

УДК 553.2 (265.54)

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЖЕЛЕЗОМАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ: ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ

© 2017 г. Н.В. Астахова

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

e-mail: n_astakhova@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 15.07.2015 г.

На основании данных по содержанию благородных металлов (Au, Ag, Pt, Os, Ir и Ru) в валовых пробах железомарганцевых образований, наличие в них включений микро- и наноразмерных зерен Ag, Au, Pd и Pt часто с примесью других элементов, а также их хаотичного распределения, был сделан вывод о трех источниках поступления этих металлов в рудные корки дальневосточных морей: морская вода, поствулканические газо-гидротермальные флюиды и гидротермальные плюмы. Присутствие зерен платиноидов и золота в железомарганцевых образованиях лишь некоторых возвышенностей может быть связано с особенностью формирования вулканических пород на древнем континентальном фундаменте.

DOI: 10.7868/S0030157417040104

ВВЕДЕНИЕ

Постепенное истощение минеральных ресурсов суши стимулирует все более активное изучение сырьевого потенциала Мирового океана, в том числе железо-марганцевых образований (ЖМО), с целью их освоения уже в обозримом будущем. Кроме основных рудных элементов, марганца и железа, ЖМО в том или ином количестве содержит примесь цветных, редких и благородных металлов.

Если содержание цветных металлов в валовой пробе ЖМО обязательно приводится в каждой статье, то данные по содержанию благородных металлов встречаются значительно реже. Вопрос о генезисе благородных металлов в ЖМО Мирового океана окончательно не решен. Одни исследователи считают, что благородные и цветные металлы поступают в ЖМО в результате осаждения их из водной толщи благодаря сорбционным или микробиальным процессам [1, 2, 8, 17, 25 и др.]. Другие связывают поступление этих металлов с гидротермальными процессами или эманациями флюидов, сопровождающих формирование базальтов [20, 22 и др.].

В дальневосточных морях железомарганцевое оруденение имеет широкое распространение. Многочисленные рудные корки были подняты при драгировании склонов большинства подводных вулканических возвышенностей, поднимающихся над выровненной поверхностью

глубоководных котловин этих морей. Содержание Mn в них, особенно в Японском море, достигает 50–63%, что значительно выше, чем в океанических корках. Содержание цветных металлов незначительно, но в этих ЖМО обнаружены многочисленные включения зерен благородных и цветных металлов в виде самородных элементов, интерметаллических соединений, сульфидов, сульфатов, окислов, вольфраматов, молибдатов или фосфидов [4–6].

В данной работе мы сравним данные по содержанию благородных металлов (Au, Ag, Pt, Os, Ir и Ru) в валовых пробах ЖМО Охотского, Японского морей и хребта Витязя на океанском склоне Курильской островной дуги. На основании этих данных и результатов микронзондового анализа рассмотрим вопрос об источниках этих металлов в ЖМО дальневосточных морей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследований послужили образцы ЖМО как из коллекции отдела геологии и геофизики, отобранные в 70–80-х годах прошлого столетия, так и полученные в последнее десятилетие в морских экспедициях ТОИ ДВО РАН.

Химический состав ЖМО был определен в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Определения выполнялись из материала, высушенного при 105 °С. Для растворения проб была выбрана методика открытого кислотного

разложения ($\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$). Определение содержания элементов выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США).

Концентрация благородных металлов в ЖМО устанавливалась нейтронно-активационным методом с микропробирным концентрированием в 2005–2006 гг. в лаборатории химического анализа ГЕОХИ РАН. Погрешность при определении содержания Au и Ag составила 10, а Pt – 20 отн.%.

Для более детального исследования нами были изготовлены аншлифы железоманганцевых корок, которые изучались при помощи микронзондового анализатора JXL-8100 (JEOL, Япония) с тремя волновыми спектрометрами, доукомплектованными энергодисперсионным спектрометром INCAx – sight (OXFORD Instruments, Англия) в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Аншлифы изготавливались с использованием алмазных паст на органической основе, не содержащих примесей в количествах, достигающих предела обнаружения прибора (0.01 вес.%).

Микронзондовый анализ осуществляется при ускоряющем напряжении 20 кВ, угле отбора излучения 45° с использованием библиотеки эталонов пользователя. Количественный и полуколичественный анализ производился по процедуре PhyRoZ, являющейся стандартной программой энергодисперсионного анализатора Link ISIS, с пользовательским (невстроенным) набором эталонов. Погрешность анализа не превышает 2 отн.%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Охотское море

Нами были проанализированы ЖМО из 5 районов Охотского моря: банки Кашеварова, впадины Дерюгина, возвышенности Академии Наук, вулканов Вавилова и Обручева (рис. 1).

