

УДК 553.2 (265.54)

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВОЗВЫШЕННОСТИ ПЕРВЕНЦА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

© 2019 г. Н. В. Астахова*, Е. А. Лопатников, В. А. Можеровский, Е. И. Ярошук

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН

690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43

**e-mail: n_astakhova@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 02.03.2018 г.

Приводятся данные о строении, химическом составе и содержании микроэлементов в железомарганцевых и кремнистых корках возвышенности Первенца (Японское море). Образование корок произошло в результате цементации мелких обломков зеленых глин (селадонита) гидроокислами марганца (тодорокитом и бернесситом) или кремнеземом. Первичным было формирование селадонита, отложившегося при излиянии рудоносных гидротермальных растворов в кальдере вулкана или на его склонах. Особенности строения корок указывает на то, что образование их происходило при диффузном просачивании газо-гидротермальных растворов по трещинам или ослабленным зонам в вулканических породах и последующей цементацией марганцевыми или кремнистыми окислами уже сформировавшихся отложений селадонита. Марганцевая и кремнистая минерализации разделены во времени и, часто, в пространстве и имеют более локальное распространение.

Ключевые слова: железомарганцевые корки, кремнистые корки, селадонит, Японское море.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019429-39>

ВВЕДЕНИЕ

Возвышенность Первенца расположена в Центральной (Японской) котловине Японского моря, рядом с материковым склоном Южного Приморья (рис. 1) и является фрагментом Азиатского континента [Берсенев и др., 1987]. Она представляет собой несколько сближенных вулканических построек, сложенных базальтами плиоцен-четвертичного возраста. Глубины над центральной частью возвышенности 1300–1500 м, подножие находится на глубине 2500–2700 м [Пушин и др., 1977]. Геологическое изучение возвышенности началось в 70-х годах прошлого века сотрудниками ТОИ ДВО РАН на НИС “Первенец”. Тогда же при драгировании впервые в Японском море с глубины 1400–1700 м и 2000–2200 м были подняты железомарганцевые и кремнистые образования [Липкина, 1979; Пушин и др., 1977]. К сожалению, каменный материал, поднятый 40 лет назад, не сохранился.

В 2011 г. в 58-м рейсе НИС “Академик М.А. Лаврентьев”, организованном ТОИ ДВО РАН, были проведены геологические работы на юго-восточной части возвышенности. Батиметрические исследования показали, что этот участок представляет собой довольно протяженную структуру (около 33 км) линейной формы, вытянутую практически в меридиональном направлении (см. рис. 1). Наименьшая глубина,

выявленная на участке – 1344 м, относительная высота ~2000 м. Привершинная часть характеризуется крутыми западным и восточным склонами. Драгирование проводилось на двух станциях (LV58-2 и LV58-3) на более крутом восточном склоне в интервале 1800–1500 м. Состав поднятого здесь каменного материала свидетельствует о том, что эта структура является частью кальдеры древнего вулкана. При этом восточный склон отрога представляет собой внутренний (западный) борт этой кальдеры [Съедин и др., 2014]. Среди поднятого материала совместно с базальтами и слаболитифицированными осадочными породами неогенового возраста находились обломки железомарганцевых и кремнистых корок, мощностью 3–5 см, которые и послужили объектом исследования. Цель данной работы – выяснить взаимоотношения между марганцевой и кремнистой минерализациями и на основании этого определить условия их формирования.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения содержания макро (Fe, Mn, Si, Al, Ca, Mg, Ti) и микроэлементов в образцах использовался атомно-эмиссионный (с индуктивно связанной плазмой) метод анализа на спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США) в центре коллективного

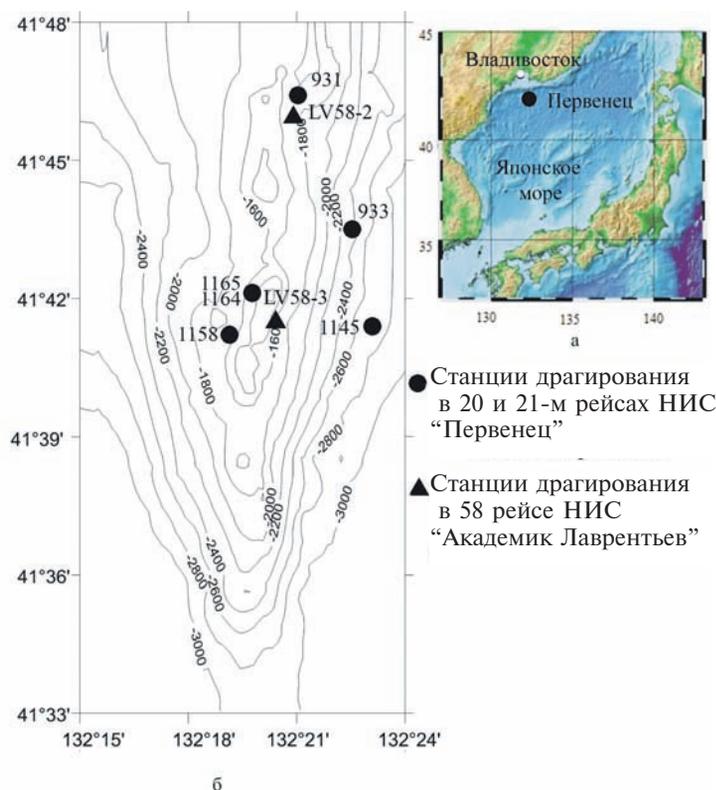


Рис. 1. Местоположение (а) и рельеф (б) возвышенности Первенца в Центральной котловине Японского моря (по материалам 58-го рейса НИС “Академик М.А. Лаврентьев”).

