ДОКЛАДЫ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК. НАУКИ О ЗЕМЛЕ, 2022, том 503, № 2, с. 97–104

ГЕОХИМИЯ

УДК 553.064

ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОН РАЗЛОМОВ КЛАРИОН И СИКЕЙРОС, С-В ПАЦИФИКА

© 2022 г. П. Е. Михайлик[1,*], академик РАН А. И. Ханчук[1], Ю. Г. Волохин[1], Е. В. Михайлик[1]

Поступило 13.10.2021 г.
После доработки 07.12.2021 г.
Принято к публикации 14.12.2021 г.

Проведено сравнительное изучение железомарганцевых образований (ЖМО) зон разломов Кларион и Сикейрос (С-В Пацифика), резко различающихся вещественным составом и условиями накопления металлов. По геохимическим показателям ЖМО зоны Кларион могут быть классифицированы как медленно накапливавшиеся морские гидрогенные образования, а конкреции Сикейрос как диагенетические, росшие в субокислительной обстановке под влиянием недавнего подводного вулканизма и поступления гидротермального вещества. Впервые рассмотрено распределение химических элементов в минеральных фазах ЖМО данных районов, выделенных методом последовательного селективного растворения. Предполагается, что микроэлементный состав ЖМО отражает различия форм нахождения комплексов элементов в гидротермальном флюиде и морской воде, сорбируемых марганцевой фазой, имеющей отрицательный поверхностный заряд, и железистой, у которой он нейтральный или положительный.

Ключевые слова: Тихий океан, разломные зоны, Кларион, Сикейрос, железомарганцевые образования, селективное растворение

DOI: 10.31857/S2686739722040132

В Мировом океане известны три основных генетических типа железомарганцевых образований (ЖМО): диагенетические конкреции, гидрогенные и гидротермальные корки. Формирующие их рудные элементы поступают из морской воды, поровых растворов осадков и гидротермальных флюидов, в районах вулканической деятельности [1]. Ресурсный потенциал океанских ЖМО по сравнению с континентальными месторождениями равен по Mn, превышает в 18 раз по Co, в 2.4 раза по Ni [2]. Дополнительно ЖМО содержат редкоземельные (РЗЭ) и другие стратегические элементы (Te, Cu, Mo, Pt). Длительное формирование (десятки млн лет) и низкие скорости роста (первые мм/млн лет) гидрогенных ЖМО позволяет рассматривать их как “архивы” кайнозойской океанической седиментации, фиксирующей изменения палеохимии придонных вод [3]. Статистическими методами в некоторых гидрогенных кобальтбогатых марганцевых корках (КМК) гайотов С-З Пацифики была определена доля гидротермальных элементов (Mn, Zn, Ba, Li), достигающая первых процентов [4]. Однако методы статистики не позволяют однозначно выявить источник элементов сорбированных оксигидроксидами железа и марганца и оценить их связь с минеральными фазами различного происхождения. Основными фазами в ЖМО являются оксидная марганцевая, гидроксидная железистая, карбонатная и остаточная (алюмосиликатная), выделяемые методом последовательного селективного растворения [5]. Марганцевые оксиды характеризуются отрицательным поверхностным зарядом, а гидроксиды железа – положительным или нейтральным. Поэтому сорбция одного и того же элемента зависит от формы его нахождения в морской воде и/или гидротермальном флюиде [6]. Анализ марганцевой и железистой фаз в КМК тихоокеанских гайотов, выделенных по вышеупомянутой методике, показал специфическое распределение Co, Cd, Mo и других микроэлементов, указывающее на участие гидротерм в формировании корок [7]. Фазовое распределение микроэлементов может служить ценным индикатором былого гидротермального влияния, что может показать сравнение таких контрастных объектов, как гидрогенные ЖМО зоны Кларион и конкреции (ЖМК) Гватемальской котловины, быстро формировавшихся под гидротермальным влиянием рифтовых систем [8–10] в Тихом океане (рис. 1). В данной работе авторами предпринята такая попытка.

