное отделение Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, Россия

*E-mail: mikhailik@fegi.ru

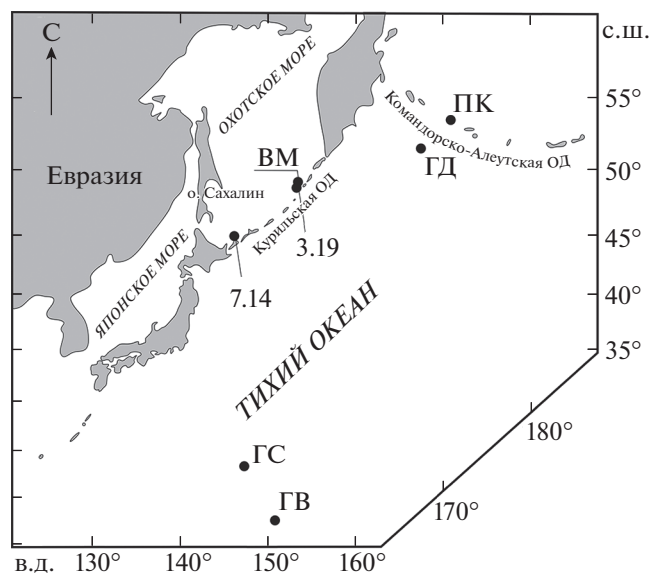


Рис. 1. Схема расположения мест отбора Fe–Mn-корок: ПК – “Подводный купол”; ВМ – вулкан Макарова; 3.19 – вулкан 3.19; 7.14 – вулкан 7.14; ГД – гайот Детройт; ГС – гайот Сет; ГВ – гайот Вулканолог.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для изучения послужили образцы КМК с гайотов Детройт, Сет и Вулканолог, а также образцы Fe–Mn-корок с подводных вулканов КОД (7.14, 3.19 и Макарова) и АОД (подводный купол, расположенный в 47 км к ССЗ от острова Чагулан, далее “Подводный купол”). Образцы подняты в 13 (1982 г.), 17 (1983 г.), 23 (1986 г.), 24 (1985 г.), 25 (1986 г.) и 38 (1990 г.) рейсах нис “Вулканолог”, а также в 13 (1991 г.) рейсе нис “Академик Александр Виноградов”. Схема станций драгирования и их координаты приведены на рис. 1 и в табл. 1.

Валовой вещественный состав образцов Fe–Mn-корок определялся по стандартной методике, детально изложенной в [9]. Определение минерального состава выполнялось методом порошковой дифрактометрии. Выделение минеральных фаз (карбонатной, марганцевой, железной и

остаточной алюмосиликатной) из ЖМО производилось методом последовательного селективного выщелачивания [6]. Концентрация химических элементов в валовых пробах и выделенных минеральных фазах определялась методами ICP–MS и ICP–AES. Все аналитические работы проведены в Центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН (Владивосток).

Морфология, а также валовой вещественный состав Fe–Mn-корок гайотов Вулканолог, Детройт и Сет, а также вулкана 7.14 (КОД) описан в [2, 3, 7, 8]. Их минеральный и химический составы отвечают гидрогенным Fe–Mn-коркам, причем корки гайотов соответствуют богатому кобальтом типу КМК [1]. Вследствие того, что образцы КМК с гайотов Вулканолог и Сет представлены фрагментами наиболее молодого плиоцен-четвертичного слоя, в них было отобрано по одной пробе. КМК гайота Детройт, толщиной 150 мм – двухслойная. В ней было отобрано четыре пробы, характеризующие различный временной интервал от позднего олигоцена до голоцена [2]. Самый древний слой соответствует пробе Д13-4, самый молодой – Д13-1.