пользования ДВГИ ДВО РАН. Все определения элементов выполнялись на навеску, высушенную при 105°C. Для более детального изучения были изготовлены аншлифы кремнистой и двухслойной железомарганцевой корок со станции LV58-3, которые изучались в этом же центре при помощи микрондового анализатора JXA-8100 (JEOL Ltd., Япония) с тремя волновыми спектрометрами, доукомплектованного энергодисперсионным спектрометром INCAx – sight (Oxford Instruments Analytical Ltd., Англия). Анализ осуществлялся при ускоряющем напряжении 20 кВ, угол отбора излучения составлял 45°. В ходе анализа использовалась библиотека эталонов пользователя. Количественный и полуквантитативный анализ производился по процедуре PhyRoZ, являющейся стандартной программой энергодисперсионного анализатора Link ISIS. Для исследования образец напылялся тонким слоем углерода. Объем области, в которой производилось определение химического состава, принимался, в среднем, за грушевидный объем с максимальным размером 3–4 микрона. Рентгеновский спектр этой области анализировался ЭДС и отображался на экране компьютера, который с помощью программного обеспечения производил анализ данного спектра и указывал положения линий тех элементов, которые были программно обнаружены.

Рентгенофазовый анализ выполнялся на дифрактометре “Дрон-3.0” (Cu K α излучение, плоский графитовый монохроматор, ток на аноде 30 mA и напряжение 40 kV). Съемка производилась в угловом диапазоне 2–35 градусов по 2 θ , при скорости регистрации один градус в минуту. Образцы глин исследовались в воздушно-сухом ориентированном и насыщенном этиленгликолем состояниях. Дополнительная обработка не производилась. Наличие хлорита/каолинита определялось по положению рефлексов 3.51/3.57 Å относительно отметки 25 градусов по 2 θ . Кристаллохимические формулы минералов рассчитывались на основании химического анализа, по зарядам (на 22 аниона), кислородным методом [Булах, 1967].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Железомарганцевые корки представляют собой рыхлые образования, легко разламывающиеся руками. Они подразделяются на одно- и двухслойные. Под бинокляром видно, что однослойные корки содержат большое количество включений обломков глинистых минералов зеленовато-бурого цвета (рис. 2а, 2б). В нижней части корки величина и количество этих обломков увеличивается. У двухслойных нижний

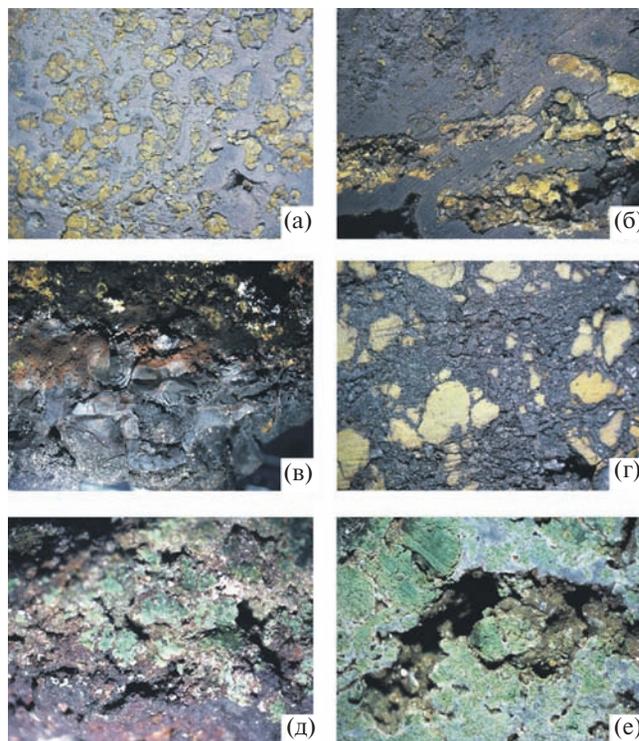


Рис. 2. Железомарганцевые и кремнистые корки возвышенности Первенца.

а, б – образец LV58-2: цементация железомарганцевыми гидроксидами мелких бесформенных комочков Fe-сметитов в центральной (увел. 5) (а) и краевой частях образца (увел. 5) (б); в, г – образец LV58-3-2: в – граница между верхней, почковидной, и нижней частями корки (увел. 2.5), г – цементация железомарганцевыми гидроксидами Fe-сметитов в нижней части корки (увел. 5); д, е – образец LV58-3-1: д – внешний вид кремнистой корки (увел. 3), е – цементация аморфным кремнеземом бесформенных комочков Fe-сметитов (увел. 5).

