

УДК 553.2(265.54)

ЗЕРНА ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ ПОДВОДНЫХ ВОЗВЫШЕННОСТЕЙ ЯПОНСКОГО МОРЯ

© 2018 г. О. Н. Колесник, Н. В. Астахова

Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, Россия

e-mails: zeya1985.2008@mail.ru, nvast@mail.ru

Поступила в редакцию 19.05.2016 г., после доработки 19.09.2016 г.

Показано, что железомарганцевые образования и магматические породы подводных возвышенностей Японского моря содержат практически идентичные по морфологии, локализации, химическому составу наложенные минеральные фазы (зерна), основная часть которых по комплексу цветных, благородных (Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Mo, Ag, Pd, Pt) и некоторых других металлов соответствует оксидам, интерметаллическим соединениям, самородным элементам, сульфидам, сульфатам. Главный вывод о том, что источником металлов являются поствулканические гидротермальные флюиды, построен на сопоставлении результатов электронно-микронного анализа железомарганцевых образований и магматических пород, драгированных на одних и тех же подводных возвышенностях Японского моря.

DOI: 10.7868/S0030157418010082

ВВЕДЕНИЕ

При неуклонном истощении запасов полезных ископаемых суши океанские конкреции и корки (железомарганцевые образования, ЖМО), содержащие значительное количество кобальта, меди, никеля, марганца и других ценных компонентов, рассматриваются как новый весьма перспективный тип рудного минерального сырья. Несмотря на повышенный интерес, некоторые вопросы, касающиеся их минералогии, геохимии и генезиса, включая вопрос об источнике металлов, остаются дискуссионными. Получение любой достоверной информации является крайне актуальным.

Настоящее исследование направлено на подтверждение ранее высказанного для ЖМО Японского моря предположения о поствулканическом гидротермальном источнике цветных и благородных металлов. При электронно-микронном изучении ряда образцов были выявлены многочисленные включения зерен цветных и благородных металлов в виде самородных элементов, сульфидов, сульфатов, оксидов, интерметаллических соединений и сделан вывод о вероятном поступлении металлов в результате поствулканических гидротермальных процессов [2, 3]. Позже согласно той же методике было проведено исследование магматических пород, слагающих в Японском море подводные возвышенности с развитой железомарганцевой минерализацией,

и также обнаружены зерна цветных и благородных металлов [6]. Если заключение об источнике металлов верно, то влияние поствулканических гидротермальных процессов должно было проявиться в сходстве наложенной цветно- и благороднометальной минерализации изученных образцов ЖМО и магматических пород. Последнее можно проверить путем сравнительного анализа имеющихся данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными для исследования (сравнительного анализа) послужили опубликованные материалы авторов по электронно-микронной съемке образцов ЖМО и магматических пород Японского моря из коллекции отдела геологии и геофизики ТОИ ДВО РАН [2, 3, 6]. Изученные образцы драгированы со склонов подводных возвышенностей Галагана (станции 1225, 1226), Беляевского (станции 2068, 2069, 2207), Медведа (станции 1343, 1344, 1470, 1471) и безымянной постройки на северо-восточном окончании хребта Южное Ямато (ст. 7783) в пределах двух из трех глубоководных котловин Японского моря — Японской (Центральной) и Ямато (Хонсю) [22] (рис. 1).

ЖМО представлены преимущественно корками мощностью до 20 см, распространенными в привершинных частях и на склонах подводных возвышенностей на глубинах 1000–2500 м

