

УДК 552.14, 552.5, 549.52, 550.4

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ ГЕНЕЗИС ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВОЙ КОРКИ ЮЖНОГО СЕГМЕНТА ХРЕБТА МОНА, НОРВЕЖСКОЕ МОРЕ: ГЕОХИМИЯ РЗЭ, ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СТРОНЦИЯ И НЕОДИМА

© 2022 г. М. Д. Кравчишина^{1,*}, член-корреспондент РАН А. Б. Кузнецов², Б. В. Баранов¹, О. М. Дара¹, Д. П. Стародымова¹, А. А. Кловиткин¹, В. А. Чеботарева², А. Ю. Леин¹

Поступило 06.06.2022 г.

После доработки 30.06.2022 г.

Принято к публикации 06.07.2022 г.

Впервые выполнено минералогическое и изотопно-геохимическое изучение железомарганцевой корки из Ян-Майенского гидротермального района. Корка толщиной около 3 см имеет четко выраженное микрослоистое строение, резкий контакт с подстилающим вулканогенным субстратом и колломорфные оксигидроксиды железа и марганца на поверхности основания. Корка сложена преимущественно оксигидроксидами марганца — бернесситом и бузеритом с примесью вулканического стекла. Послойное изучение корки показало, что содержание Mn увеличивается в 3–10 раз от основания к поверхности, а содержание Fe и РЗЭ, наоборот, понижается в этом же направлении. В образцах отмечена положительная Eu-аномалия (Eu/Eu^{NASC} 1.08–1.41). Величина Ce/Ce^{NASC} составляет 0.89 ± 0.05 . Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в нижних и средних слоях корки заключено в пределах 0.70621–0.70713, а значение ϵ_{Nd} достигает 5.6–6.2. Эти параметры в самом верхнем слое корки равны соответственно 0.70740 и –0.1. Состав РЗЭ, положительная Eu-аномалия, высокие значения ϵ_{Nd} и пониженные отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в корке указывают на то, что главным источником вещества были гидротермальные растворы. Изменение Sr- и Nd-изотопных характеристик и состава РЗЭ в слоях корки предполагает ослабление роли гидротермального вещества по мере ее роста, а также высокую скорость осаждения корки в зоне Ян-Майенского гидротермального района.

Ключевые слова: геохимия РЗЭ, изотопы стронция, изотопы неодима, железомарганцевые корки, Ян-Майенский гидротермальный район, Норвежско-Гренландский бассейн

DOI: 10.31857/S2686739722601326

Железомарганцевые корки (Fe–Mn-корки) широко распространены на поверхности дна в пелагических районах океана и в глубоководных котловинах вблизи зон срединного ([2, 6, 13, 16] и др.). Fe–Mn-корки и конкреции образуются при прямом осаждении оксигидроксидов Fe и Mn на поверхности дна, которое сопровождается накоплением элементов в рудном веществе, в том числе, редкоземельных (РЗЭ). Поэтому помимо оксигидроксидов Fe и Mn корки обычно содержат большую примесь редких элементов, что делает их скопления на дне сравнимыми по запасам с месторождениями, разрабатываемыми на суше.

Генезис Fe–Mn-корок связывают либо с гидротермальными процессами, либо с осаждением взве-

си из подводных гидротермальных источников [4, 6, 16]. Корки могут быть также смешанного гидротермально-гидротермального типа, но при этом все они являются седиментационными образованиями [2, 4, 6]. Источник вещества для Fe–Mn-корок и скорость их роста до сих пор остаются предметом дискуссий. Существенный вклад в понимание процессов генезиса этих аутигенных образований может дать изучение их элементного и изотопного состава, в частности, спектров РЗЭ и изотопного состава Sr и Nd. Значительная часть работ в этой области посвящена изучению железомарганцевых конкреций в Центральной Атлантике и на гайотах Тихого океана. В этой статье мы представляем первые результаты минералогического, геохимического и изотопного (Sr и Nd) изучения уникального образца пелагической Fe–Mn-корки, отобранной в пределах Ян-Майенского гидротермального района Норвежско-Гренландского бассейна.