слой аналогичен вышеописанному, а верхний имеет почковидную структуру (см. рис. 2в, 2г). Граница между слоями отчетливая.

Кремнистые корки пористые, с кавернозной поверхностью, часто покрытой тонкой пленкой железомарганцевых гидроокислов. Они образовались в результате цементации кремнеземом комочков зеленого глинистого вещества (см. рис. 2д, 2е). Стенки пустот выстланы щетками мельчайших кристаллов кварца. Встречаются образцы, поры в которых заполнены железомарганцевыми гидроксидами.

Химический состав валовых проб корок приведен в табл. 1. В железомарганцевых корках содержания Mn варьируют от 43.56 до 18.96%, Fe – от 2.56 до 13.85%, Si – от 3.77 до 15.19%, Al – от 0.56 до 0.83%, Ti – 0.02–0.04%. Максимальные концентрации марганца и минимальные железа и кремния наблюдаются в верхней почковидной части корки. Следовательно, меняются и модули: Mn/Fe от 17.0 до 1.6, (Mn+Fe)/Ti от 2306 до 883 и Al/(Al+Fe+Mn) от 0.01 до 0.02. В кремнистой корке содержание Mn составляет 0.32%, Fe – 8.88%, Si – 35.22%, Al – 0.30%,

Ti – 0.01%. Модули: Mn/Fe – 0.04, (Mn+Fe)/Ti – 920 и Al/(Al+Fe+Mn) – 0.03. Анализ, проведенный Ю.Г. Волохиным, показал, что для гидротермальных железомарганцевых образований значения титанового модуля находятся в пределах от 25 до 60, а в гидротермальных – выше 100 [Гайоты ..., 1995]. Значения алюминиевого модуля (менее 0.4) указывает на содержание в осадке эксгальвативной компоненты [Bostrom, 1973].

Содержание микроэлементов в образцах незначительно. Сумма Ni, Co, Cu в железомарганцевых корках варьирует от 0.16 до 0.33%, в кремнистой – 0.01%. Причем основной вклад вносит Ni, концентрация которого 0.06–0.24% и 0.007% соответственно. Традиционно для Японского моря, железомарганцевые корки обогащены Ba и Sr [Астахова, Введенская, 2003; Астахова, 2013], в некоторых случаях – Li. Содержание почти всех микроэлементов в кремнистых корках значительно ниже, чем в марганцевых (см. табл. 1).

В результате микронзондового исследования были получены данные по микроструктуре корок и выявлены особенности выделения

Таблица 1. Химический состав железо-марганцевых и кремнистых корок возвышенности Первенца (Mn–п.п.п. – в %, Co–Y – в г/т)

Элемент	LV58-2	LV58-3-2 верх	LV58-3-2 низ	LV58-3-1	933	933 гл.
MnO	27.74	56.25	24.48	0.41	0.06	0.03
Fe ₂ O ₃	19.8	3.66	16.84	12.7	6.03	24.5
FeO	–	–	–	–	3.4	1.63
SiO ₂	27.31	8.07	32.51	75.39	79.12	48.6
TiO ₂	0.07	0.03	0.03	0.02	0.12	–
Al ₂ O ₃	1.57	1.23	1.06	0.57	0.72	0.93
MgO	3.32	2.97	4.77	2.22	0.86	5.27
CaO	0.66	1.46	0.98	0.14	1.8	1.01
Na ₂ O	1.97	2.72	2.17	0.49	0.44	0.49
K ₂ O	2.49	1.63	2.94	3.25	2.12	5.48
P ₂ O ₅	0.09	0.07	0.07	0.05	–	–
п.п.п.	11.62	15.2	11.26	3.82	2.86	н.а.
Сумма	96.64	93.29	97.11	99.06	97.53	87.94
Co	329.04	171.88	237.93	10.53	н.а.	н.а.
Ni	648.8	1921.49	2432.45	69.64	н.а.	н.а.
Cu	593.76	498.07	652.44	7.29	н.а.	н.а.
Zn	192.37	484.76	610.25	40.89	н.а.	н.а.
Pb	30.69	22.53	21.54	10.79	н.а.	н.а.
Mo	248.36	538.48	330.72	11.19	н.а.	н.а.
As	63.92	59.21	40.62	6.39	н.а.	н.а.
W	154.53	204.12	64.93	1.52	н.а.	н.а.
Cr	17.9	15.86	21.83	29.99	н.а.	н.а.
V	471.33	332	237.5	50.33	н.а.	н.а.
Zr	67.01	17.7	36.95	28.32	н.а.	н.а.
Ba	6501.67	9695	6708.33	65.17	н.а.	н.а.
Sr	687.17	1293	821.67	22.17	н.а.	н.а.
Li	28.75	496.4	185.08	12.54	н.а.	н.а.
Rb	66.91	27.21	91.19	106.5	н.а.	н.а.
Cs	1.58	0.93	1.91	2.84	н.а.	н.а.
Y	14.7	32.17	24.13	1.92	н.а.	н.а.
Σ PЗЭ	123.16	130.06	137.75	22.83	н.а.	н.а.
Mn/Fe	1.55	17.03	1.61	0.04	0.007	0.001
(Mn+Fe)/Ti	883	2306	1537	920	96	–
Al/(Al+ Mn+Fe)	0.02	0.01	0.02	0.03	0.05	0.03
Ni+Co+Cu	1571.6	2591.44	3322.82	87.46	н.а.	н.а.