[1]*Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия*

**E-mail: mikhailik@fegi.ru*

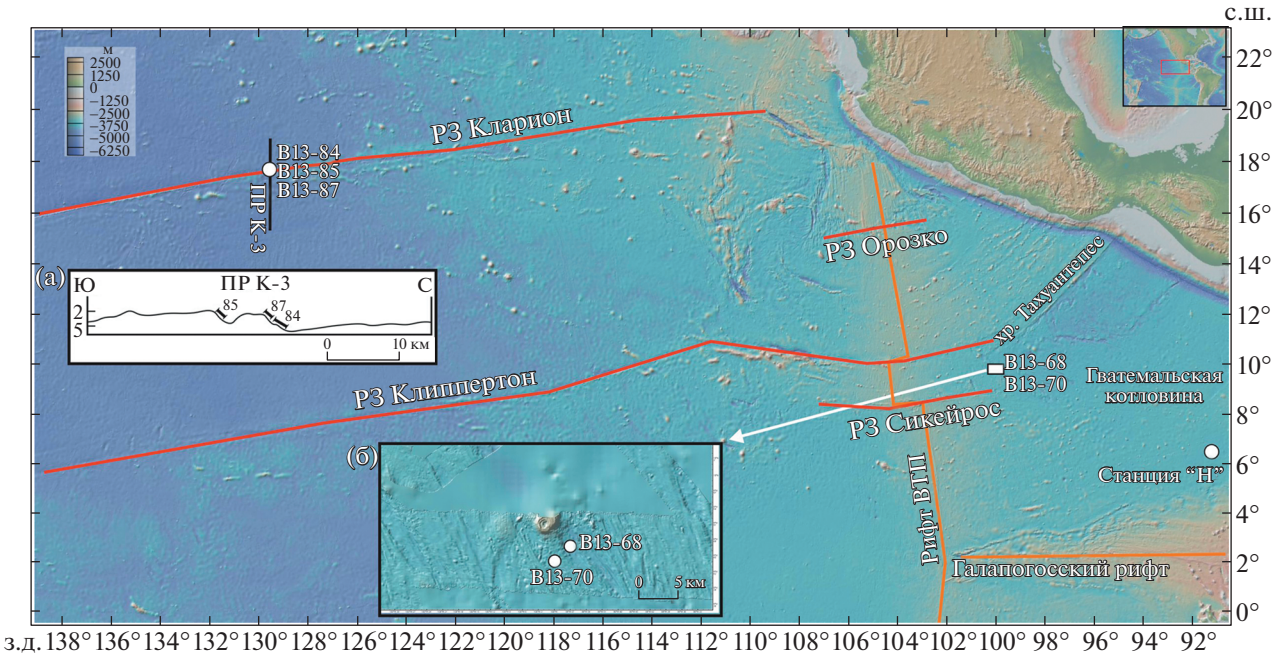

Рис. 1. Положение станций драгирования в зонах разломов (РЗ) Кларион и Сикейрос на геоморфологической схеме по [11]. Врезка "а"– положение станций [по 4] на профиле К-3 через РЗ Кларион; врезка "б"– положение станций в районе РЗ Сикейрос. Станция "Н" – полигон MANOP по [8].

Материалом для исследования послужили образцы ЖМО, полученные в 13-м рейсе НИС "Академик Александр Виноградов" в 1988 г. в пределах РЗ Кларион и Сикейрос (табл. 1). Станции отбора ЖМО зоны Кларион расположены на профиле перпендикулярно оси разлома (рис. 1 а), а Сикейрос – в 450 км от оси рифта ВТП и в 100 км севернее одноименного разлома, вблизи одиночного подводного вулкана (рис. 1 б).

ЖМО Кларион представлены различными морфологическими типами. Обр. В13-84/9 – многоядерная сростковая конкреция, состоящая из 7 конкреций, сечением от 1 × 2 см до 3 × 5 см, темно-коричневого цвета (рис. 2 а). Ядра сложены светло-желтой глиной. Обр. В13-87/13 представляет обломок двухслойной Fe–Mn-корки (рис. 2 б) толщиной 23 мм. Нижний слой выделяется переслаиванием черных и рыжих тонких ламин, верхний – массивный, черный (рис. 2 б). Обр. В13-85/2 представлен коркой, толщиной 0.1–2 см, на треугольном обломке базальта размером до 15 см. Конкреции зоны разлома Сикейрос – это шаровидные, относительно рыхлые образования (рис. 2 в). Они выделяются наличием особого типа ядер в виде сгустков железомарганцевого вещества и размытого контакта с оболочкой. Это отличает их от конкреций Гватемальской котловины, хорошо изученных на полигоне "Н", MANOP) [8, 9], в которых ядра в большей степени представлены обломками более древних ЖМО [10]. Кроме конкреций, на станции В13-70 также были подняты пемза и крупный обломок базальта (10 × 15 × 15 см), покрытые корочкой Fe–Mn-оксидов, толщиной до 5 мм.