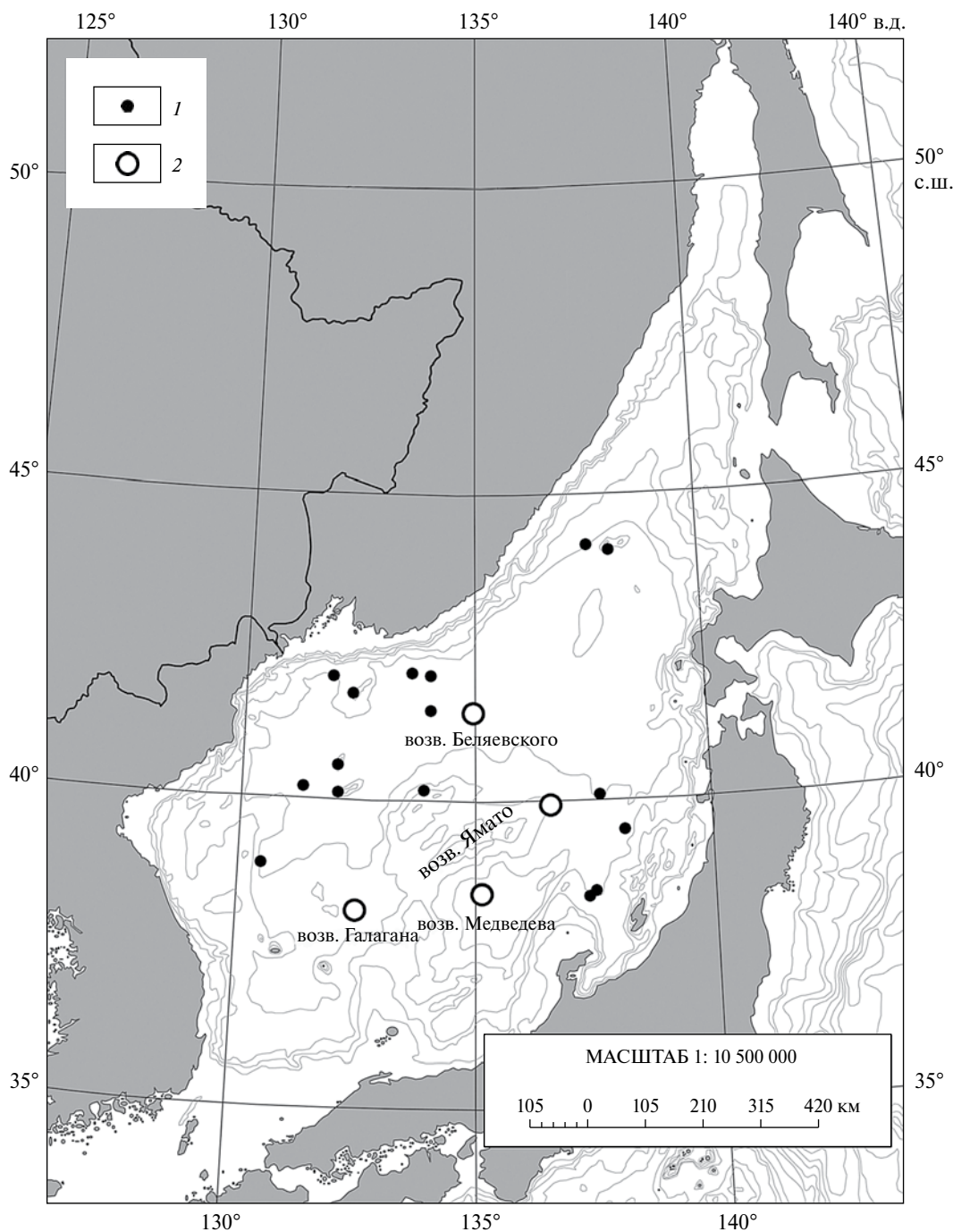


Рис. 1. Карта-схема распространения железомарганцевых образований в Японском море с указанием подводных возвышенностей, на которых драгировался фактический материал [22]. Картографическая основа составлена по данным Генеральной батиметрической карты океанов (ГЕБКО_08). 1 – станции драгирования железомарганцевых образований; 2 – станции драгирования, на которых подняты и изучены железомарганцевые образования и магматические породы (фактический материал).

(рис. 1). Строение корок сложное. Основные рудные минералы – бернессит и тодорокит, реже встречаются вернадит, пиролюзит [10, 14, 28, 29, 31, 41]. Недавно описана находка массивного пиролюзита в Центральной котловине [9]. Особенности химического состава изученных нами образцов (валового, локального) рассмотрены

в публикациях [2, 3]. Корки Японского моря в основном марганцевые, железо играет в их составе второстепенную роль (Mn – 16–63 мас.%, Fe – 1–8 масс.%). Содержание микроэлементов в целом низкое – в пределах десятых долей процента. На микроуровне отчетливо выделяются участки различного химического состава,

Минеральные формы выделения цветных, благородных и некоторых других металлов в железомарганцевых образованиях (ЖМО) и магматических породах (МП) подводных возвышенностей Японского моря