Образы Fe–Mn-корок подводных вулканов 3.19 и Макарова и “Подводного купола” имеют пеструю окраску и массивное строение (рис. 2). На боковых поверхностях видны как охристые, так и зеленые выделения. Пробы для исследования отбирались с поверхности образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вернадит (δMnO_2) является главным минералом, слагающим КМК гайотов [1]. Корка вулкана 7.14. представлена 10 Å-манганитом [7], вулкана Макарова – 10 Å-манганитом с примесью нонтронита, вулкана 3.19 – смесью 7- и 10 Å-манганитов, а “Подводного купола” – 10 Å-манганитом. Акцессорные минералы представлены кварцем, плагиоклазом и мусковитом.

Содержание Mn и Fe в рудных корках варьирует в широких пределах. Максимальные концентрации Mn 38.3 и 41.1% (табл. 2) определены в образцах с подводных вулканов Макарова и 3.19 со-

Таблица 1. Координаты и глубина отбора образцов ЖМО

Номер обр.	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Глубина, м	Название
В17-43/1	46°01.4′	147°56.1′	1400–1100	Хребет Гидрографов (Вулкан 7.14) [7]
В24-33	48°50.05′	153°14.5′	1365–1350	вулкан Макарова
В25-36/15	48°11.9′	153°30.9′	1290–1096	Вулкан 3.19
В38-25А/1	52°56.2′	171°26.0′	1100–900	“Подводный купол”
В23-9-9/5	18°00.0′	151°57.6′	1800–1600	гайот Вулканолог [8]
Д13	51°29.6′	167°38.9′	1650	гайот Детройт [2]
В13-2/7-1	23°52.0′	148°43.9′	2000–1800	гайот Сет [3]

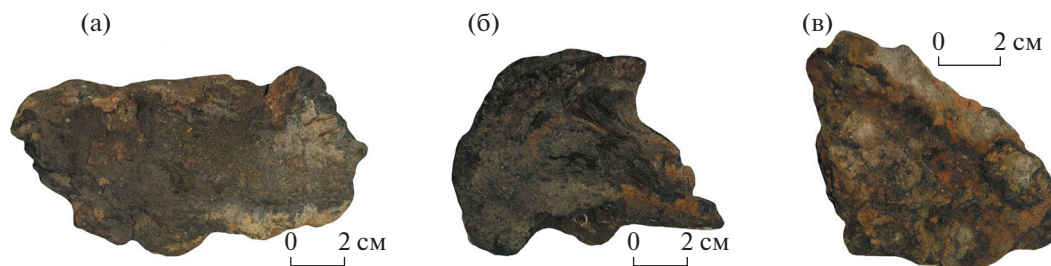


Рис. 2. Внешний вид Fe–Mn-корок: а – обр. В24-33; б – обр. В25-36/15; в – обр. В38-25А/1.

ответственно, а минимальное количество – для корки вулкана 7.14, в котором содержится наибольшее среди образцов КОД количество Fe (18.2%, табл. 2). Корка “Подводного купола” содержит 24.6% Mn и 9.27% Fe. Соотношение количества этих элементов в изученных корках гайотов соответствует интервалу их концентраций в КМК С-3 Пацифики [10]. Такие вариации Mn и Fe отразились на величине Fe–Mn-модуля. В образцах с наличием 7 Å- и 10 Å-манганитов величина этого отношения максимальна и изменяется от 2.65 до 16.5 (табл. 2) за исключением образца В17-43/1, где это отношение равно 0.63, которое

является следствием резкого повышения количества железа (табл. 2).

Концентрации Si и Al зависят от географического местоположения формирования корок. По мере удаления от континента количество этих элементов уменьшается, а титана растет, что свидетельствует об увеличении гидрогенного влияния [10]. Концентрация фосфора в образцах В24-23, В25-36/15 и В38-25А/1 составляет 0.09, 0.08 и 0.08% соответственно, и отвечает гидротермальным образованиям. В остальных корках концентрация Р сопоставима с его количеством в нефосфатизированных слоях КМК [1].