Таблица 1. Координаты и глубина отбора образцов ЖМО

Номер обр.	Широта, с. ш.	Долгота, з. д.	Глубина, м
Разломная зона Кларион			
В13-84/9	17°39.8′–17°37.2′	129°32.8′–129°33.9′	5240–4700
В13-87/13	17°39.9′–17°36.9′	129°32.7′–129°34.4′	4700–4400
В13-85/2	17°33.5′–17°29.1′	129°32.7′–129°34.4′	4550–4360
Разломная зона Сикейрос			
В13-68/4	9°46.8′–9°45.8′	99°56.9′–99°57.6′	4120–4070
В13-70/5-7	9°45.4′–9°44.2′	99°59.7′–100°01.5′	3680–3770

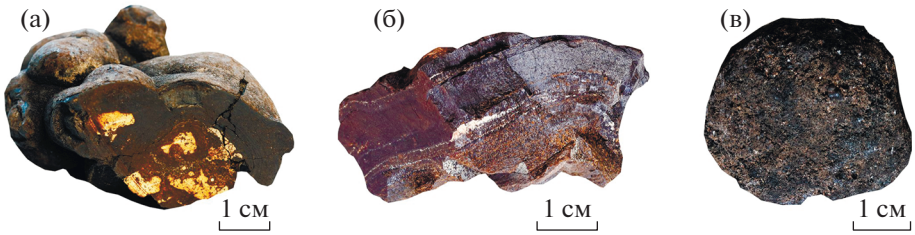

Рис. 2. Внешний вид ЖМО разломных зон Кларион и Сикейрос: а – обр. B13-84/9; б – обр. B13-87/13; в – обр. B13-70/5-7.

По данным рентгенографии и микродифракции электронов образцы ЖМО Кларион сложены вернадитом (δ-MnO_2). В конкрециях зоны Сикейрос преобладает плохо упорядоченный тодорокит, присутствуют бузерит-1, бузерит-2, бернессит и смешаннослойный асболан-бузерит [12].

Выделение минеральных фаз (карбонатной, марганцевой, железной и остаточной алюмосиликатной) из ЖМО производилось методом последовательного селективного растворения [5]. Концентрация химических элементов, в валовых пробах и выделенных минеральных фазах определялась методами ICP-MS и ICP-AES в Центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН.

Валовый химический состав ЖМО зон Кларион и Сикейрос отличается по концентрации Mn и Fe (табл. 2). Конкреции зоны Сикейрос – более марганцовистые, а концентрация титана в них на порядок ниже, чем в образцах ЖМО зоны Кларион.

Повышенные содержания Mg и K в ЖМО зоны Сикейрос отражают присутствие нонтронита, а более высокие содержания Si, P и Ca в ЖМО зоны Кларион – примесь биогенного карбоната и кремнезема. Конкреции зоны Сикейрос обогащены в большей степени Li, Ba и Zn, а Кларион – Sr, As, Zr, Sc и U, и на порядок большими величинами содержаний Co, Be, Nb, Hf, Ta, Tl, Pb и Th. Содержания Ni и Cu в образцах из этих двух областей близки и их сумма варьирует от 0.58 до 0.70% в ЖМО зоны Кларион, и от 0.76 до 0.82% в ЖМК Сикейрос (табл. 2). Высокие содержания Zn, Ba, Li и значения модулей Mn/Fe и (Fe+Mn)/Ti в ЖМК зоны Сикейрос свидетельствуют в пользу гидротермального источника вещества. Скорости роста ЖМК Сикейрос на порядок превышают скорости роста ЖМО зоны Кларион (табл. 2).

Сумма РЗЭ в ЖМО зоны Кларион составляет 2363, 2120 и 2654 г/т для проб B13-84/9, B13-87/13 и B13-85/2 соответственно. Содержание РЗЭ в конкрециях зоны Сикейрос на порядок ниже и равно 124 и 174 г/т для образцов B13-70/5-7 и B13-68/4 соответственно (табл. 3).

На графике составов РЗЭ и Y (рис. 3), нормализованных к сланцу (PAAS [14]), наблюдается положительная цериевая аномалия для образцов зоны Кларион (2.42–2.83), и отрицательная (0.74–0.90) – для образцов зоны Сикейрос (табл. 3). Характер аномалии указывает на окислительные условия накопления лантаноидов ЖМО зоны Кларион и субокислительные – ЖМК зоны Сикейрос. Наличие положительной Eu-аномалии (1.41 и 1.32 в образцах B13-70/5-7 и B13-68/4 соответственно) (табл. 3), указывает на дополнительный (предположительно гидротермальный) источник европия. Величина Eu-аномалии в диагенетических конкрециях обычно ниже и в среднем равна 1.17 [15]. Для образцов B13-84/9, B13-87/13 и B13-85/2 величина Eu-аномалии равна единице (табл. 3), что указывает на отсутствие его избыточного накопления.