Форма выделения	Возвышенность Галагана		Возвышенность Беляевского		Возвышенность Медведова		Безымянная постройка на хребте Южное Ямато	
	ЖМО	МП	ЖМО	МП	ЖМО	МП	ЖМО	МП
самородная	Cu, Ni, Ti, Fe, Ag	Zn, Ni, Cr, Ag, Fe	Ag, Fe	Ag, Fe	Cu, Zn, Sn, Ag, Fe	Cu, Ti, Pb, Ag, Fe	Cu, Ag, Fe	Fe
интерметаллид	Cu-Zn, Fe-Cr-Ni, Cu-Sn, Cu-Zn-Ni, Cu-Zn-Pb, Cu-Zn-Sn, Ni-Cu, Sn-Pb, Pt-Pd, Ni-Cr, Fe-Cr, Fe-Ni-Cu, Fe-W-Cr	Cu-Zn, Cu-Sn, Ni-Cu, Sn-Pb	Cu-Zn, Cu-Sn, W-Ti-Co, Fe-Cr	Cu-Zn, Cu-Sn	Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Zn-Ni, Fe-Ni, Fe-Cr	Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Sn-Pb, Pb-Cu-Sn, Fe-Mn-Cr	Cu-Zn, Cu-Sn, Fe-Cr-Ni, W-Fe-Co	Fe-Cr-Ni, Cu-Zn-Pb
сульфид, сульфат	Pb, Fe, Cu-Fe-Sn, Cu-Fe, Fe-As, Zn, Ag	Pb, Fe, Cu-Fe	Zn, Cu-Fe, Fe-Ni, Ag, Fe	Zn, Cu, Cu-Fe, Fe-As, Ag, Fe	Zn, Pb, Cu-Fe, Zn-Fe, Ag, Fe	Pb, Cu-Fe, Ag, Fe	Pb, Cu-Fe, Ag, Fe	Cu-Fe, Fe-Cu-Ni, Fe
оксид	Cu, Fe, Fe-Ti, Sn, Pb, Ag, Bi, Zn-Al, Pb-Fe, Pd	Pb, Ti, Ag, Fe, Fe-Ti	Sn, Ag, Fe	Sn, Zn, Pb, Ti, Ag, Fe, Fe-Ti	Sn, Cr, Sn-Pb, Fe-Zn, Ti, Ag, Fe, Fe-Ti	Pb, Zn, Sn, Ti, Ag, Fe	Pb, Sn, Cr, Ag, Fe, Fe-Ti	Pb, Zn, Ti, Ag, Fe, Fe-Ti
фосфид	Ni	Fe-Cr	-	Ni, Fe-Ni	Ni	Fe-Ni	-	-
вольфрамат	Mn-Fe, Ca	-	-	Ca	Mn	Ca	Mn-Fe	-
оксихлорид (?)	-	-	Ag	Pb	-	-	-	-
силицид (?)	-	-	-	Fe	-	-	Fe-Ti-Cr	-
молибдат	Mn-Fe	-	-	-	-	-	-	-
арсенид	Fe	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Прочерк – не обнаружено.

в частности марганцевые, кремнистые, марганцево-кремнистые, железомарганцевые и железокремнистые с примесью натрия, магния, калия, кальция, алюминия, бария, хлора, фтора, серы. Обнаружены микроучастки с органическим веществом, напоминающим бактериальные маты. Характер распространения, минеральный и химический состав корок указывают на их гидротермальную и/или гидротермально-осадочную природу [2–5, 8, 10, 11, 28, 29, 36, 41 и др.].

Среди слагающих подводные возвышенности магматических пород резко преобладают базальты среднемиоцен-плиоценового возраста; образцы, как правило, представляют собой фрагменты шаровой отдельности секториальной формы со стекловатой коркой закаливания и большим количеством пор [12, 24, 25, 35, 37 и др.]. Наиболее распространены порфиоровые разности. По составу минералов-вкрапленников выделяются оливин-плаггиоклазовые базальты (не менее 90% поднятых базальтов), плаггиоклазовые ферробазальты и оливин-клинопироксен-плаггиоклазовые базальты [37, 38]. Петролого-геохимическая характеристика пород, в том числе изученных образцов, приведена в статье [6]. Тектурно-структурные особенности базальтов, специфика их минерального и химического состав указывают на формирование в подводных условиях из единой магмы повышенной щелочности, обогащенной флюидами, первичный состав которой, вероятно, отвечал составу оливин-плаггиоклазовых базальтов [12, 38]. Все изученные образцы содержат в себе следы вторичных изменений: поры заполнены минералами, образовавшимися, очевидно, в окислительных условиях в результате прогресса или наложенного низкотемпературного гидротермального процесса [6, 30].

Аналитические работы выполнены в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН на приборе JEOL JXA-8100, оснащенный системой энергодисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy, согласно описанной ранее методике [2, 3, 6]. В итоге в ЖМО и магматических породах изучены различные минеральные фазы, в том числе цветных и благородных металлов: получены сведения об их размере, морфологии, характере локализации, химическом составе (16 шлифов, около 1500 анализов). Соответствие конкретной минеральной фазе (классам химических соединений) проверялось сопоставлением химического состава проанализированного зерна с “эталонным” (из справочной литературы). Сравнительный анализ наложенной цветно- и благороднометалльной минерализации ЖМО и магматических пород проводился отдельно по каждой возвышенности.