Таблица 2. Химический состав, отношение Mn/Fe и скорости роста Fe–Mn-корок С-3 Пацифики

Элемент	КОД			“Подводный купол”	гайот Вулкано-лог	гайот Детройт				гайот Сет
	Вулкан 7.14	вулк. Макарова	Вулкан 3.19			Д13-1	Д13-2	Д13-3	Д13-4	
	В17-43/1	В24-33	В25-36/15							В38-25А/1
Si (%)	14.46	6.57	4.41	11.9	2.53	9.04	4.13	3.21	5.02	6.26
Al	3.08	1.94	1.76	2.18	0.66	1.47	0.48	0.31	1.04	1.33
Ca	1.53	2.14	2.45	1.94	2.81	1.51	2.37	2.71	3.08	2.31
Fe	18.2	3.72	2.49	9.27	16.2	26.2	20.6	16.9	14.6	18.8
K	0.86	1.05	0.89	1.19	0.56	1.51	0.48	0.45	0.75	0.61
Mg	0.98	2.03	1.98	1.67	1.22	0.98	1.05	1.08	1.27	1.14
Mn	11.6	38.3	41.1	24.6	27.3	12.6	24	28.7	26.6	19.7
Na	2.19	2.3	2.84	2.45	2.19	1.69	2.08	2.04	2.01	1.69
P	0.39	0.09	0.08	0.08	0.31	0.48	0.46	0.40	0.59	0.44
Ti	0.36	0.09	0.11	0.14	1.52	0.81	0.77	0.84	0.84	0.82
V (г/т)	469	100	353	76	490	637	757	733	561	603
Co	697	52.3	113	355	9458	3358	3031	3828	3913	3676
Ni	2380	182	795	237	6378	1209	3260	5130	5248	2734
Cu	305	35.6	111	12511	934	139	397	809	1218	597
Zn	444	150	1073	69.1	677	547	610	609	704	457
Mn/Fe	0.63	10.3	16.5	2.65	1.69	0.48	1.17	1.70	1.82	1.04
R мм/млн лет	24.4	3278	959	93.6	0.59	2.75	4.13	2.89	2.36	2.34

Таблица 3. Содержание РЗЭ и иттрия, величины цериевой и иттриевой аномалий в Fe–Mn-корках С-З Пацифики

Элемент	КОД			“Подводный купол”	гайот Вулканолог	гайот Детройт				гайот Сег
	Вулкан 7.14	Вулкан Макарова	Вулкан 3.19			Д13-1	Д13-2	Д13-3	Д13-4	
	В17-43/1	В24-33	В25-36/15			В38-25А/1	В23-9-9/5			
Y	134	15.5	21.1	21.1	176	141	222	177	199	189
La	1893	9.34	11.2	6.82	282	257	361	303	254	293
Ce	931	15.1	17.4	15.2	1791	1070	1349	1824	1541	797
Pr	48.6	2.15	2.51	1.97	49.4	60.3	82.4	74.1	60.1	64.1
Nd	192	9.3	11.1	9.01	197	257	357	312	254	260
Sm	45.2	2.1	2.56	2.32	41.4	57.2	77.1	69.9	56.5	56.1
Eu	10.4	0.57	0.69	0.81	10.4	13.6	18.9	16.4	13.7	13.2
Gd	43.8	2.58	3.41	3.2	47.5	59.1	85.2	72.5	62.5	59
Tb	6.71	0.37	0.5	0.46	7.44	8.54	13	11.4	9.31	9.38
Dy	35.5	2.41	3.22	2.88	42.5	46.1	70.5	61.3	52.4	53.1
Ho	6.64	0.51	0.71	0.65	8.88	8.73	14.2	11.7	10.7	10.5
Er	18.5	1.43	2.1	1.89	26.3	23.3	39.5	33.5	30.6	29.8
Tm	2.63	0.22	0.33	0.29	3.84	3.31	5.59	5.02	4.53	4.15
Yb	17.1	1.52	2.3	1.94	25.3	21.3	37.5	32	29.4	26.3
Lu	2.62	0.2	0.32	0.31	3.87	3.05	5.58	4.77	4.32	3.88
Ce/Ce*	2.24	0.78	0.76	0.95	3.46	1.98	1.80	2.81	2.88	1.34
Y/Ho*	0.72	1.08	1.06	1.14	0.70	0.57	0.55	0.54	0.66	0.64