Отношение нормализованных к PAAS содержаний иттрия к гольмию (Y/Ho*) для гидротермальных ЖМО обычно больше 1 и по данным [14] варьирует в пределах 1.01–3.48. В гидрогенных и диагенетических ЖМО этот показатель значительно ниже и находится в пределах 0.6–0.9 [14]. В ЖМО зоны Кларион Y/Ho* варьирует от 0.51 до 0.67, а в ЖМО зоны Сикейрос – от 0.49 до 0.55 (табл. 3).

На генетических классификационных диаграммах зависимости величины Ce-аномалии от

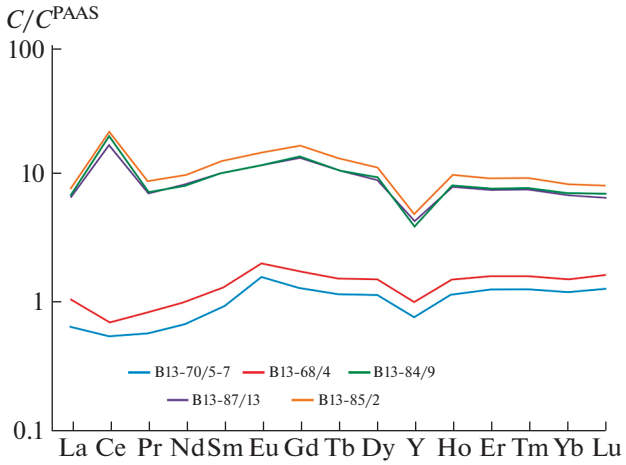

Рис. 3. Составы РЗЭ и Y, нормализованные на сланец (PAAS [14]), в ЖМО разломных зон Кларион и Сикейрос.

Таблица 2. Химический состав и скорость роста (R) ЖМО разломных зон Кларион и Сикейрос

Элемент	B13-84/9	B13-87/13	B13-85/2	B13-70/5-7	B13-68/4
	Кларион			Сикейрос	
Si (%)	5.09	6.33	5.67	3.49	4.68
Ti	0.91	0.81	0.98	0.09	0.09
Al	1.52	1.74	1.53	1.41	2.13
Fe	15.4	17.7	18.2	2.93	2.13
Mn	22.4	20.3	21.3	38.3	36.0
Mg	1.37	1.30	1.27	2.23	2.54
Ca	1.92	1.88	2.00	1.03	0.95
Na	1.53	1.46	1.86	1.64	1.70
K	0.65	0.72	0.57	0.95	1.03
P	0.28	0.31	0.32	0.09	0.10
ППП	17.3	16.04	17.7	17.5	17.7
Li (г/т)	14.3	13.5	6.67	13.2	117
Be	4.09	5.19	4.79	0.57	0.52
Sc	9.48	11.1	12.6	4.37	5.51
V	445	463	470	391	622
Cr	5.36	5.43	6.15	10.8	17.1
Co	3962	3099	3943	157	293
Ni	5068	4531	3839	5123	4196
Cu	2610	2475	1985	2483	4023
Zn	507	526	486	1147	962
As	139	143	181	29.9	57.3
Rb	10.5	11.2	10.5	9.26	14.5
Sr	1013	1000	1066	606	376
Zr	712	695	796	93.1	80.1
Nb	67.1	60.9	71.8	3.25	3.12
Mo	402	357	328	193	782
Cd	5.13	4.36	3.91	3.21	7.20
Cs	0.66	0.68	0.77	0.53	0.79
Ba	1610	1598	1537	4894	4872
Hf	11.3	12.2	13.8	1.35	0.90
Ta	0.98	0.90	0.91	0.09	0.09
W	65.3	56.7	64.2	57.4	211
Tl	151	150	140	7.23	50.1
Pb	1004	871	1024	23.8	20.5
Th	54.2	48.1	62.9	2.62	2.36
U	9.63	8.95	10.2	16.3	2.71
Mn/Fe	1.45	1.15	1.17	13.07	16.9
(Fe+Mn)/Ti	41.5	46.9	40.3	458	423
R (мм/млн лет)	2.56	3.03	2.17	71.9	127

Примечание. Скорости роста (R) рассчитаны по формулам: конкреции по [10] ($R = 16 \times Mn/Fe^2 + 0.448$), а корки по [13] ($R = 0.68/(Co^n)^{1.67}$, где $Co^n = Co \times (50/Mn + Fe)$, концентрации элементов в %.