ОСОБЕННОСТИ НАЛОЖЕННОЙ ЦВЕТНО- И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Возвышенность Галагана. Железомарганцевая корка (образец 1225 с верхним марганцевым и нижним ожелезненным слоями, самый мощный из изученных) и магматические породы (базальты 1225-1 и 1226, габбро 1226-1) характеризуются в целом сходным комплексом минеральных фаз цветных, благородных (корка – Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, W, Mo, Bi, Ag, Pd, Pt; магматические породы – Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Ag) и некоторых других металлов (рис. 2а–2в, таблица). И в корке, и в магматических породах металлы присутствуют главным образом в виде мелких (1–5 мкм) зерен изометричной плохо окристаллизованной формы. В корке зерна локализируются в матрице различного состава, трещинах, между слоями в почковидных выделениях оксидов марганца (здесь и далее для марганца, а также железа допускаются гидроксидная и оксигидроксидная формы выделения), иногда в крупных зернах таких минералов, как, например, клинопироксены, источником которых являются подстилающие корку магматические породы. В магматических породах зерна цветных и благородных металлов встречаются вдоль стенок микротрещин и пор, выполняют микропустоты, межзерновые пространства в основной массе и в пороодообразующих минералах.

Наиболее обогащенной зернами цветных и благородных металлов является корка, особенно ее верхняя часть. По разрезу прослежены следующие изменения: в верхней марганцевой части цветные металлы обычно находятся в форме интерметаллидов, самородных элементов или оксидов, в нижней ожелезненной – сульфидов и сульфатов. В магматических породах больше всего зерен металлов, в том числе цветных, встречено в базальте 1226. В породах базальта 1225-1 идентифицированы выделения оксидов марганца. Основная минеральная форма выделения цветных металлов в магматических породах – интерметаллидная.

Благородные металлы (выявлены зерна Ag, Pd, Pt) распространены не так широко, как цветные. Только серебро встречается повсеместно – и в корке, и в магматических породах (таблица). Его минеральные формы выделения: самородная, оксидная, сульфатная (последнее исключительно для нижней части корки). Присутствие платиноидов зафиксировано только в верхней марганцевой части корки (рис. 2а).

Возвышенность Беляевского. В железомарганцевой корке со ст. 2069 и в базальтах (образцы 2068,