Примечание. Образцы LV58-2 и LV58-3-2 – железомарганцевые корки; LV58-3-1 и 933 – кремнистые корки; 933 гл. – зеленое глинистое вещество из кремнистой корки. Данные о химическом составе образца со станции 933 взяты из работы М.И. Липкиной [1979]; прочерк – не обнаружено, н.а. – не анализировалось.

и распределения рудного вещества в образцах со станции LV58-3.

В железомарганцевой корке верхний почковидный слой имеет оолитовую текстуру. Каждый оолит имеет ядро, оконтуренное крустификационной кристаллической каемкой обрастания. Сам оолит и каемка сложены гидроокислами марганца с примесью до 5% К, Na, Ca и Mg. Различие состоит в том, что в ядре присутствует до 1% свинца, а в каемке – 3% фтора. В оолитах и в оторочке встречаются единичные включения зерен цинкистой меди переменного состава, фосфида никеля, серебра и РЗЭ (рис. 3а, 3б). Включения зерен цинкистой меди и серебра обнаружены во всех изученных железо-марганцевых корках, образовавшихся на склонах подводных возвышенностях Японского моря. Фосфид никеля встречается значительно реже как в корках, так и в вулканических породах, слагающих эти возвышенности [Астахова, 2013; Астахова и др., 2014]. Самородные металлы, фосфиды и интерметаллические соединения, скорее всего, привнесены высокотемпературным флюи-

дом, отделившимся от базальтового расплава. Не исключено, что часть металлов поступила с газовым потоком в твердой фазе.

Нижний слой имеет неоднородный химический состав. Участки с разным химическим составом выделяются в форме полос с изменяющейся мощностью или в виде пятен различной формы. Границы между ними довольно четкие. Обнаружены участки преимущественно марганцевого, марганцево-железо-кремнистого и железо-кремнистого составов (см. рис. 3в, 3г). Во всех матрицах также присутствует примесь К, Na, Ca и Mg, сумма которых не превышает 7%. Первичными были отложения железо-кремнистого состава, иногда с примесью Со до 0.22%. Позже они были раздроблены и сцементированы гидроокислами марганца. Прослеживается следующая этапность рудоотложения: Fe-Si → Mn-Fe-Si → Mn. Не исключено, что формирование участков марганцево-железо-кремнистого состава связано с пропиткой марганцем железо-кремнистых отложений. На это указывает частое выделение их на границе марганцевых прожилков

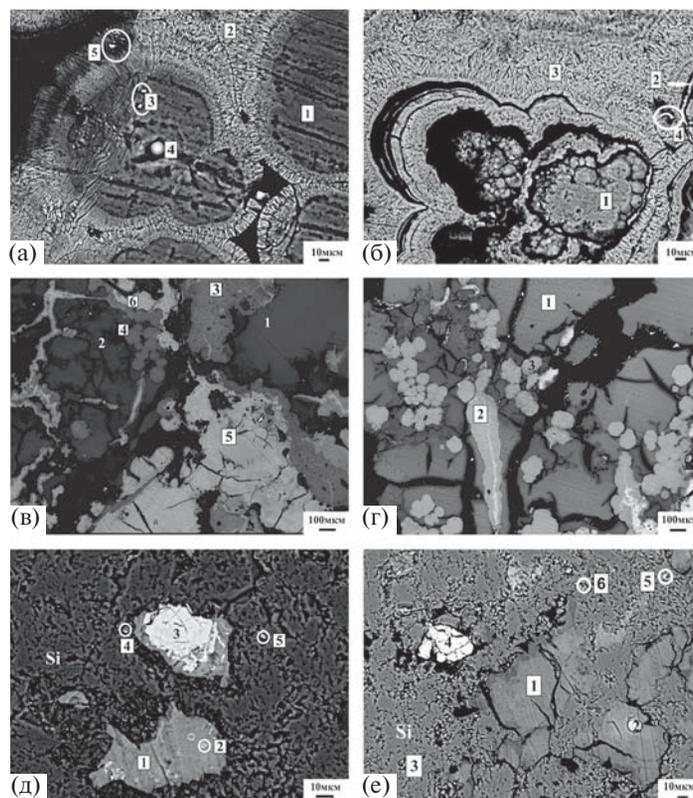


Рис. 3. Микротекстуры марганцевой (образец LV58-3-2) и кремнистой (образец LV58-3-1) корок.