Осевое вулканическое поднятие (ОВП) к северу от Ян-Майенской зоны разломов — это наибо-

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской академии наук, Москва, Россия

² Институт геологии и геохронологии докембрия
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: kravchishina@ocean.ru

Таблица 1. Содержание РЗЭ и изотопный состав Sr и Nd в изученных слоях образца Fe–Mn-корки 6133/5, Ян-Майенский гидротермальный район

Номер пробы	Слой	Fe, %	Mn, %	Al, %	Co, мкг/г	Ni, мкг/г	РЗЭ, мкг/г	Eu/Eu ^{NASC}	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	ε _{Nd} **
6133/5–1	1 (основание)	13.9	3.5	5.9	660	107	124	1.36	0.70621	0.512945	6.0
6133/5–2	2	5.2	13.9	5.5	2697	267	91	1.41	–	–	–
6133/5–3	3	4.2	21.5	3.9	1964	173	72	1.36	0.70662	0.512954	6.2
6133/5–4	4	3.9	21.3	3.7	5140	431	85	1.33	0.70713	0.512935	5.8
6133/5–5	5	3.0	23.6	3.2	580	665	61	1.38	0.70713	0.512926	5.6
6133/5–6	6 (поверхность)	4.8	12.1	4.7	286	665	109	1.08	0.70740	0.512633	–0.1
6133/5–7	7 (поверхность)	1.6	33.3	1.1	3442	863	61	1.18	–	–	–

Примечание. **Величины ε_{Nd}(0) рассчитаны с использованием значений для CHUR (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512638, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0.1967).

лее крупный структурный элемент хребта Мона, который в свою очередь является продолжением Срединно-Атлантического хребта (САХ). В пределах ОВП находятся рифты и вулканические постройки с подводными гидротермами, а к югу от него – Ян-Майенский трансформный разлом (глубина 3790 м) (рис. 1). Этот район расположен вблизи Ян-Майенской горячей точки [14], являющейся одним из самых активных районов подводного вулканизма в Мировом океане. В 2005–2014 гг. в относительно мелководном (глубина 550–724 м) районе ОВП было обнаружено несколько активных низкотемпературных гидротермальных полей: Стена тролля (Troll Wall), Сориа Мория (Soria Moria I и II) и Перл и Брюс (Perle & Bruse), которые часто объединяют одним названием – гидротермальные поля Ян-Майена, а южный сегмент хребта Мона называют Ян-Майенским гидротермальным районом [18, 19]. Именно здесь на восточном склоне ОВП были обнаружены и подняты уникальные залежи Fe–Mn-корок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужил образец 6133/5 Fe–Mn-корки толщиной 1.5–3.5 см, отобранный дночерпателем “Океан–50” в 75-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в июне 2019 г. [7], на фланге восточного массива с глубины 572 м (рис. 1 б) на расстоянии ~600 м к северу от гидротермального поля Перл и Брюс [19].

Образец Fe–Mn-корки был распилен, после осмотра в нем выделено шесть слоев (рис. 2), из каждого слоя отобрана проба для минералогического и изотопно-геохимического анализа. Петрографическое изучение выполнено на оптическом микроскопе и сканирующем электронном микроскопе VEGA-3sem “TESCAN” с энергодисперсионным спектрометром “Oxford INCA Energy” 350. Рентгенофазовый анализ (РФА) прово-

дился на дифрактометре “Bruker” D8 Advance согласно методике О.Г. Сметанниковой [12] в ИО РАН. Изучение химического состава проб выполнено методами масс-спектрометрии и атомной эмиссии с индуктивно связанной плазмой в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН с использованием квадрупольного масс-спектрометра X-7 и спектрометра iCAP-6500 Duo “Thermo Scientific” соответственно.

Изотопный состав Nd и Sr определен в пяти пробах из выделенных слоев образца Fe–Mn-корки. Подготовка проб проведена в соответствии с методикой, разработанной для глинистых и силикатных фракций карбонатных осадков [3]. Изотопный анализ выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI в ИГГД РАН. Среднее значение ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr в стандартном образце стронция NIST SRM 987 в период работы составило 0.710274 ± 0.000006 (2σ, n = 6). Среднее значение ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd в изотопном стандарте jNd-1 в период работы равно 0.512098 ± 0.000008 (2σ, n = 6). Точность определения отношений ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr и ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd составила ± 0.004%. Величины ε_{Nd}(0) рассчитаны с использованием значений для CHUR (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = 0.512638, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0.1967) (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Внешнее и внутреннее строение Fe–Mn-корки. С поверхности Fe–Mn-корка перекрыта слоем (2–4 см) алевроитово-пелитового ила с примесью разнозернистого песка. Липкий ил заполнял неровности поверхности корки. Fe–Mn-корка представляет собой плитчатое слоистое образование мощностью до ~3 см и размером ~25 × 12 см. Поверхность корки черная, массивная, шероховатая с каналобразными структурами, местами покрытая микроостатками губок, колоний моллюсков и полихет. Ее основание (нижняя поверх-