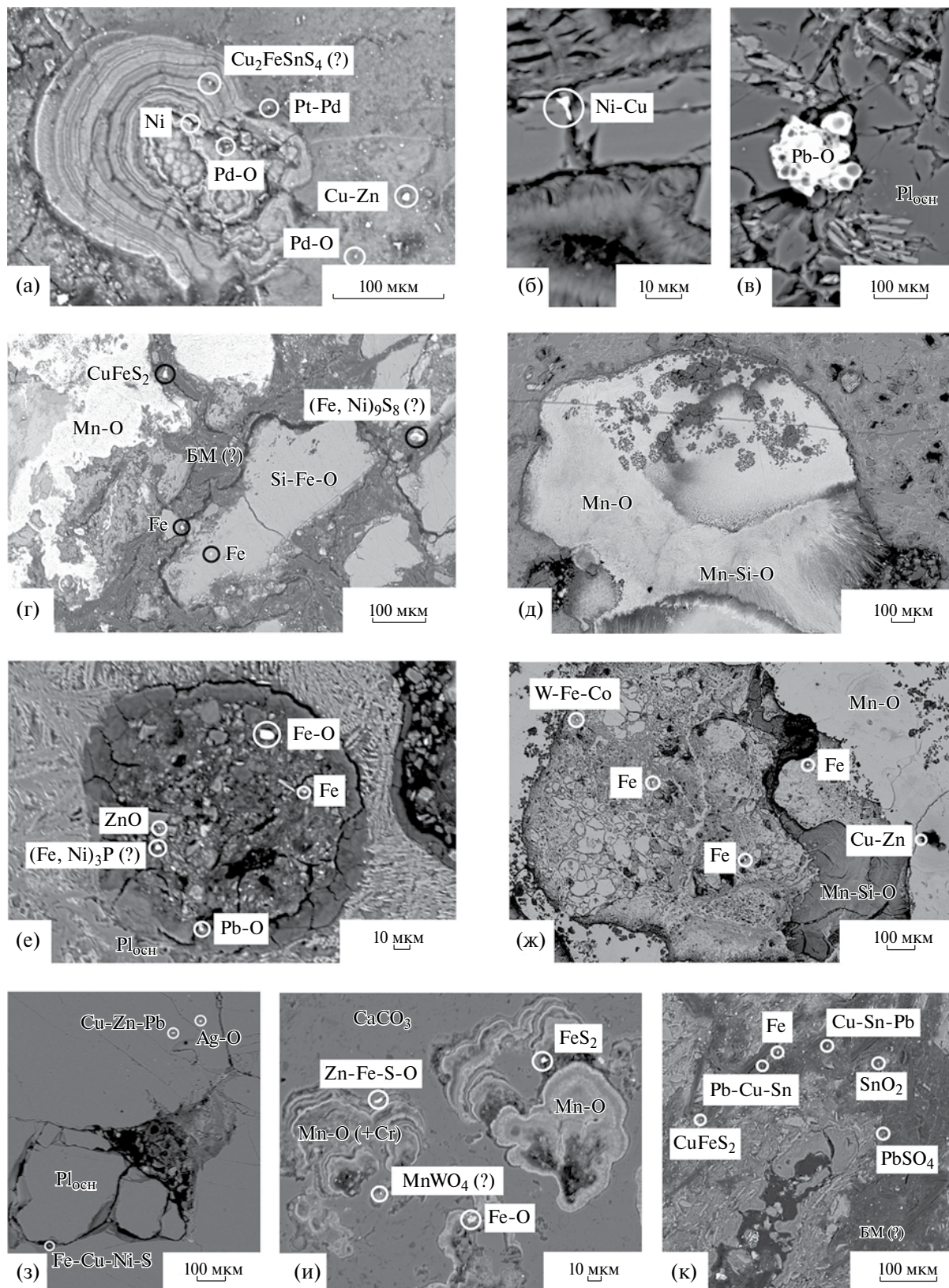


Рис. 2. Микростроение и особенности наложенной рудной минерализации железомарганцевых образований (а, г, ж, и) и магматических пород (б, в, д, е, з, к) возвышенностей Галагана (а–в), Беляевского (г–е), Медведова (и, к) и безымянной постройки на северо-восточном окончании хребта Южное Ямато (ж, з) в Японском море. Pl_{осн} – плагиоклаз основной, BM (?) – предположительно бактериальные маты.

2068-1-Б, 2207-2) содержатся очень близкие комплексы цветных, благородных (корка – Cu, Zn, Sn, Ni, W, Ag; базальты – Cu, Zn, Sn, Ni, Pb, W, Ag) и некоторых других металлов. Минеральные формы выделения металлов также схожи: общие – оксидная, интерметаллидная, самородная, сульфидная, сульфатная, предположительно оксихлоридная, только в базальтах – вольфраматная и, по-видимому, фосфидная и силицидная (таблица). Что касается морфологии выделений, то в основном это мелкие (1–5 мкм) округлые зерна (рис. 2г, 2е). В корке они приурочены главным образом к границам участков разного химического состава, трещинам, межслоевым пространствам в почковидных выделениях оксидов марганца, в базальтах – к выполненным глинистым веществом порам и мелким трещинам.

Больше всего зерен цветных и благородных металлов найдено в железомарганцевой корке и базальте 2207-2. В пустотах последнего идентифицированы выделения оксидов марганца: иногда хорошо видна зональность рудоотложения, отражающая изменение состава рудообразующего раствора во времени (рис. 2д).

Возвышенность Медведева. ЖМО (образцы со станций 1344, 1471) и магматические породы (трахиандезит 1343-2-1, базальт 1344-5-1, сиенит 1470-3) содержат идентичные ассоциации цветных, благородных (Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, W, Ag) и некоторых других металлов. Минеральные формы выделения металлов также совпадают: оксидная, самородная, интерметаллидная, сульфидная, сульфатная, фосфидная, вольфраматная (таблица). Выделения цветных и благородных металлов отличаются сходной морфологией, обычно это изометричные микроразмерные зерна (рис. 2и, 2к). В ЖМО зерна металлов встречаются на участках разного химического состава, в зонах контакта этих участков, трещинах, межслоевых пространствах марганцевых почек; в магматических породах – главным образом в трещинах и порах, выполненных глинистыми минералами.

Частота встречаемости зерен существенно варьируется. Наибольшее количество зерен цветных и благородных металлов обнаружено в ЖМО и базальте 1344-5-1. В остальных образцах магматических пород их значительно меньше.

Безымянная постройка на северо-восточном окончании хребта Южное Ямато. В ЖМО 7783 и базальте 7783-1-1 содержатся практически одинаковые ассоциации цветных, благородных (ЖМО – Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, W, Ag; базальт – Cu, Zn, Pb, Ni, Ag) и некоторых других металлов с аналогичными минеральными формами выделения, среди которых доминирует оксидная (таблица). В ЖМО зерна цветных и благородных металлов встречаются чаще, химический состав этих зерен самый разнообразный.