а-г – марганцевая корка: а, б – верхний почковидный слой (а – марганцевые оолиты (1) с крустификационным марганцевым цементом (2) с включениями зерен цинкистой меди (5), б – участки скорлуповато-слоистого строения, в цементе включение фосфида никеля (4)), в, г – нижний слой (в – цементация обломков селадонита (1, 2) железо-марганцево-кремнистыми (3) и марганцевыми (5, 6) отложениями, г – пятнистые выделения железо-кремнисто-марганцевого состава (2) в селадоните (1)); д, е – кремнистая корка (д – кусочки селадонита (1) в кремнистом цементе (в селадоните – выделения гидроокислов Fe (2) и пирита (3), в цементе – барита (4) и самородного железа (5)), е – заполнение пор в кремнистом цементе (3) гидроокислами марганца (4)).

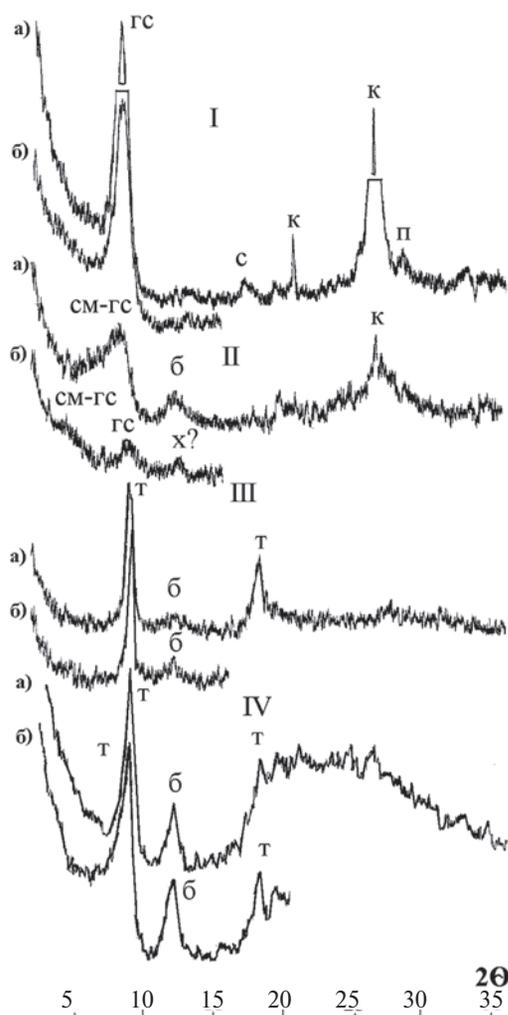


Рис. 4. Рентгенограммы глинистых и марганцевых минералов кремнистой (образец LV58-3-1) и марганцевой (образец LV58-3-2) корок.

I – кремнистая корка; II – глинистые включения в нижней части марганцевой корки; III – верхний почковидный слой и IV – марганцевый цемент нижней части марганцевой корки.

а) – воздушно-сухой; б) – насыщен этиленгликолем; гс – гидрослюда; с – смектит; к – кварц; п – плагиоклаз; см-гс – смешанослойный гидрослюда-смектит; х – хлорит; т – тодорокит; б – бернессит.

(см. рис. 3г). В таком случае этапность рудоотложения будет следующая: Fe-Si → Mn.

В кремнистой корке также первичным были отложения железо-кремнистого состава с примесью до 8% К и Na, содержащих включения оксидов или сульфидов железа. По составу они аналогичны железо-кремнистой матрице в железомарганцевой корке. Позже все это было цементировано SiO₂ (см. рис. 3д, 3е). Тип цемента – кристификационный. В некоторых случаях поры в корке частично или полностью заполнены гидроксидами железа и марганца или марганца с примесью бария до 5%. Следовательно,

изменение химического состава рудообразующего раствора происходило следующим образом: Fe-Si → Si → Mn-Fe, Mn-Ba.

Согласно данным рентгенофазового анализа (рис. 4), железомарганцевая корка образована тодорокитом с примесью бернессита. В нижней части корки присутствуют смешанослойные образования типа смектит-гидрослюда и кварц. Это связано с включениями зеленого глинистого вещества. Основными минералами, образующими кремнистую корку, являются гидрослюда и кварц.

Существенных различий по химическому составу между глинистыми минералами по данным микронзондового анализа не обнаружено (табл. 2, 3). Кристаллохимические формулы минералов приведены в табл. 4. Все формулы близки к идеальной для селадонита, но в некоторых случаях наблюдается некая несбалансированность по содержанию калия, магния и железа. Вероятно, это связано с разной степенью раскристаллизации первичного железосодержащего силикагеля.