Примечание. Ce/Ce* – цериевая ($Ce/Ce^* = Ce_{sn}/(La_{sn} \times 0.5) + (Pr_{sn} \times 0.5)$) и Y/Ho* – иттриевая аномалия, где sn – значения РЗЭ, нормализованные по PAAS [14].

Максимальная концентрация Со установлена в образце В23-9-9/5 (9458 г/т). Для остальных корок гайотов его количество изменяется от 3031 до 3913 г/т. Невысокое количество Со определено в образцах КОД, варьировующее в пределах 52.3–697 г/т (табл. 2). Такие концентрации прослеживаются как в гидротермальных, так и гидротермальных ЖМО островных дуг [11]. В целом количества Си, Ni и Zn в корках, формирующихся в условиях приконтинентального литогенеза, имеют более низкие концентрации, чем КМК гайотов. Исключения составляют концентрации Си в обр. В38-25А/1 (12511 г/т), Ni в обр. В17-43/1 (2380 г/т) и Zn в обр. В25-36/15 (1073 г/т), которые в основном отмечаются в КМК и/или железомарганцевых конкрециях. Однако в настоящее время известны задуговые гидротермальные ЖМО, сложенные 7 Å- и 10 Å-манганитами, с концентрацией Си до 1.53%, Ni до 4.6% и Со до 2.24%, которые сорбированы Fe–Mn-веществом [12].

В корках гайотов, а также подводного вулкана 7.14 распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) отражает их гидротермальное накопление. Отчетливо проявлена положительная цериевая аномалия, которая изменяется в пределах 1.34–3.46, а также отрицательная иттриевая аномалия (рис. 3), выраженная отношением нормированных на сла-

нец иттрия к гольмию, составляет 0.54–0.72. Напротив, образцы с подводных вулканов Макарова и 3.19, а также “Подводного купола”, характеризуются более низкими концентрациями РЗЭ и Y и в своем составе имеют отрицательную (0.76–0.95) цериевую аномалию, а отношение Y/Ho* более единицы (1.07–1.35), что отвечает накоплению редких земель в условиях гидротермальной поставки вещества [13]. На классификационных диаграммах (рис. 4) зависимости величины Ce-аномалии от содержания Nd (а) и величине отношения нормированных Y к Ho (б) образцы Fe–Mn-корок, имеющих наименьшие суммы РЗЭ+Y, а также характеризующиеся отрицательной Ce- и положительной Y-аномалиями, располагаются в поле гидротермальных образований. Корки с положительной Ce- и отрицательной Y-аномалиями, отличающиеся значительно высокой суммой РЗЭ, расположены в поле гидротермальных образований.

Исходя из геологических условий залегания Fe–Mn-корок и полученных данных об их минеральном и химическом составе, а также особенностях накопления РЗЭ с уверенностью можно констатировать, что образцы В24-23, В25-36/15 и В38-25А/1 имеют гидротермальный генезис. Fe–Mn-корки гайотов Вулканолог (В23-9-9/5), Дет-