Морфология выделений металлов во всех изученных образцах однотипна. Как правило, это мелкие округлые зерна до нескольких микрометров в диаметре (рис. 2ж, 2з). В ЖМО такие зерна локализируются на участках различного состава, в зонах контакта таких участков, трещинах; в базальте – вдоль стенок трещин и пор, в пустотах, межзерновых пространствах в основной массе породы и во вкрапленниках пороодообразующих минералов.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ НАЛОЖЕННОЙ ЦВЕТНО- И БЛАГОРОДНОМЕТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ И МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОДАХ

Минеральные ассоциации. В результате электронно-микронного изучения и сравнительного анализа полученных данных установлено, что ЖМО и магматические породы подводных возвышенностей Японского моря характеризуются очень близкими парагенезисами минералов цветных, благородных и некоторых других металлов (таблица). В магматических породах зафиксированы медь, цинк, олово, свинец, никель, вольфрам, серебро в виде оксидов, интерметаллидов и самородных элементов, иногда сульфидов, сульфатов и вольфраматов, в редких случаях фосфидов и предположительно оксихлоридов. В ЖМО, кроме перечисленных металлов и их минеральных форм выделения, идентифицированы молибден, висмут, палладий, платина и соответственно молибдаты. Следует отметить, что даже если в пределах одной возвышенности какой-либо из цветных металлов встречается только в ЖМО, или магматических породах, есть другие возвышенности, породы или руды которых содержат данный металл. Последнее не касается молибдена, висмута, а также палладия и платины. Возможно, это следствие локальности анализа и/или рассеянного характера наложенной минерализации. Для более уверенных выводов необходимы дополнительные исследования.

По температуре образования среди минеральных фаз цветных и благородных металлов, выявленных в ЖМО и магматических породах, условно выделены высокотемпературные (многие самородные металлы, интерметаллиды, фосфиды; 300–400 °С и более) и среднетемпературные (в основном оксиды, сульфиды и сульфаты; 200–300 °С при вероятном увеличении интервала со стороны нижней границы). Кроме того, обнаружены наложенные минеральные фазы (преимущественно железистые алюмосиликаты, а также оксиды железа и марганца в порах базальтов), кристаллизующиеся при температуре не выше 100 °С [30].

Морфология, локализация. Минеральные выделения цветных, благородных и некоторых других металлов в ЖМО и магматических породах подводных возвышенностей Японского моря характеризуются сходной морфологией. Как правило, это зерна изометричной плохо окристаллизованной формы размером не более 1–5 мкм. Локализация также практически аналогична: в ЖМО зерна металлов чаще встречаются в матрице различного состава и между слоями в почках оксидов марганца, в магматических породах – в микротрещинах и порах, выполненных глинистым веществом. Примечательно, что отдельные поры базальтов заполнены оксидами марганца, химический состав которых соответствует составу марганцевой матрицы ЖМО (рис. 2д). В магматических породах при локализации минеральных фаз (зерен) высоко-, средне- и низкотемпературной ассоциаций в одной полости видно, что низкотемпературные минералы сформировались раньше остальных [6].

Источники металлов. В результате сопоставления данных электронно-микросондовой съемки установлено, что в ЖМО и магматических породах подводных возвышенностей Японского моря содержатся практически идентичные комплексы минеральных фаз цветных, благородных и некоторых других металлов. Многие из этих фаз, в том числе самородные и интерметаллидные, обнаружены при электронно-микросондовом анализе осадков Восточно-Тихоокеанского поднятия, железомарганцевых корок гайотов центральной части Тихого океана, океанического склона Курильской дуги и Охотского моря, возгонов и пеплов вулканов Курило-Камчатского региона [1, 2, 7, 13, 15, 20, 21, 32–34, 39 и др.]. Зерна цветных и благородных металлов, аналогичные выявленным нами, идентифицированы в трапповых интрузивах Сибирской платформы, в образцах продуктивных горизонтов газовых и нефтяных месторождений [17, 27 и др.]. В качестве источника самородных металлов и интерметаллических соединений исследователи, как правило, рассматривают высокотемпературный, отделившийся от базальтового расплава газовый флюид. Некоторые говорят о более глубоких корнях флюида и его связи с суперплюмами на границе ядро – мантия. В нашем случае, с учетом строения и истории развития дна Японского моря [12, 16, 18, 19, 23–26, 35, 37, 38, 40, 42 и др.], для ЖМО и магматических пород целесообразно предполагать общий поствулканический гидротермальный источник поставки большей части металлов. Самородные металлы, интерметаллические и некоторые другие соединения, скорее всего, привнесены высокотемпературным флюидом, отделившимся от базальтового расплава. Не исключено, что часть металлов поступила с газовым потоком в твердой фазе. Наиболее вероятный источник оксидов,

сульфидов, сульфатов цветных и благородных металлов – относительно низкотемпературные гидротермальные растворы. Очевидно, вулканизм, имевший на подводных возвышенностях Японского моря длительный (со среднего миоцена) пульсирующий характер, предопределил масштабность и долговременность поствулканических процессов. Рудоносные гидротермальные растворы пронизали все слагающие возвышенности породы, но максимально ярко их действие проявилось в наиболее проницаемой прижерловой части морфоструктур.

ВЫВОДЫ

Сравнительный анализ наложенной цветно- и благороднометалльной минерализации ЖМО и магматических пород подводных возвышенностей Японского моря позволил сделать ряд важных выводов.