Тодорокит и бернессит являются главными типоморфными марганцевыми минералами гидротермальных корок [Аникеева и др., 2008]. Селадонит, минерал из группы гидрослюды, также имеет гидротермальный генезис [Бетехтин, 1950]. Все кремнистые корки, поднятые при драгировании возвышенности Первенца, имеют одинаковое строение и близкий химический состав (см. табл. 1). Температура кристаллизации этих корок (станция 933), определенная изотопно-кислородным методом, находится в пределах 42–58°C [Липкина и др., 1987].

Следовательно, образование корок обоих типов связано с газо-гидротермальной поствулканической деятельностью. Высокотемпературные гидротермы в областях современного вулканизма являются водным раствором кремнезема, в котором происходит непрерывное воспроизводство силикагелей. Эти гидротермальные растворы, обладая высокой адсорбционной емкостью, после соединения с катионами металлов не коагулируют, а образуют гель по мере понижения температуры гидротерм при смешении растворов с холодными водами [Рычагов и др., 2005]. В результате раскристаллизации этого железистого силикагеля произошло образование зеленого глинистого минерала – селадонита.

Ряд Fe-силикатов от нонтронита до селадонита характерен для гидротермально-осадочных образований активных зон Мирового океана. Согласно Г.Ю. Бутузовой [Бутузова, 1998], они формируются при раскристаллизации кремнисто-железистого геля в толще осадков. Z. Sun с соавторами [Sun et al., 2012] описывают два возможных механизма формирования нонтронитовых глин: осаждение из гидротермальных рас-

Таблица 2. Результаты микрозондового анализа (вес. %) аншлифов марганцевых корок возвышенности Первенца

№ точек	Mn	Fe	Si	O	K	Mg	Na	Ca	Al	Cl	F	P	S	Pb	Co	Cu	Zn	Ni	Сумма
1	49.54	-	0.15	28.71	4.05	1.41	1.72	0.97	-	0.47	-	0.89	0.17	1.01	-	-	-	-	89.10
2	52.61	-	-	30.79	5.14	0.43	3.03	1.04	-	0.15	3.08	0.18	-	-	-	-	-	-	96.46
3	53.18	0.63	-	34.38	4.94	1.65	2.44	1.41	-	0.39	3.38	0.43	0.19	-	-	-	-	-	103.02
4	2.58	68.62	-	29.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.24
5	17.12	-	-	9.29	1.06	-	-	0.41	-	-	-	-	-	-	-	36.85	29.66	-	94.41

Рис. 3а

1	48.30	-	-	31.29	1.71	1.23	3.85	1.43	-	0.43	-	0.31	0.18	-	-	-	-	-	88.72
2	50.63	-	-	33.93	3.82	1.01	3.16	1.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93.87
3	50.33	0.46	-	31.27	3.19	0.57	2.90	1.27	-	0.18	-	0.20	-	-	-	-	-	-	90.37
4	7.71	-	-	1.81	0.32	-	-	-	-	-	-	7.44	-	-	-	-	-	85.51	102.78

Рис. 3б

1	-	16.21	23.53	40.62	4.80	3.18	0.65	-	-	0.32	-	0.34	-	-	-	-	-	-	90.22
2	0.19	16.07	23.20	38.37	5.25	3.02	-	-	0.57	0.14	-	-	-	-	0.22	-	-	-	87.00
3	8.14	16.49	21.38	38.06	4.55	3.03	1.13	0.37	0.53	0.30	-	0.27	-	-	-	-	-	-	94.30
4	20.59	12.57	14.56	33.60	3.46	2.39	1.21	0.55	0.58	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	89.51
5	50.33	0.46	-	31.27	3.19	0.57	2.90	1.27	0.22	0.18	-	0.20	-	-	-	-	-	-	90.37
6	50.09	-	-	32.87	4.43	1.46	2.40	1.46	-	0.16	-	0.28	-	-	-	-	-	-	93.14

Рис. 3в

1	-	14.69	21.85	41.88	4.51	2.76	0.44	-	-	0.18	-	0.34	-	-	-	-	-	-	86.65
2	25.55	9.96	11.37	35.85	2.73	2.38	1.88	0.80	-	-	-	0.31	-	-	-	-	-	-	90.82
3	49.11	0.49	-	31.42	4.59	1.22	2.34	1.28	-	0.16	-	0.38	-	-	-	-	-	-	91.00

Рис. 3г

Таблица 3. Результаты микрозондового анализа (вес. %) аншлифов кремнистой корки возвышенности Первенца

№ точек	Si	Fe	Mn	O	K	Mg	Na	Al	Ca	Cl	P	S	Cr	Ba	Ti	V	Cu	Сумма
1	23.89	20.69		37.04	6.36	3.06				0.25								91.29
2	16.54	34.49		36.53	3.56	2.56				0.21	0.38							94.26
3	1.66	44.25		10.93														103.26
4	6.79	2.25		30.59	0.85	0.79	0.32					46.42		46.96				99.94
5	0.50	97.69	0.59									11.39					0.45	99.22