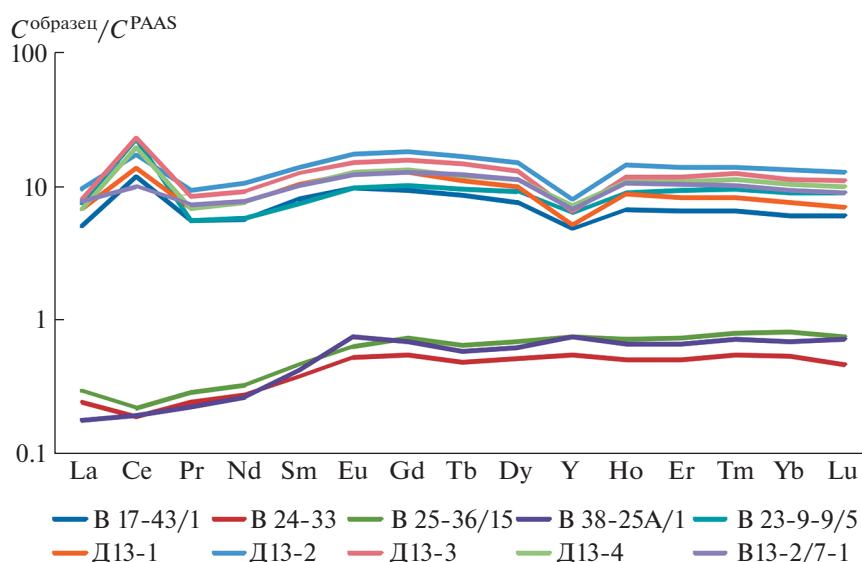


Рис. 3. Распределение сланец (PAAS [13]) нормализованных РЗЭ + Y в Fe–Mn-корках С-3 Пацифики.

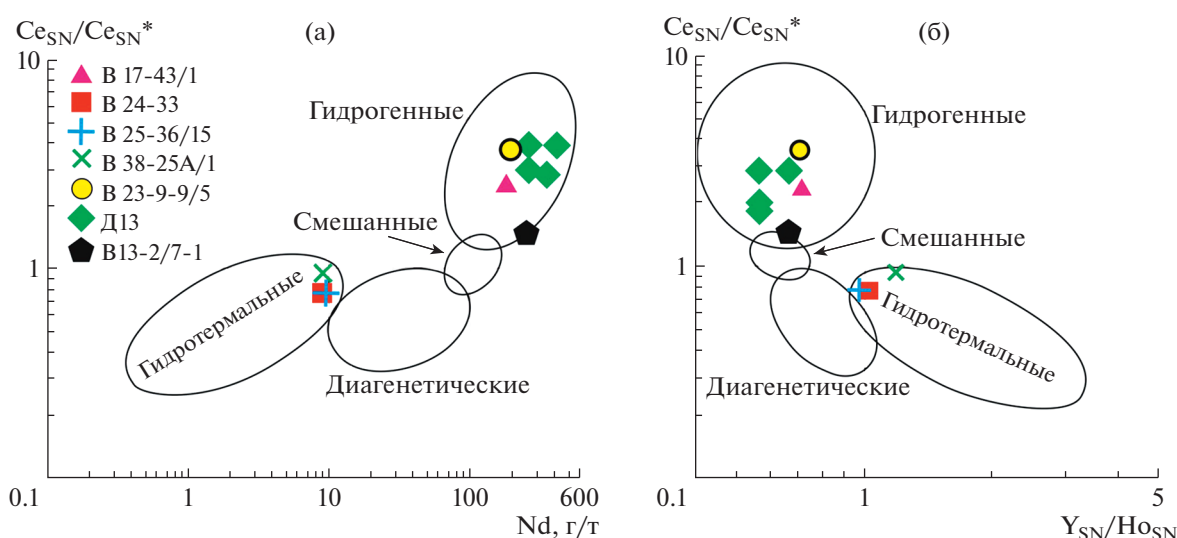


Рис. 4. Классификационные диаграммы отношения величин цериевой аномалии к содержанию Nd (а) и к величине отношения сланец (PAAS) нормализованных Y и Ho (б) [13].

ройт (Д13) и Сет (В13-2/7-1), а также подводного вулкана 7.14 соответствуют гидрогенным образованиям.