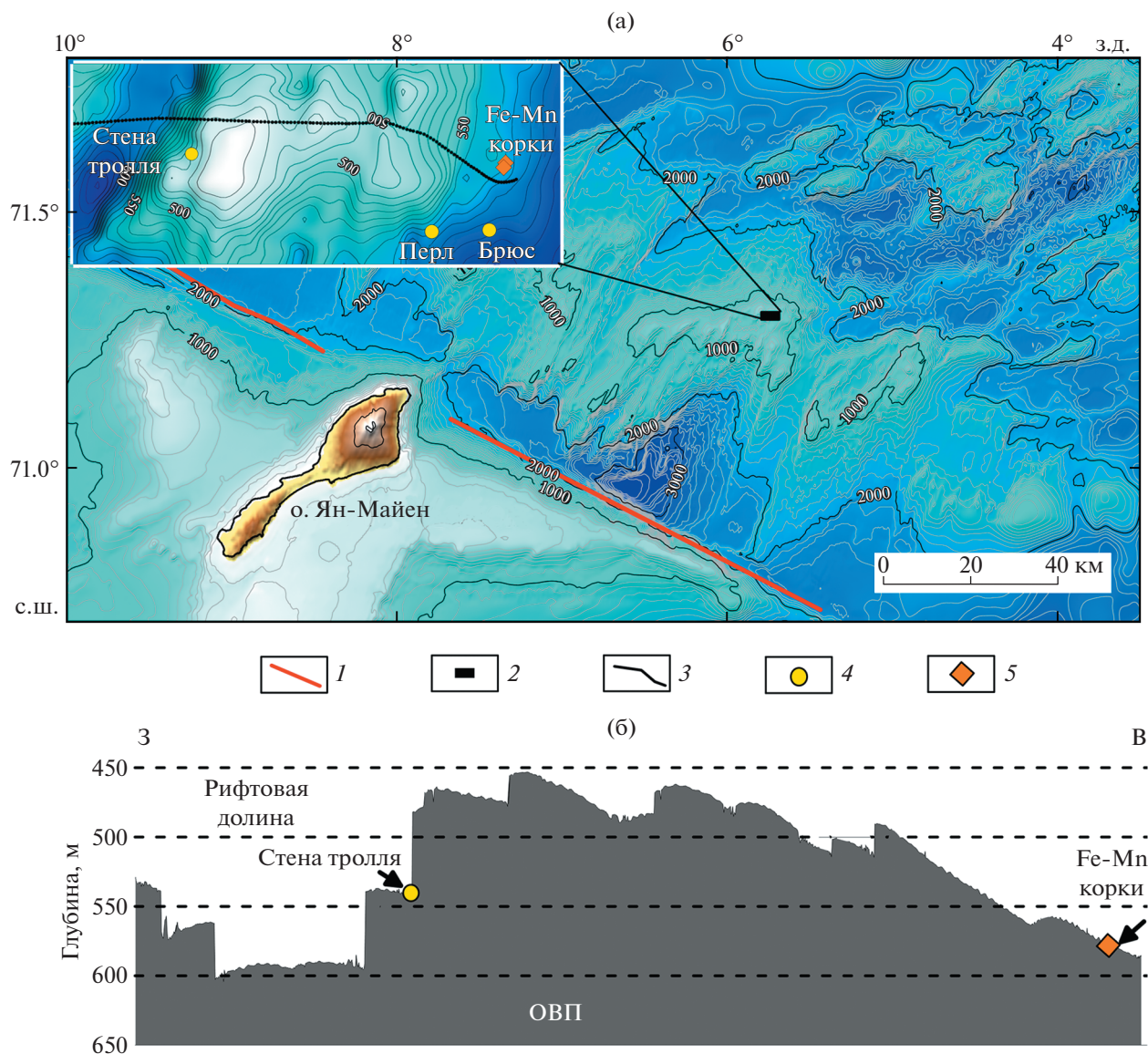


Рис. 1. Положение места отбора Fe–Mn-корки, а также гидротермальных полей Стена тролля и Перл и Брюс на южном сегменте хребта Мона: (а) батиметрическая карта южной части хребта с Ян-Майенским ОВП (грид GEBCO), изобаты проведены через 100 м, на врезке представлена карта полигона с положением гидротермальных полей и Fe–Mn-корок; (б) детальный батиметрический профиль вершины ОВП с рифтовой долиной (получен в рейсе), на котором стрелками показано положение места отбора Fe–Mn-корки и поля Стена тролля. 1 – Ян-Майенский трансформный разлом; 2 – полигон; 3 – положение батиметрического профиля, показанного на (б); 4 – гидротермальные источники; 5 – место отбора Fe–Mn-корок.