Таблица 3. Содержание РЗЭ и Y, значения Ce-, Eu- и Y-аномалий и нормализованное к PAAS отношение Y/Ho в ЖМО разломных зон Кларион и Сикейрос

Элемент	B13-84/9	B13-87/13	B13-85/2	B13-70/5-7	B13-68/4
	зона Кларион			зона Сикейрос	
Y	109	119	136	21.3	28.1
La	249	247	291	24.4	40.0
Ce	1538	1298	1668	43.6	55.4
Pr	63.1	62.1	77.2	5.07	7.33
Nd	277	281	329	23.0	34.1
Sm	55.5	55.7	69.7	5.17	7.22
Eu	12.5	12.4	15.6	1.69	2.15
Gd	61.1	60.3	75.5	5.96	8.00
Tb	8.29	8.09	10.1	0.89	1.17
Dy	42.8	41.9	51.7	5.35	7.03
Ho	7.84	7.67	9.44	1.14	1.48
Er	21.7	21.3	26.3	3.57	4.51
Tm	3.08	2.99	3.69	0.51	0.64
Yb	19.7	19.2	23.3	3.40	4.26
Lu	3.01	2.82	3.48	0.55	0.69
Ce/Ce*	2.83	2.42	2.56	0.90	0.74
Eu/Eu*	1.00	1.00	1.00	1.41	1.32
Y/Ho	13.9	15.5	14.4	18.6	18.9
Y/Ho*	0.49	0.55	0.51	0.66	0.67

Примечание: Ce/Ce*, – цериевая ($Ce/Ce^* = Ce_{sn}/(La_{sn}*0.5 + Pr_{sn}*0.5)$), Eu/Eu* – европиевая ($Eu/Eu^* = Eu_{sn}/((Sm_{sn}*0.5 + Gd_{sn}*0.5))$) и Y/Ho* – иттриевая аномалии, где sn – значения РЗЭ, нормализованные по PAAS [14].

содержания Nd и от величины отношения Y к Ho [15] изученные образцы зоны Кларион располагаются в поле гидрогенных ЖМО, а зоны Сикейрос в поле диагенетических (рис. 4 а, б).

Таким образом, по валовым минералого-геохимическим критериям ЖМО разломной зоны Кларион соответствуют гидрогенному седиментационному типу, а ЖМК Сикейрос – диагенетическому типу, формировавшемуся в обстановке субокислительного диагенеза.

Результаты селективного растворения показывают, что Mn более чем на 98% выходит во вторую

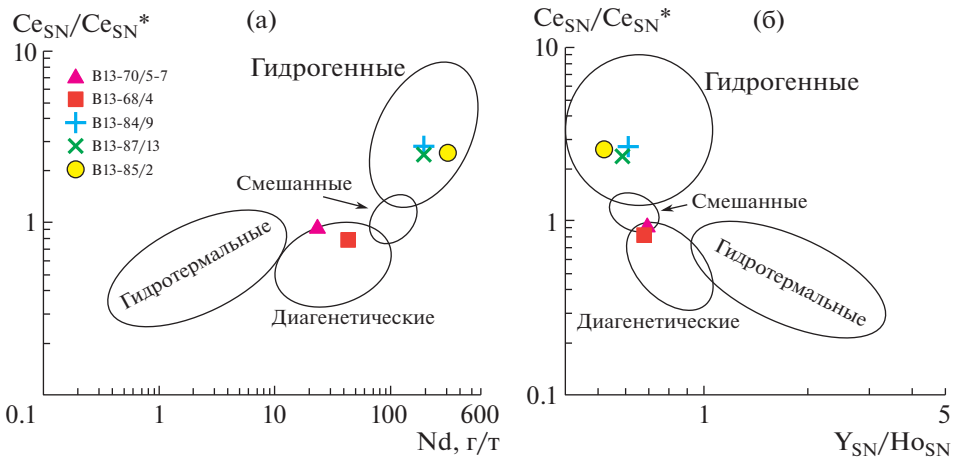

Рис. 4. Классификационные диаграммы отношения величин цериевой аномалии к содержанию Nd (а) и к величине отношения сланец (PAAS), нормализованных Y к Ho (б) [15].