Результаты селективного выщелачивания говорят о практически полном растворении Mn оксидов (фаза II) и связанных с ними элементов (рис. 5). Максимальное количество Fe связано с третьей вытяжкой (фаза оксигидроксидов Fe) в независимости от генезиса ЖМО (рис. 5). Его небольшое количество высвобождается вместе с Mn-оксидами, что связывается с вхождением Fe в структуру Mn-минералов [1]. Довольно большая часть Fe содержится в алюмосиликатной состав-

ляющей обр. В38-25А/1, в котором установлена максимальная концентрация Cu (12511 г/т) среди изученных образцов. Можно предположить, что этот образец содержит медьсодержащие минералы. Однако дифрактометрией они не установлены, а основная часть меди связана с марганцевой фазой (рис. 5), что говорит о ее сорбированной форме в данной Fe–Mn-корке. Возможно, в пробе содержатся обломки вулканческих пород, так как в ней резко возрастает количество Si (табл. 2).

Гидрогенные Fe–Mn-корки, не подвергшиеся гидротермальному воздействию, содержат минимум Cu в Mn фазе (рис. 5). В гидротермальных об-

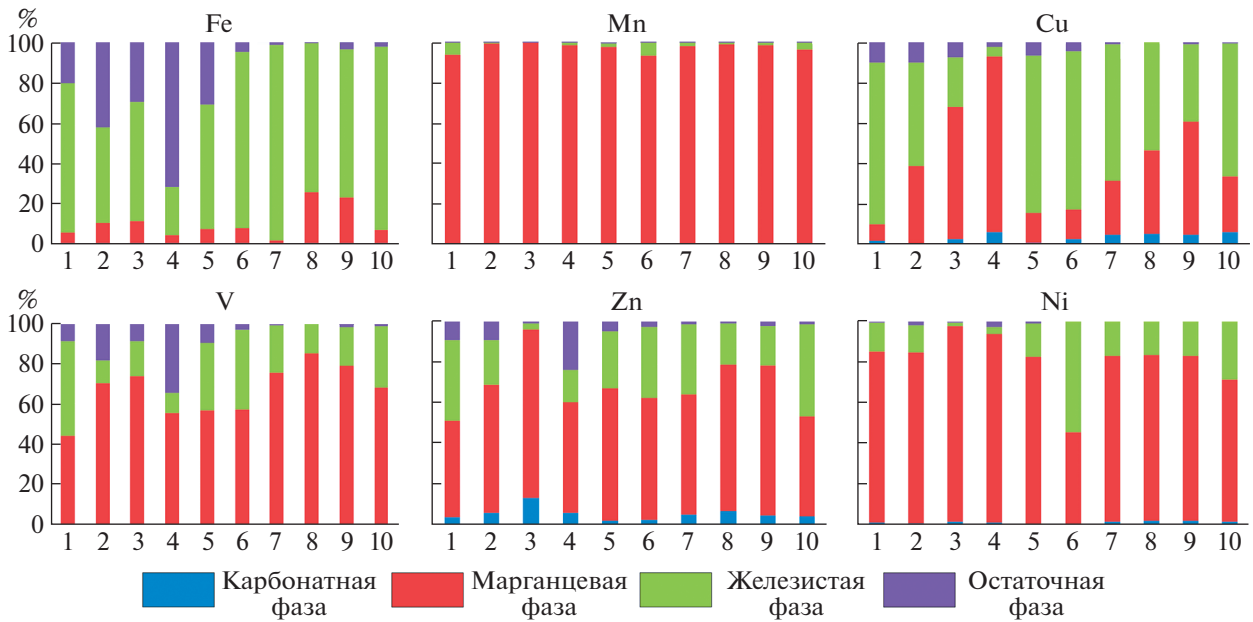


Рис. 5. Процентное отношение содержания элементов в минеральных фазах Fe–Mn-корок. 1 – обр. В17-43/1; 2 – обр. В24-33; 3 – обр. В25-36/15; 4 – обр. В38-25А/1; 5 – обр. В23-9-9/5; 6 – обр. Д13-1; 7 – обр. Д13-2; 8 – обр. Д13-3; 9 – обр. Д13-4; 10 – обр. В13-2/7-1.