1. В ЖМО и магматических породах содержатся однотипные комплексы цветных, благородных и некоторых других металлов. Повсеместно распространены медь, цинк, олово, никель и серебро в виде самостоятельных минеральных фаз или примеси в других минералах. Во многих образцах обнаружены минералы свинца и вольфрама. Минеральные фазы молибдена, висмута, платины и палладия встречены только в ЖМО отдельных подводных возвышенностей.

В ЖМО наложенная цветно- и благороднометалльная минерализация проявлена ярче, чем в магматических породах.

2. По температуре образования в ЖМО и магматических породах условно выделены две различные ассоциации наложенных минеральных фаз цветных и благородных металлов: высокотемпературная (интерметаллиды, самородные металлы, фосфиды) и среднетемпературная (оксиды, сульфиды, сульфаты). Выделена и низкотемпературная ассоциация, основу которой составляют железистые алюмосиликаты и оксиды железа и марганца в порах базальтов.

3. Особенности состава, локализации и морфологии минеральных выделений металлов в ЖМО и магматических породах свидетельствуют о формировании наложенной цветно- и благороднометалльной минерализации в результате поствулканических гидротермальных процессов. Скорее всего, гидротермами использовались единые пути транспортировки металлов. На это указывают факты нахождения в одних полостях и порах высоко-, средне- и низкотемпературных минеральных фаз.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-35-00364 мол_a и ДВО РАН № 15-I-1-006_o.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арсамаков Х.И., Кругляков В.В., Марукишин А.И.* Самородные металлы и интерметаллические соединения в пелагических осадках Тихого океана // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 4. С. 122–126.
2. *Астахова Н.В.* Благородные, редкоземельные и цветные металлы в железомарганцевых корках Японского моря // Докл. РАН. 2008. Т. 422. № 4. С. 522–527.
3. *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.
4. *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.
5. *Астахова Н.В., Колесник О.Н.* Акцессорные металлы в железо-марганцевых корках хребта Галагана (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 6. С. 97–109.
6. *Астахова Н.В., Колесник О.Н., Съедин В.Т.* Рудная минерализация в вулканических породах подводных возвышенностей Японского моря // Геохимия. 2014. № 2. С. 158–177.
7. *Астахова Н.В., Леликов Е.П.* Особенности железомарганцевого рудообразования на подводном хребте Витязя // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 5. С. 676–686.
8. *Астахова Н.В., Саттарова В.В.* Формы выделения и особенности распространения редкоземельных элементов в железомарганцевых корках Японского моря // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 7. С. 851–860.
9. *Астахова Н.В., Съедин В.Т., Можеровский А.В., Лопатников Е.А.* Первая находка массивного пирролизита в глубоководной котловине Японского моря // Докл. РАН. 2015. Т. 462. № 1. С. 68–72.
10. *Батурич Г.Н.* Геохимия гидротермальных железомарганцевых корок Японского моря // Докл. РАН. 2012. Т. 445. № 2. С. 179–184.
11. *Батурич Г.Н.* Геохимия железомарганцевых образований дна Японского моря // Океанология. 1990. Т. 30. № 2. С. 278–287.
12. *Геология дна Японского моря / Берсенев И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л. и др.* Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
13. *Главатских С.Ф.* Металлообразования в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 193–214.
14. *Горшков А.И., Березовская В.В., Батурич Г.Н., Сивцов А.В.* Природа железомарганцевых корок с подводных гор Японского моря // Океанология. 1992. Т. 32. № 3. С. 542–549.
15. *Давыдов М.П., Сударинов С.М., Колосов О.В.* Самородные металлы и интерметаллические соединения в осадках и взвешах гидротермально-активных сегментов Восточно-Тихоокеанского поднятия // Литология и полезные ископаемые. 1998. № 1. С. 17–29.
16. *Дальневосточные моря России. Кн. 3. Геологические и геофизические исследования / Отв. ред. Кулинич Р.Г.* М.: Наука, 2007. 503 с.
17. *Зотов И.А., Олейников Б.В., Округин А.В., Курдюков Е.Б.* Оценка физико-химических условий появления и устойчивости самородных металлов в магматических образованиях // Докл. АН СССР. 1980. Т. 255. № 5. С. 94–98.
18. *Карнаух В.Н., Карп Б.Я.* Тектоника Японской котловины по результатам сейсмических исследований (Японское море) // Тихоокеанская геология. 1997. Т. 16. № 5. С. 10–24.
19. *Карп Б.Я.* Строение земной коры дна Японского моря по сейсмическим данным // Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГЕОС, 2002. С. 352–354.
20. *Карпов Г.А., Мохов А.В.* Акцессорные самородные рудные минералы эруптивных пеплов андезитовых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2004. № 4. С. 41–49.
21. *Карпов Г.А., Мохов А.В.* Микрочастицы самородных металлов, сульфидов и оксидов в андезитовых пеплах Карымского вулкана // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 19–35.
22. *Каталог станций драгирования дна Японского моря / Отв. ред. Леликов Е.П.* Владивосток: ГОИ ДВО РАН, 1993. 43 с.
23. *Кулинич Р.Г., Валитов М.Г.* Мощность и типы земной коры Японского моря по данным морской и спутниковой гравиметрии // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 6. С. 3–13.
24. *Леликов Е.П., Емельянова Т.А.* Вулканогенные комплексы Охотского и Японского морей (сравнительный анализ) // Океанология. 2007. Т. 47. № 2. С. 294–303.
25. *Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Съедин В.Т. и др.* Новые данные по радиоизотопному датированию вулканитов Японского и Охотского морей // Тихоокеанская геология. 2001. № 5. С. 118–122.
26. *Леликов Е.П., Карп Б.Я.* Глубинное строение и рифтогенез в Японском море // Литосфера. 2004. № 2. С. 16–29.
27. *Лукин А.Е.* Самородно-металлические микро- и нановключения в формациях нефтегазоносных