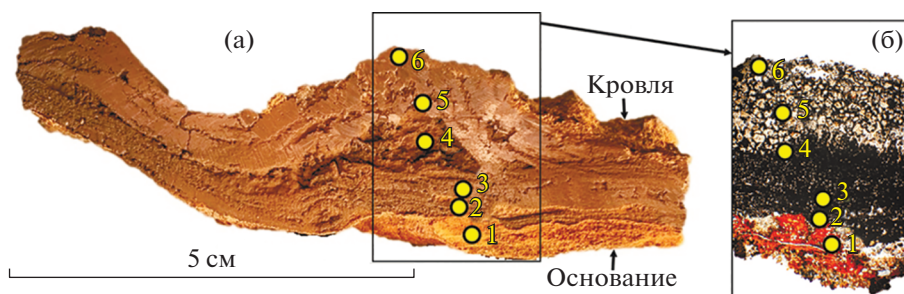


Рис. 2. Изображение Fe–Mn-корки 6133/5, отобранной дночерпателем на Ян-Майенском гидротермальном поле ст. 6133, с точками отбора изученных образцов: фото распила Fe–Mn-корки (а) и микрофотография шлифа (б).

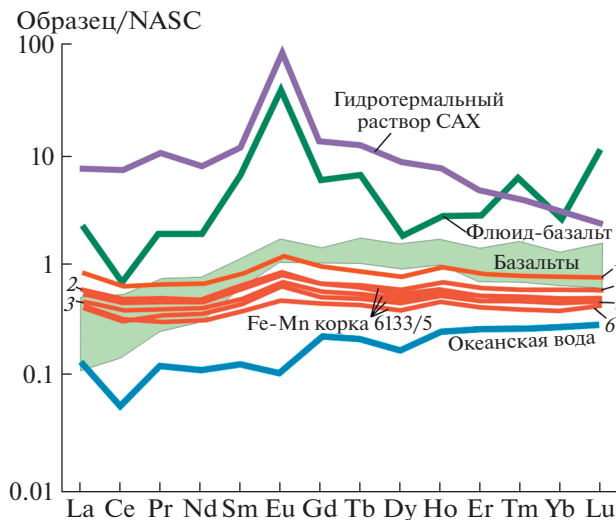


Рис. 3. Распределение РЗЭ, нормализованные на состав РЗЭ в NASC, в слоях Fe–Mn-корки 6133/5 и сравнение с составом РЗЭ в базальтах Срединно-Атлантического хребта (САХ), океанской воде, во флюиде, окисляющем океанические базальты, и в гидротермальном растворе САХ [4, 17].

ность), непосредственно прилегающая к подстилающему субстрату, неровная, мелкобугорчатая, местами гладкая, покрытая слоем (~1–3 мм) железистого вещества цвета охры с пятнами желтого цвета, а также темно-коричневыми колломорфными оксигидроксидами железа и марганца (рис. 2). Очевидно, основание корки отражает неровности субстрата, сложенного базальтами, вулканическими стеклами и продуктами их дезинтеграции и переотложения (песчаники, брекчии, пески с грубообломочным материалом). Контакт основания корки и субстрата резкий.

Для внутреннего строения Fe–Mn-корки характерны невысокая плотность и наличие пустых полостей и трещин. Структура тонкослоистая (чередуются слои рыхлые крошащиеся и плотные с полуматовым блеском), местами встречаются радиально-лучистые обособления. Охристые слои наблюдались на основании, реже на поверхности корки. Внутренняя ее часть представлена прослоями (0.3–1 мм) раскристаллизованного однородного рудного вещества оксигидроксидами Mn и Fe с примесью нерудного вещества, преимущественно, тонкодисперсного вулканического стекла. Соотношение рудного вещества и стекла в этих слоях варьировало, что определяло их плотность. В полостях и трещинах единично встречались включения раковин фораминифер. Все это, по-видимому, отражает изменение условий рудонакопления во времени. По морфологии и составу можно утверждать, что корки имеют седиментационную природу.