разованиях содержание этого металла, связанного с оксидами Mn, резко возрастает (рис. 5). Повышение количества Cu также наблюдается в гидротермальных корках с установленным гидротермальным воздействием на формирование их валового вещественного состава [2, 3]. Подобный характер распределения между минеральными фазами наблюдается для ванадия. Максимальная его часть, среди всех образцов, связывается с остаточной алюмосиликатной фазой обр. В38-25А/1 (рис. 5). Это же наблюдается и для цинка. Причем прослеживается тенденция увеличения количества элементов в ЖМО, формирующихся в области приконтинентального литогенеза. Это подтверждает увеличение терригенного материала в общей рудной массе ЖМО.

По данным [6] практически весь Ni в гидротермальных ЖМО связывается с Mn-оксидами, а в гидротермальных разностях часть его переходит в железистую фазу, что связывается с формами его нахождения в морской воде и гидротермальном флюиде. Полученные нами данные по распределению этого металла в Fe–Mn-корках разного генезиса С-3 Пацифики не согласуются с данными [6], а именно, часть Ni (20–50%) в КМК связывается с железистой фазой (рис. 5). Экспериментальные работы по изменению времени обработки реактивом пробы, соотношения навеска–реактив, а также изучению структурного состояния вещества после каждой кислотной вытяжки показали, что при растворении каждой из минеральных фаз выход в вытяжку элементов состав-

ляет 95–97%. При этом разрушение остальных фаз не происходит [9]. Таким образом, присутствие никеля в железистой фазе в гидротермальных образованиях указывает и на иные формы нахождения этого металла в морской воде и требует дополнительных исследований. Возможно, ключевая роль в перераспределении никеля между двумя главными фазами зависит от глубины и географического места формирования ЖМО.

ВЫВОДЫ

Гидротермальная Fe–Mn-корка “Подводного купола” содержит высокие концентрации меди (до 12511 г/т). В гидротермальных образованиях КОД выявлена высокая концентрация цинка 1073 г/т, которая больше, чем в КМК. В гидротермальных Fe–Mn-корках КОД содержание Ni близко его количеству в КМК.

По данным фазового анализа медь в образце В38-25А/1 почти на 90% связана с оксидами Mn и находится в сорбированном состоянии.

В гидротермальных Fe–Mn-корках, подвергшихся гидротермальному воздействию, происходит рост накопления меди марганцевой фазой. Это тенденция характерна для ванадия и цинка, но в меньшей степени.

Таким образом, проведенные исследования по распределению химических элементов в минеральных фазах Fe–Mn-корок разного генезиса показали, что рудные корки способны в своем составе фиксировать гидротермальную активность,