Таблица 4. Концентрация элементов в минеральных фазах ЖМО разломных зон Кларион и Сикейрос (г/т)

	B13-84/9	B13-87/13	B13-85/2	B13-68/4	B13-70/5-7	B13-84/9	B13-87/13	B13-85/2	B13-68/4	B13-70/5-7
	Mn					Fe				
фаза1	26.1	20.1	9.68	335	1366	7.73	11.4	8.65	5.86	12.0
фаза2	222418	199548	206959	360303	381224	21163	18203	21007	7882	7094
фаза3	3617	4926	4079	517	1122	97949	117214	117362	3350	14012
фаза4	1201	1216	946	469	172	33845	44388	42141	11269	8629
Σ	227262	205710	211995	361625	383885	152964	179817	180518	22507	29747
вал	224900	202800	213167	360000	383167	153700	176700	182000	21333	29283
	Ba					Cu				
фаза1	2.54	2.75	2.87	1.91	4.89	32.6	29.0	31.4	52.1	31.1
фаза2	1390	1208	1283	4714	4903	610	445	419	3456	1900
фаза3	110	192	124	30.1	34.6	1867	1904	1333	392	465
фаза4	129	188	136	63.6	43.1	106	155	194	128	72.4
Σ	1632	1591	1547	4810	4986	2616	2533	1977	4028	2468
вал	1610	1598	1537	4872	4894	2610	2475	1985	4023	2483
	Zn					V				
фаза1	9.09	6.29	10.5	24.5	50	0.10	0.10	0.09	0.23	0.14
фаза2	275	242	253	664	791	258	237	284	606	332
фаза3	190	214	166	156	129	181	202	147	17.2	46.2
фаза4	28.1	43.6	45.1	87.2	60.8	35.5	47.8	49	26.6	15.4
Σ	502	505	474	932	1031	475	487	480	650	393
вал	507	526	486	963	1147	445	463	470	623	391

Примечание: Σ – сумма концентраций четырех фаз; вал – валовая концентрация элемента.

вытяжку (фаза марганцевых оксидов), что свидетельствует о практически полном растворении марганцевых оксидов и связанных с ними микроэлементов (табл. 4). Железо ведет себя по-иному. Его наибольшее количество связано с третьей вытяжкой (фаза оксигидроксидов железа) в гидрогенных ЖМО (табл. 4) и небольшая часть высвобождается вместе с Mn оксидами. Это связано с вхождением Fe в структуру вернадита [5]. Значительная часть Fe (до 50%) содержится в алюмосиликатной фракции (фаза 4) ЖМК Сикейрос, что связывается с присутствием алюмосиликатного вещества [6]. Большое количество железа в остаточной фазе ЖМО зоны Кларион также может быть связано с вхождением этого элемента в структуру минералов алюмосиликатной примеси (феррисмектита [4]).

В гидрогенных ЖМО зоны Кларион небольшое количество Ba определено в железистой и алюмосиликатной фазах (рис. 5), в то время как в ЖМК зоны Сикейрос практически весь Ba связан с Mn фазой, в которой одновременно возрастает доля V (рис. 5).

В гидрогенных ЖМО Тихого и Атлантического океанов основная часть Cu связана с гидроксидной железистой фазой, а в гидротермальных образованиях до 2/3 – с Mn оксидами [6]. Для гидрогенных ЖМО содержание основного количества Cu в железистой фазе соответствует формам нахождения этого элемента в морской воде: 80% в форме $CuCO_3^0$ и 20% как свободный катион [16]. В наших пробах отчетливо наблюдается увеличение доли Cu в марганцевой фазе в ЖМК зоны Сикейрос, формировавшихся при участии гидротермального вещества (рис. 5).

При смешении окисленной морской воды с восстановительным гидротермальным флюидом, богатым цветными металлами (Cu, Ni, Zn и др.), происходит значительное осаждение их в виде сульфидов вблизи устья гидротермы [17]. Однако Cu в подводной гидротермальной системе образует устойчивые органометаллические комплексы, которые могут разноситься на большие расстояния, вследствие чего гидротермальный поток Cu в Мировой океан составляет 14% от ее общей поставки [18]. Это может способствовать допол-