Минеральный и химический состав. В составе рудного вещества Fe–Mn-корки идентифицированы две группы гидроксидов марганца, среди которых преобладает 7 Å минерал – бернессит. Группа 10 Å минералов представлена бузеритом I, а в качестве примеси в отдельных слоях диагностирован неупорядоченный смешанно-слоистый гидроксид марганца. Минералы железа не удалось установить по данным РФА, поскольку они могут принадлежать к рентгеноаморфной минеральной фазе. Примесь вулканического стекла в разных слоях корки распределена незакономерно и варьирует от 30 до 70%, достигая наибольшего содержания в основании и средней части. В составе нерудного вещества установлены также кварц, плагиоклаз и клинопироксен, а также глинистые минералы в следовых количествах в основании корки.

Содержание Fe достигает 13.9% только в слое охристо-желтого цвета в основании корки, а затем варьировало от 5.2 до 3.0% и от 4.8 до 1.6% в средней части и в поверхностном слое корки соответственно. В противоположность этому содержанию Mn увеличивается от 3.5% в основании до 12–33% в поверхностном слое. Между содержаниями Mn и Fe, а также Mn и Al в слоях корки существует обратная зависимость: $r = -0.86$ и $r = -0.96$, $n = 7$ соответственно. Слои поверхности и основания корки существенно различаются по концентрации не только матричных элементов, но и микроэлементов. Во внутренних слоях преобладают “чистые” оксигидроксиды Mn, а также марганцевые разности, концентрирующие Co, реже Ni (табл. 1).

Суммарная концентрация РЗЭ понижается от 124 мкг/г в основании до 60 мкг/г в поверхностном слое корки (табл. 1). Эта тенденция находится в прямой зависимости от содержания Fe, а также Al, но в обратной – от содержания Mn. На спектрах распределения РЗЭ, нормированных на состав РЗЭ в NASC, наблюдается незначительная отрицательная Ce-аномалия. Величина Ce/Ce^{NASC} (Ce_{an}) меняется от 0.80 до 0.96 при переходе от основания к поверхности корки (рис. 3). Более существенно в образцах проявлена положительная Eu-аномалия. Значение Eu/Eu^{NASC} (Eu_{an}) в большинстве слоев варьирует от 1.41 до 1.36, и лишь в самом верхнем слое понижается до 1.08–1.18 (табл. 1).

Изотопный состав стронция и неодима. Отношение $^{87}Sr/^{86}Sr$ в изученных слоях повышается от 0.70621 в основании до 0.70740 у поверхности корки (табл. 1). Минимальное значение $^{87}Sr/^{86}Sr$ характерно для основания корки, где содержание Al составляло 5.9%, а вулканического стекла – 22%. В слое 3 это отношение равно 0.70662, в слоях 4 и 5 достигает 0.70713, а в поверхностном – 0.70740. Значение ϵ_{Nd} в нижних слоях составляет

6.0–6.2, в слоях 4 и 5 незначительно понижается до 5.6–5.8, а в слое поверхности резко падает до -0.1 (табл. 1), где примесь вулканического стекла составляет примерно 30–40%. На графике ϵ_{Nd} – $^{87}Sr/^{86}Sr$ фигуративные точки обнаруживают обратную зависимость и образуют линию смешения, которая расположена между полем океанических базальтов и океанской водой (рис. 4). При этом максимальное количество мантийного материала присутствует в самых нижних слоях у основания корки, а ее поверхность содержит материал, приближающийся по изотопному составу Nd и Sr к окружающей морской воде.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изученный образец Fe–Mn-корки отобран в районе гидротермального поля Перл и Брюс в ~ 2 км к востоку от поля Стена тролля. Примечательно, что поле Перл и Брюс расположено не в рифтовой долине, а на фланге восточного массива ОВП у основания сбросового уступа. Однако все остальные поля Ян-Майенского ОВП находятся в пределах рифтовой долины, что типично для проявлений гидротермальной активности САХ [1]. На поле Перл и Брюс происходит активное излияние флюида вдоль одного из сбросов, что установлено наличием гидроакустической аномалии, вызванной выделением газа в водную толщу [19].