Рис. 3д

Рис. 3е

1	18.91	14.35		28.07	5.46	2.61				0.27								69.67
2	14.82	31.93		32.29	3.66	2.42		0.20	0.73	0.32	0.45					0.23		87.06
3	45.64	0.83		53.86	0.19													100.52
4	1.12	2.29	49.55	33.03	1.30	1.59	1.29		0.66					1.82				92.66
5	8.77	10.95	33.67	36.23	2.36	1.66	0.55		0.49	0.18					0.14			95.00
6	9.94	7.18		22.72	2.53	1.13				0.64			16.10					60.25

Таблица 4. Кристаллохимические формулы селадонита

	Рисунок	Кристаллохимическая формула
1	Зв, с.1	$K_{0.57}Ca_{0.07}P_{0.05}(Si_{3.89}Al_{0.1}^{3+}Fe_{0.01})(^{3+}Fe_{1.34}^{2+}Mg_{0.73})O_{10}(OH)_2$
2	ЗГ, с.1	$K_{0.59}Ca_{0.05}P_{0.06}(Si_{3.98}^{3+}Fe_{0.02})(^{3+}Fe_{1.33}^{2+}Mg_{0.58})O_{10}(OH)_2$
3	Зе, с.2	$K_{0.56}Ca_{0.06}P_{0.12}(Si_{3.37}Fe_{0.63})(^{2+}Fe_{2.5}^{2+}Mg_{0.73})O_{10}(OH)_2$
4	ЗД, с.1	$K_{0.78}(Si_{4.0})(^{2+}Fe_{1.79}^{2+}Mg_{0.61}Si_{0.11})O_{10}(OH)_2$
5	ЗД, с.2	$K_{0.51}P_{0.07}(Si_{3.32}Fe_{0.68})(^{2+}Fe_{2.78}^{2+}Mg_{0.59})O_{10}(OH)_2$

Примечание. 1, 2 – нижняя часть железомарганцевой корки; 3–5 – кремнистая корка. Химический состав селадонита по данным микрозондового анализа приведен в таблицах 2 и 3.

творов при их смешении с морской водой и в результате замещения (кристаллизации) Fe-Si оксидов (гелей) непосредственно в осадках под воздействием диффузного просачивания гидротермальных растворов.

Таким образом, на возвышенности Первенца первичным было отложение селадонита, содержащего включения зерен пирита и гидроокислов железа. Судя по материалам драгирования, зеленые глины имеют широкое распространение на возвышенности Первенца. Они встречаются не только в кремнистых и железомарганцевых корках, но и в осадках, представляющих собой смесь терригенных зерен песчаной и гравийной размерности, пирокластических вулканических стекол и бесформенных кусочков зеленых глин [Липкина, 1979]. Кремнистая и марганцевая минерализация распространена более локально и является наложенной на железо-кремнистую. В обоих случаях видно, как мелкие кусочки глинистого вещества цементируются железомарганцевыми гидроокислами или кремнеземом (см. рис. 2, рис. 4). Это указывает на диффузное поступление гидротермальных растворов в осадок и растекание их в осадочной толще. Причем выходы гидротерм различного состава разделены во времени и, часто, в пространстве. Глобулярная корка гидроокислов марганца, вероятнее всего, сформировалась из высокоминерализованных газо-гидротермальных растворов, поступающих на поверхность дна. На это указывают многочисленные центры кристаллизации, представленные шаровидными скоплениями колломорфной структуры, включение зерен интерметаллических соединений в марганцевую матрицу и обогащение отдельных участков фтором (см. рис. 3а, 3б). Часть растворенного марганца может переноситься в водной толще на большие расстояния и, постепенно окисляясь, образует твердые гидроксиды марганца. По-видимому, с выпав-

дением этих гидроксидов связано образование тонкой рудной корочки и выполнение мелких пор в кремнистых корках. Вероятно, это завершающая стадия рудообразования на возвышенности Первенца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что железомарганцевые и кремнистые корки на возвышенности Первенца образовались в результате поствулканической газо-гидротермальной деятельности. Значения геохимических модулей, титанового и алюминиевого, указывает на значительное содержание в рудных отложениях эксгалативной компоненты. Минеральная ассоциация с тодорокитом, бернесситом и селадонитом также характерна для гидротермальных корок.

Формирование гидротермальных отложений на возвышенности Первенца проходило в несколько этапов. Вначале в результате поступления гидротермальных растворов, обогащенных железом и кремнием, на обширной площади сформировался слой зеленого глинистого минерала – селадонита, содержащего включения сульфидов и оксидов железа. Учитывая, что содержание железа в них более 10%, эти отложения можно отнести к металлоносным. Марганцевая и кремнистая минерализации более поздние, чем железо-кремнистая. На это указывает цементация бесформенных кусочков селадонита аморфным кремнеземом или марганцевыми гидроокислами. В кремнистых корках стенки пор часто выстланы щетками мелких прозрачных кристаллов кварца. Поверхность железомарганцевых корок часто покрыта почковидным слоем марганца. Этот почковидный слой, также как и цемент, образован тодорокитом и бернесситом. Это указывает на то, что часть гидротермальных растворов, просачиваясь через осадки и цемен-

тируя его, поступают на поверхность морского дна, где отлагаются в виде почковидных корок тодорокита.