- бассейнов – трассеры суперглубинных флюидов // Геологический журнал. 2009. Т. 31. № 2. С. 61–92.
28. Михайлик П. Е. Состав, строение и условия формирования железомарганцевых корок Японского и Охотского морей. Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ДВГИ ДВО РАН, 2009. 114 с.
 29. Михайлик П. Е., Михайлик Е. В., Зарубина Н. В. и др. Вещественный состав и распределение РЗЭ в железомарганцевых корках подводных возвышенностей Беляевского и Медведева (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. № 5. С. 3–16.
 30. Можеровский А. В. Низкотемпературные изменения магматических пород дна Японского моря // Тихоокеанская геология. 1986. № 3. С. 58–63.
 31. Можеровский А. В., Грамм-Осипов Л. М., Волкова Т. И., Можеровская Л. В. Минералогические особенности железо-марганцевых образований Японского моря // Новые данные по геологии западной части Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. С. 135–139.
 32. Рудашевский Н. С., Крецер Ю. Л., Анисеева Л. И. и др. Минералы платины в железомарганцевых океанических корках // Докл. РАН. 2001. Т. 378. № 2. С. 246–249.
 33. Рычагов С. Н., Белоусов В. И., Главатских С. Ф. и др. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: характеристика глубокого геологического разреза и модель современного минералообразования в ее недрах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 4. С. 3–21.
 34. 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: ОТГИСК, 2005. С. 363–379.
 35. Свининников А. И., Съедин В. Т. Физические свойства пород кайнозойских вулканогенных комплексов Японского моря // Тихоокеанская геология. 1984. № 3. С. 7–15.
 36. Скорнякова Н. С., Батулин Г. Н., Гурвич Е. Г. и др. Железомарганцевые корки и конкреции Японского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293. № 2. С. 430–434.
 37. Съедин В. Т. Особенности кайнозойского базальтоидного магматизма и вопросы происхождения Японского моря // Тихоокеанская геология. 1989. № 2. С. 30–38.
 38. Съедин В. Т. Формационно-геохимические типы кайнозойских базальтоидов Японского моря // Докл. АН СССР. 1987. Т. 296. № 6. С. 1441–1446.
 39. Торохов М. П., Мельников М. Е. Акцессорные минералы в гидrogenных железо-марганцевых корках Тихого океана – россыпной механизм накопления // Докл. РАН. 2005. Т. 405. № 4. С. 511–513.
 40. Филатова Н. И. Закономерности динамики окраинноморского магматизма Корейско-Японский регион // Литосфера. 2004. № 3. С. 33–56.
 41. Штеренберг Л. Е., Александрова В. А., Габлина И. Ф. и др. Состав и строение марганцевых корок Японского моря // Тихоокеанская геология. 1986. № 1. С. 125–128.
 42. Geology and geophysics of the Japan Sea / Eds. Isezaky N., Bersenev I. I., Tamaki K. Tokyo: Terrapub, 1996. 478 p.

Grains of Nonferrous and Noble Metals in Ferromanganese Deposits and Igneous Rocks from Submarine Elevations of the Sea of Japan

O. N. Kolesnik, N. V. Astakhova

It was shown that ferromanganese deposits (FMDs) and igneous rocks from submarine elevations of the Sea of Japan contain secondary mineral phases almost identical in morphology, localization, and chemical composition. The majority of the phases correspond in complex of nonferrous, noble (Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Mo, Ag, Pd, Pt), and some other metals to oxides, intermetallic compounds, native elements, sulfides, and sulfates. The main conclusion on post-volcanic hydrothermal fluids as a source of metals is based on a comparison of FMDs and igneous rocks dredged from the same submarine elevations of the Sea of Japan and investigated by means of electron probe microanalysis.