Минералогические и петрографические данные для изученного образца показывают осадочное происхождение Fe–Mn-корки, а полученные изотопно-геохимические данные свидетельствуют о высоком вкладе гидротермального материала в состав Fe–Mn-корки на Ян-Майенском поднятии. Преобладающие высокие значения ϵ_{Nd} 5.8–6.2 совпадают с таковыми в океанических базальтах САХ и значительно отличаются от Nd-характеристик континентальных пород, обрамляющих Северную Атлантику [10, 11, 15]. Значение $^{87}Sr/^{86}Sr$ хотя несколько выше, чем в гидротермальных растворах, поступающих из рифтовых ячеек САХ (0.7035 ± 0.0005), но значительно отличается от отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в современном океане – 0.70920 [8]. Спектры распределения РЗЭ в Fe–Mn-корке близки к составу океанических базальтов, но демонстрируют большее обогащение легкими РЗЭ (рис. 3). Такое обогащение легкими РЗЭ и положительная Eu_{an} во всех слоях Fe–Mn-корки указывают на генетическую связь с гидротермальными растворами и флюидами, фильтрующими базальты [4].

Возрастание слабовыраженной Se_{an} к нижнему слою корки указывает на осаждение Fe–Mn-корки в окислительных обстановках. Увеличение этого параметра может также предполагать усиление роли гальмиролиза и активного окисления

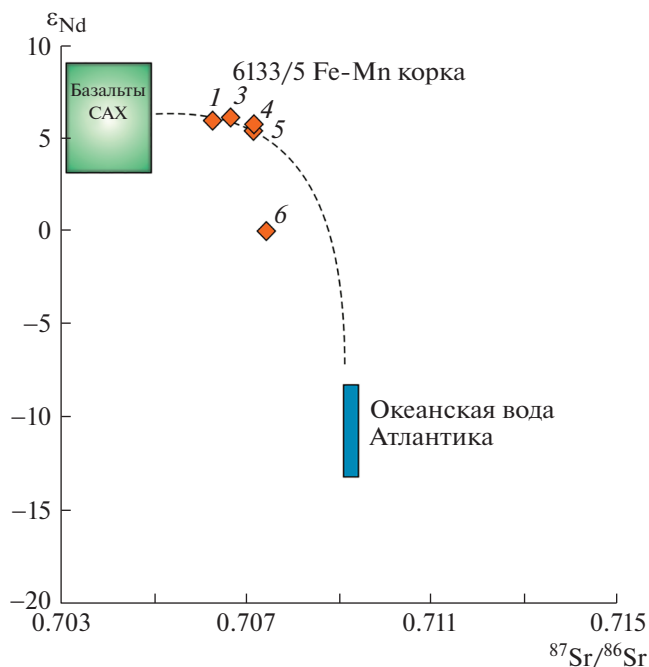


Рис. 4. Изотопный состав стронция и неодима в нескольких слоях Fe–Mn-корки 6133/5. Пунктирная линия отражает смешение среднего изотопного состава океанических базальтов Срединно-Атлантического хребта (САХ) и морской воды [8, 15].

базальтов на фланге ОВП [9], либо активизацию высачивания гидротермальных растворов диффузного типа [13]. Однако в случае изученной Fe–Mn-корки величина Se_{an} значительно отличается от океанской воды и базальтов, соответственно 0.89 ± 0.05 против 0.45 и 0.22. Это предполагает низкую роль РЗЭ, находящихся в растворенном состоянии в придонной воде, и РЗЭ из подстилающих базальтов. Поэтому отличие состава РЗЭ в Fe–Mn-корке от состава РЗЭ подстилающего субстрата снижает роль процессов гальмиролиза при образовании корки.

Послойное изучение Fe–Mn-корки демонстрирует неоднородность ее строения, а различие изотопно-геохимических характеристик каждого слоя указывает на изменение физико-химических условий при ее росте и не зависит от примеси вулканического стекла. Обнаруженная корреляционная связь между содержанием Fe и РЗЭ указывает на высокую сорбционную способность оксигидроксидов Fe. Уменьшение концентрации Fe, РЗЭ и отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ и одновременное понижение значений Eu_{an} и ϵ_{Nd} при переходе от нижних к верхним слоям корки свидетельствуют об ослаблении влияния гидротермального источника по мере роста Fe–Mn-корки и увеличении доли водородных оксигидроксидов марганца и железа. Sr- и Nd-изотопные характеристики верхних слоев быстро смещаются в сторону рав-

новесия с океанской водой (рис. 4). Так, в случае медленного (от нескольких сотен тысяч до первых миллионов лет) осаждения оксигидроксидов Fe и Mn на поверхности глубоководных осадков их Sr и Nd изотопные характеристики уравниваются с придонной морской водой [5]. Учитывая небольшую (3 см) толщину корки, можно уверенно говорить о быстром наступлении равновесия в изученной Fe–Mn-корке, что подтверждает высокую скорость ее кристаллизации.