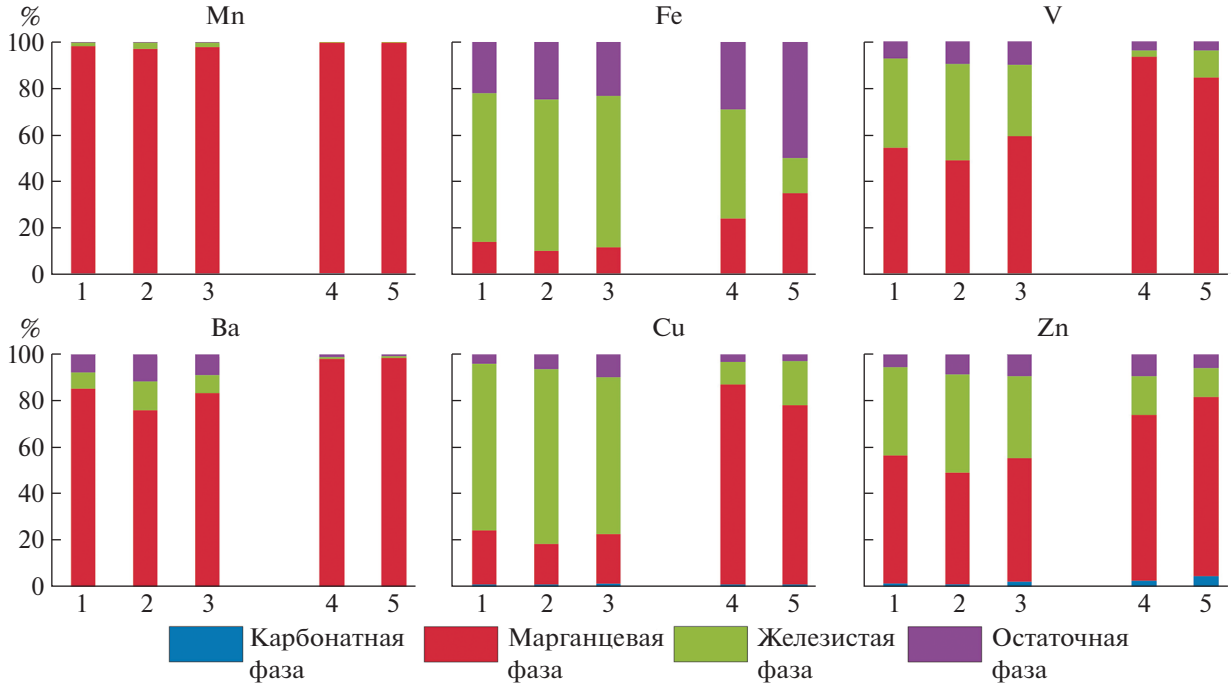

Рис. 5. Процентное соотношение содержания Mn, Fe, V, Ba, Cu и Zn в минеральных фазах ЖМО разломных зон Кларион и Сикейрос. 1 – обр. B13-84/9; 2 – обр. B13-87/13; 3 – обр. B13-85/2; 4 – обр. B13-70/5-7; 5 – обр. B13-68/4.

нительному сорбированию меди взвешенными Fe–Mn-оксигидроксидами во всплывающих плюмах или плюмах с нейтральной плавучестью, обогащая, по нашим данным, марганцевую фазу. Эта тенденция прослеживается и для Zn (рис. 5). При более высоких скоростях роста (табл. 2), ЖМК зоны Сикейрос имеют близкие концентрации Cu с ЖМО Кларион, а количество Zn приблизительно в два раза выше (табл. 2).

Сравнительный анализ ЖМО зон разломов Кларион и Сикейрос позволил выявить особенности вещественного состава, обусловленные различными источниками вещества и механизмом накопления химических элементов. ЖМО зоны Кларион соответствуют гидрогенному седиментационному типу, а зоны Сикейрос – гидротермально-диагенетическому. Эти же различия прослеживаются и в микроэлементном составе минеральных фаз, выделенных методом последовательного селективного растворения. В ЖМК зоны Сикейрос Ba находится почти исключительно в марганцевой фазе, в то время как в ЖМО зоны Кларион часть его содержится в железистой и остаточной минеральных фазах. Медь преобладает в марганцевой фазе в образцах разломной зоны Сикейрос, а в образцах зоны Кларион она в основном содержится в железистой фазе. Цинк и ванадий также преобладают в марганцевой фазе конкреций зоны Сикейрос, но находятся почти в равном соотношении в железистой и марганцевой фазах ЖМО зоны Кларион. В последние годы гидротермальные оксидные ЖМО привлекают внимание как возможные руды на такие ценные металлы, как никель и кобальт, высокие содержания которых считались специфической особенностью медленно растущих гидрогенных КМК подводных гор. Известны гидротермальные ЖМО с концентрацией Cu до 1.53%, Ni до 4.6% и Co до 2.24% [19]. Детальные минералогические и химические фазовые исследования могут способствовать оценке вклада эндогенного вещества и более глубокому пониманию процессов формирования полигенных полиметаллических оксидных железомарганцевых руд, которыми в настоящее время представляются большинство океанических ЖМО.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батурин Г.Н.* Руды океана // М.: Наука, 1993. 303 с.
2. *Андреев С.И., Черкашев Г.А.* Минеральные ресурсы глубоководных районов Мирового океана: состояние, проблемы изучения и освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 1. С. 10–15.
3. *Frank M., O'Nions R.K., Hein J.R., Banakar V.K.* 60 Myr Records of Major Elements and Pb–Nd Iso-

topes from Hydrogenous Ferromanganese Crusts: Reconstruction of Seawater Paleochemistry // Geochim. Cosmochim. Acta. 1999. V. 63. P. 1689–1708.

4. Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Ю.Г. Волохин, М.Е., Мельников, Э.Л. Школьник и др., М.: Наука. 1995. 368 с.

5. *Koschinsky A., Halbach P.* Sequential Leaching of Marine Ferromanganese Precipitates: Genetic Implications // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59. P. 5113–5132.

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. *Mikhailik P., Khanchuk A., Mikhailik E., Ivanova Yu., Blokhin M.* The Influence of Hydrothermal Activity during the Origin of Co-rich Manganese Crusts of the N-W Pacific // E3S Web of Conferences. 2019. 98. 08016.

8. *Dymond J., Lyle M., Finney B., Piper D.Z., Murphy K., Conard R., Pisias N.* Ferromanganese Nodules from MANOP Site H, S, and R - Control of Mineralogical and Chemical Composition by Multiple Accretionary Processes // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 931–949.

9. *Дубинин А.В.* О формировании конкреций в Гватемальской котловине по данным геохимии редкоземельных элементов // Геохимия. 1996. № 12. С. 1210–1219.

10. *Finney B., Heath G.R., Lyle M.* Growth Rates of Manganese-rich Nodules at MANOP Site H (Eastern North Pacific) // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 911–919.

11. *Ryan W.B.F., Carbotte S.M., Coplan J., O'Hara S., Melkonian A., Arko R., Weissel R.A., Ferrini V., Goodwillie A., Nitsche F., Bonczkowski J., Zemsky R.* Global Multi-Resolution Topography (GMRT) Synthesis Data Set. // Geochem. Geophys. Geosyst. 2009. 10. Q03014.

12. *Volokhin Y.G., Barinov N.N., Isphording W.C.* Geochemical Evidences of Accelerated Growth of Ferromanganese Nodules due to Hydrothermal Supply // 8th Symp. "Water-Rock Interaction" in Vladivostok, 1995. Amsterdam: Balkema. P. 711–714.

13. *Manheim F.T., Lane-Bostwick C.M.* Cobalt in Ferromanganese Crusts as a Monitor of Hydrothermal Discharge on the Sea floor //Nature. 1988. V. 335. P. 59–62.

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.

15. *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 // Chem. Geol. 2014. V. 381. P. 1–9.

16. *Byrne R.H.* Inorganic Speciation of Dissolved Elements in Seawater: The Influence of pH on Concentration Ratios // Geochem. Trans. 2002. V. 3. № 2. P. 11–16.

17. *Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевич А.М., Гурвич Е.Г.* Гидротермальный рудогенез океанского дна // Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. М.: Наука, 2006. 527 с.

18. *Sander S., Koschinsky A.* Metal Flux from Hydrothermal Vents Increased by Organic Complexation // Nature Geosci. 2011. V. 4. P. 145–150.

19. *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 Geol. Rev. 2017. V. 87. P. 126–146.

FERROMANGANESE DEPOSITS KLARION AND SIQUEIROS FRACTURE ZONES, N-E PACIFIC

P. E. Mikhailik[a,#], Academician of the RAS A. I. Khanchuk[a], Yu. G. Volokhin[a], and E. V. Mikhailik[a]

[a] *Far East Geological Institute, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation*

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

A comparative study of ferromanganese deposits (FMD) of the Clarion and Siqueiros fracture zones (N-E Pacific), which sharply differ in composition and genesis, were provided. The Clarion zone FMD can be classified as marine hydrogenetic deposits with slowly growth rates. The Siqueiros FMD are diagenetic Fe-Mn nodules, which form under suboxidative environment with the hydrothermal influence which was production by recent submarine volcanism. For the first time, the distribution of chemical elements in the mineral fractions (MF) of FMD in these areas is considered. Extraction of MF was made by sequential leaching procedure. It is assumed that the trace element composition of FMD reflects the differences in the elements complexes in hydrothermal fluid and seawater, which were sorbed by the Mn oxides with negative surface charge and hydrous Fe oxides with neutral or positive charge.

Keywords: Pacific, fracture zones, Clarion, Siqueiros, ferromanganese deposits, selective leaching