В настоящее время на возвышенности Первенца выявлены лишь низкотемпературные гидротермальные образования. Учитывая, что марганцевые корки обогащены никелем до 0,24%, а отдельные участки железистых силикатов Со до 0,22%, а также наличие в них включений сульфидов, можно надеяться на обнаружение на более низких горизонтах сульфидных отложений, аналогичных выявленным с помощью подводных аппаратов в кальдерах вулканов в западной части Тихого океана.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории рентгеновских методов ДВГИ ДВО РАН А.А. Карабцову и Г.Б. Молчановой за помощь в проведении аналитических исследований.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по госбюджетной теме “Палеоокеанология окраинных морей Востока России и примыкающих районов Тихого океана, особенности и этапность кайнозойского осадконакопления, магматизма и рудогенеза” (№ АААА-А17-117030110033-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аникеева Л.И., Казакова В.Е., Гавриленко Г.М., Рашидов В.А. Железомарганцевые корковые образования западно-тихоокеанской переходной зоны // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2008. Вып. 11. № 1. С. 10–31. http://www.kscnet.ru/kraesc/2008/2008_11/2008_11.html

Астахова Н.В. Формы нахождения и особенности распределения благородных и цветных металлов в железомарганцевых корках Японского моря // Океанология. 2013. Т. 53. № 6. С. 769–785.

Астахова Н.В., Введенская И.А. Химический состав и генезис железомарганцевых образований подводных вулканов и возвышенностей Японского моря // Вулканология и сейсмология. 2003. № 6. С. 36–43.

Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т. Рудная минерализация в вулканических породах подводных возвышенностей Японского моря // Геохимия. 2014. № 2. С. 158–177.

Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л. и др. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.

Бетехтин А.Г. Минералогия. М.: Госгеоллиздат, 1950. 956 с.

Булах А.Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. М.: Недра, 1967. 143 с.

Бутузова Г.Ю. Гидротермально-осадочное рудообразование в рифтовой зоне Красного моря. М.: ГЕОС, 1998. 312 с.

Гайоты Западной Пацифики и их рудоносность / Ред. И.Н. Говоров, Г.Н. Батулин. М.: Наука, 1995. 368 с.

Липкина М.И. Глауконит подводных вулканов Японского моря // Новые данные по геологии дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 98–108.

Липкина М.И., Дриц В.А., Ципурский С.И. и др. Высокожелезистые диактаэдрические слоистые силикаты из гидротермальных пород и осадков вулканических построек Японского моря // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1987. № 10. С. 92–111.

Пушин И.К., Аннин В.К., Берсенева Ю.И. и др. Новые данные о геологическом строении дна северо-западной части Японского моря (по материалам 21-го рейса НИС “Первенец”) // Геологические исследования в окраинных морях северо-западной части Тихого океана. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 3–13.

Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандиминова Е.И., Белоусов В.И. Рудные минералы в структуре гидротермально-магматических систем: состав, распределение, условия формирования // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма // Материалы международного полевого Курило-Камчатского семинара, 16 июля–6 августа 2005 г. Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 363–379.

http://kcs.dvo.ru/ivs/publication/kuril_kam2005/index.html

Съедин В.Т., Лобанов В.Б., Коптев А.А. и др. Результаты геологических исследований в 58-ом рейсе НИС “Академик М.А. Лаврентьев” (Центральная котловина, Японское море) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 3. С. 99–104.

Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm Contrib. Geol. 1973. V. 27. № 2. P. 148–243.

Sun Z., Zhou H., Glasby G.P. et al. Formation of Fe-Mn-Si oxide and nontronite in hydrothermal fields on the Valu Fa Ridge, Lau Basin // J. of Asian Earth Sciences. 2012. V. 43. P. 64–76.

HYDROTHERMAL FORMATIONS OF PERVENETS RISE (THE SEA OF JAPAN)

N. V. Astakhova*, E. A. Lopatnikov, A. V. Mozherovsky, E. I. Jaroshhuk

*P'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
Baltiiskaya str. 43, Vladivostok, 690041 Russia*

**e-mail: n_astakhova@poi.dvo.ru*

Received March 02, 2018

The data are given on the structure, chemical composition, and content of microelements in the ferromanganese and siliceous crusts of Pervenets Rise (the Sea of Japan). The crusts resulted from the cementation of small fragments of green clays (celadonite) with hydroxides of manganese (todorokite and birnessite) or silica. Initial was the formation of celadonite deposited during the eruption of ore-bearing hydrothermal solutions in the volcano caldera or on its slopes. The features of the crust structure show that they were originated through the diffusive infiltration of gas-hydrothermal solutions along the fractures or weakened zones in volcanic rocks and subsequent cementation of the celadonite already formed occurrences with manganese or siliceous oxides. The manganese and siliceous mineralization is separated in time and often in space and demonstrate more local distribution.

Key words: ferromanganese crusts, siliceous crusts, celadonite, the Sea of Japan.