ВЫВОДЫ

Изученная Fe–Mn-корка в Ян-Майенском гидротермальном районе сложена преимущественно гидроксидами Mn с подчиненной примесью Fe, не образующей собственной кристаллической минеральной фазы. Таким образом, здесь рудная минерализация имеет марганцевую специализацию. Главным источником Mn, Fe и сопутствующих редких элементов и РЗЭ являются гидротермальные растворы, которые фильтровали океанические базальты южного сегмента хребта Мона, являющегося продолжением САХ.

Минеральный состав и слоистое строение однозначно свидетельствуют о том, что изученная Fe–Mn-корка является седиментационным образованием, что проявляется также в изменении от слоя к слою концентрации рудных компонентов и нерудного вещества. Sr- и Nd-изотопные характеристики изученной корки свидетельствуют о поступлении материала из пород, сходных по составу с океаническими базальтами САХ. Состав РЗЭ в корке подтверждает близость подводных гидротерм. Смещение Sr- и Nd-изотопных характеристик и состава РЗЭ от основания корки к поверхности в сторону равновесия с морской водой предполагает высокую скорость кристаллизации и влияние гидрогенного источника.

Заключая сказанное, отметим, что быстро растущая микрослоистая Fe–Mn-корка на склоне осевого вулканического поднятия имеет преимущественно гидротермальный генезис. Очевидно, что она значительно моложе по времени образования классических пелагических глубоководных железомарганцевых конкреций. Сравнительная “молодость” и большое содержание “разбавителей” (вулканического стекла) снижают концентрацию металлов и РЗЭ в составе рудных минеральных фаз изученной Fe–Mn-корки. Однако относительная мелководность залежи гидротермальных Fe–Mn-корок позволяет рассматривать их как перспективное полезное ископаемое.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.В. Дубинина за плодотворное обсуждение результатов, Г.В. Малафеева и С.М. Исаченко за помощь при отборе проб, а также капитана

Ю.Н. Горбача и экипаж НИС “Академик Мстислав Келдыш”.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования Fe–Mn-корки выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 20-17-00157). Работы в экспедиции проводились в рамках государственного задания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0006) и при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (целевое финансирование экспедиций).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданов Ю.А.* Гидротермальные рудопроявления рифтов Срединно-Атлантического хребта. М.: Научный мир, 1997. 167 с.
2. *Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.П. и др.* Железо-марганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана. М.: Наука, 1990. 229 с.
3. *Горохов И.М., Мельников Н.Н., Кузнецов А.Б. и др.* Sm-Nd систематика тонкозернистых фракций нижнекембрийских “синих глин” Северной Эстонии // Литология и полезные ископаемые. 2007. № 5. С. 536–551.
4. *Дубинин А.В.* Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.
5. *Дубинин А.В., Кузнецов А.Б., Римская-Корсакова М.Н., Сафин Т.Х.* Изотопный состав Nd и Sr в эмали зубов из Fe-Mn конкреций Капской котловины: возраст и источники вещества // Геохимия. 2018. № 12. С. 1173–1184.
6. *Дубинин А.В., Кузнецов Е.В., Римская-Корсакова М.Н. и др.* Сравнительные характеристики Fe-Mn корок Северного Ледовитого и Атлантического океанов // Океанология. 2022. Т. 62. № 2. С. 271–288.
7. *Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Немировская И.А. и др.* Исследование седиментосистем Европейской Арктики в 75-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // Океанология. 2020. Т. 60. № 3. С. 485–487.
8. *Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М.* Изотопный состав Sr в водах Мирового океана, окраинных и внутренних морей: возможности и ограничения Sr-изотопной хемотратиграфии // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 3–19.
9. *Курносов В.Б.* Гидротермальные изменения базальтов в Тихом океане и металлоносные отложения (по материалам глубоководного бурения). М.: Наука, 1986. 252 с.
10. *Маслов А.В., Кузнецов А.Б., Политова Н.В. и др.* Распределение редких и рассеянных элементов и изотопный состав Nd, Pb и Sr в поверхностных осадках Баренцева моря // Геохимия. 2020. Т. 65. № 6. С. 566–582.
11. *Маслов А.В., Шевченко В.П., Кузнецов А.Б., Штайн Р.* Геохимическая и Sr-Nd-Pb-изотопная характеристика осадочного материала, переносимого дрей-