проявленную в пределах отдельных геологических структур.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-17-00015, <https://rscf.ru/project/18-17-00015/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батулин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 303 с.
2. Михайлик Е.В., Ханчук А.И., Михайлик П.Е., Баринов, Н.Н., Зарубина Н.В. Первая находка видимого золота в железомарганцевых корках Тихого океана // ДАН. 2013. Т. 449. № 5. С. 574–578.
3. Михайлик П.Е., Ханчук А.И., Михайлик Е.В., Иванов М.В., Рашидов В.А., Зарубина Н.В., Блохин М.Г., Баринов Н.Н., Плетнев С.П. Аномально высокое содержание ртути в гидрогенных железомарганцевых корках гайоты Сет (СЗ Тихого океана) // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 3. С. 275–285.
4. Ocean Drilling Program / Rea D.K., Basov L.A., Scholl D.W., Allan J.F. (Eds.). 1995. Proc. ODP, Sci. Results, 145: College Station, TX. 690 p.
5. Hannington M.D. The Formation of Atacamite during Weathering of Sulfides on the Modern Sea Floor // The Canadian Mineralogist. 1993. V. 31. P. 945–956.
6. Koschinsky A., Hein J.R. Acquisition of Elements from Seawater by Ferromanganese Crusts: Solid Phase Associations and Seawater Speciation // Mar. Geol. 2003. V. 198. P. 331–351.
7. Михайлик П.Е., Вишневецкая И.А., Михайлик Е.В., Блохин М.Г., Червяковская М.В., Рашидов В.А., Жэнь С. Генезис и изотопный состав Nd железомарганцевых образований Охотского моря и Курильской островной дуги // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 9. С. 1309–1326.
8. Иванов В.В., Ханчук А.И., Михайлик П.Е. Природа самородного золота в железомарганцевых корках северо-западной части Тихого океана // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 1. С. 44–48.
9. Иванова Ю.М., Михайлик П.Е., Михайлик Е.В., Зарубина Н.В., Блохин М.Г. Вещественный состав и условия формирования железомарганцевых корок хребта Зонне (Курильская котловина, Охотское море) // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 9. С. 1292–1309.
10. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Ю.Г. Волохин, М.Е., Мельников, Э.Л. Школьник и др., М.: Наука, 1995. 368 с.
11. Glasby G.P., Cherkashov G.A., Gavrilenko G.M., Rashidov V.A., Slovtsov I.B. Submarine Hydrothermal Activity and Mineralization on the Kurile and Western Aleutian Island Arcs, N.W. Pacific // Marine geology. 2006. V. 231. P. 163–180.
12. Pelleter E., Fouquet Y., Etoubleau J., Cheron S., Labanieh S., Josso P., Bollinger C., Langlade J. Ni-Cu-Co-rich Hydrothermal Manganese Mineralization in the Wallis and Futuna Back-arc Environment (SW Pacific) // Ore Geology Reviews. 2017. V. 87. P. 126–146.
13. Bau M., Schmidt K., Koschinsky A., Hein J.R., Kuhn T., Usui A. Discriminating between Different Genetic Types of Marine Ferro-manganese Crusts and Nodules Based on Rare Earth Elements and Yttrium // Chemical Geology. 2014. V. 381. P. 1–9.
14. McLennan S.M. Rare Earth Elements in Sedimentary Rocks: Influence of Provenance and Sedimentary Processes. Geochemistry and Mineralogy of the Rare Earth Elements / Eds. B.R. Lipin and G.A. McKay. // Rev. Mineral. 1989. V. 21. P. 169–200.

DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS IN MINERAL FRACTIONS OF FERROMANGANESE CRUSTS FROM THE N-W PACIFIC

P. E. Mikhailik^{a, #}, Academician of the RAS A. I. Khanchuk^a, E. V. Mikhailik^a, and V. A. Rashidov^b

^aFar East Geological Institute, Vladivostok, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

^bInstitute of Volcanology and Seismology, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

[#]E-mail: mikhailik@fegi.ru

The Fe, Mn, Co, V, Zn and Ni distribution in the mineral fraction of different genesis ferromanganese crusts from the island arc and the open part of the Pacific Ocean have been studied. Hydrothermal Fe–Mn crusts from the Volcanic dome which located 47 km far from Chagulan is. (Aleut island arc) contain up to 12511 ppm of copper. Kuril Island Arc (KIA) hydrothermal Fe–Mn crusts contain up to 1073 ppm of zinc. The nickel concentration (2078 ppm) in KIA hydrogenetic Fe–Mn crusts is comparable to its amount in the Co-rich crusts. The results of sequential leaching experiment show that the up to 90% of copper total amount is sorbed by Mn oxides in hydrothermal deposits. Redistribution of copper between Mn oxides and hydrous Fe oxides is observed in hydrogenetic Fe–Mn crusts which were under hydrothermal influence. The amount of copper in Mn oxides is lift in these deposits. This trend is like for Zn and V.

Keywords: sequential leaching, ferromanganese crusts, genesis, N-W Pacific