- фьющими льдами Северного Ледовитого океана // Геохимия. 2018. № 8. С. 729–744.
12. *Сметанникова О.Г.* Методические указания по рентгеновскому исследованию оксидов и гидроксидов марганца. Ленинград: ЛГУ, 1988. 33 с.
 13. *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 // *Chemical geology*. 2014. № 381. P. 1–9.
 14. *Elkins L.J., Hamelin C., Blichert-Toft J., et al.* North Atlantic hotspot-ridge interaction near Jan Mayen Island // *Geochem. Persp. Let.* 2016. V. 2. P. 55–67.
 15. *Faure G.* Principles of Isotope Geology. 2nd ed. New-York. Willey & Sons. 1986. 589 p.
 16. *Mills R.A., Wells D.M., Roberts S.* Genesis of ferromanganese crusts from the TAG hydrothermal field // *Chem. Geol.* 2001. V. 176. P. 283–293.
 17. *Mitra A., Elderfield H., Greaves M.J.* Rare earth elements in submarine hydrothermal fluids and plumes from the Mid-Atlantic Ridge // *Marine Chemistry*. 1994. V. 46. P. 217–235.
 18. *Pedersen P.B., Bjerkgaard T.* Massive sulphides in Arctic waters // *Sea-floor massive sulphides*. Chapter 5. 2018. P. 210–215.
 19. *Stensland A., Baumberger T., Lilley M.D. et al.* Transport of carbon dioxide and heavy metals from hydrothermal vents to shallow water by hydrate-coated gas bubbles // *Chemical Geology*. 2019. V. 513. P. 120–132.

HYDROTHERMAL GENESIS OF FERROMANGANESE CRUSTS OF THE SOUTHERNMOST SEGMENT OF THE MOHNS RIDGE, NORWEGIAN SEA: REE GEOCHEMISTRY, STRONTIUM AND NEODYMIUM ISOTOP COMPOSITION

**M. D. Kravchishina^{a, #}, Corresponding Member of the RAS A. B. Kuznetsov^b, B. V. Baranov^a, O. M. Dara^a,
D. P. Starodymova^a, A. A. Klyuvitkin^a, V. A. Chebotareva^b, and A. Yu. Lein^a**

^a *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

^b *Institute of Precambrian Geology and Geochronology Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russian Federation*

[#] *E-mail: kravchishina@ocean.ru*

For the first time, mineralogical, geochemical and isotopic studies of ferromanganese crust collected in the Jan Mayen vent field area were carried out. The crust (about 3 cm thick) has a distinct layered structure, sharp contact with the underlying volcanogenic substrate and collomorphic iron and manganese oxyhydroxides at the crust's bottom. The crust is composed mainly of manganese oxyhydroxide – birnessite and buzerite with an admixture of volcanic glass. A layer-by-layer study of the crust revealed that the content of Mn increases 3–10 times from the bottom to the top, but, to the contrary, the content of Fe and REE decreases in the same direction. The samples show a positive Eu anomaly ($\text{Eu}/\text{Eu}^{\text{NASC}}$ 1.08–1.41). The value of $\text{Ce}/\text{Ce}^{\text{NASC}}$ is 0.89 ± 0.05 . The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio in the lower and middle layers of the crust is within 0.70621–0.70713, and the value of ϵ_{Nd} reaches 5.6–6.2. These parameters in the uppermost layer of the crust are 0.70740 and –0.1, respectively. The REE composition, positive Eu anomaly, high ϵ_{Nd} values, and low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in the crust indicate that the main source of matter was hydrothermal solutions. Changes in the Sr and Nd isotope characteristics and REE composition in the crust layers suggest a weakening of the role of hydrothermal matter as it grows, as well as a high rate of crust deposition in the zone of the Jan Mayen vent field area.

Keywords: REE geochemistry, strontium isotopes, neodymium isotopes, ferromanganese crusts, Jan Mayen vent field area, Arctic Mid-Ocean Ridge, Norwegian-Greenland Basin