На банке Кашеварова были подняты небольшие угловатые обломки железоманганцевых корок толщиной до 2 см. Цвет всех корок черный, матовый, блеск жирный. Верхняя поверхность неровная, мелкобугорчатая. Одни корки образованы сросшимися микроконкрециями диаметром до 1 мм. Это связано с цементацией железоманганцевыми гидроокислами песчанистого осадка. Другие – однородные, с неясно выраженной слоистостью. Но наиболее распространены в этом районе корки, имеющие верхний, монокристаллический слой мощностью 3–4 мм и нижний, оолитовый, толщиной до 14 мм. Изучение аншлифов этих корок показало, что они представляют собой терригенно-пирокластический материал,

цементированный отложениями марганцево-железисто-кремнистого (с преобладанием Mn) или железисто-кремнистого составов. В этих корках выявлены также трещиноватые участки. В одних случаях трещины залечены гидроокислами железа и марганца переменного состава, в других – открытые, на стенках которых идет нарастание MnO_2 [4]. Содержание Fe в валовых пробах рудных корок достигает 14.5%, Mn – 16.0%, отношение Mn/Fe – 1.1–1.2 (табл. 1).

Во впадине Дерюгина плотные, темно-коричневые корки толщиной около 1 см были подняты при дражировании небольшого холма, расположенного на некотором удалении от гидротермальных баритовых построек. Текстура корок массивная, пятнистая (линзовидная или неяснополосчатая). Это связано с включением светлых (глинистых) тонких прослоев. По данным микронзондового анализа, она образована отложениями преимущественно марганцево-железо-кремнистого состава [4]. Валовая проба содержит почти эквивалентное количество железа и марганца, 15.2 и 14.5% соответственно, отношение Mn/Fe – 0.98.

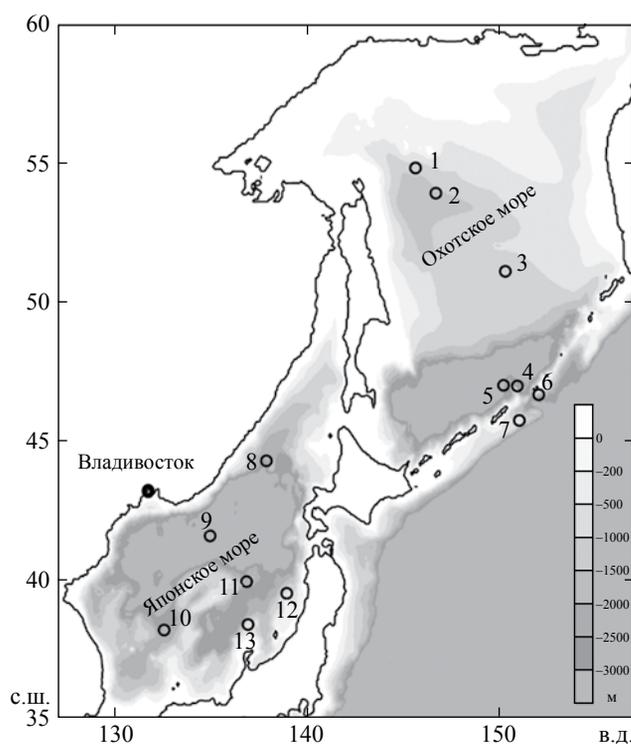


Рис. 1. Карта-схема фактического материала. Значками показано местоположение районов развития железо-марганцевой минерализации.

1 – склон банки Кашеварова, 2 – впадина Дерюгина, 3 – возв. АН, 4 – возв. Вавилова, 5 – возв. Обручева, 6 – полигон Диана, 7 – полигон Буссоль, 8 – безымянная возв., 9 – возв. Беляевского, 10 – возв. Галагана, 11 – наложенная постройка на возв. Южное Ямато, 12 – возв. Мацу, 13 – возв. Медведева.

Таблица 1. Содержание благородных металлов в ЖМО дальневосточных морей (Mn, Fe в %, Au—Ru в мг/т)

Район	№ ст.	ЖМО	Mn	Fe	Mn/Fe	Au	Ag	Pt	Os	Ir	Ru	Состав зерен благородных металлов	
Охотское море													
1	б. Кашеварова	96/1	корка	15.52	13.46	1.2	4.9	240	864.8	0.56	0.39	62.6	Ag, Ag-S
2		96/2	корка	15.98	14.46	1.1	0.8	150	227.9	1.15	0.68	53.1	Ag, Ag-S
3	вп. Дерюгина	98/2	корка	14.53	15.15	1.0	0.2	16	506.9	0.11	0.11	39.6	Au, Au-Cu, Au-Cu-Ag, Ag, Ag-S, Ag-S-O
4	возв. АН	27–14	цемент	3.09	17.65	0.2	2.5	74	424.0	0.22	0.32	8.9	Ag, Ag-Rh
5	в. Вавилова	119–3	цемент	8.69	13.08	0.7	9.4	180	854.8	1.96	2.26	28.2	н.а.
6	в. Обручева	99–42	корка	н.а.	н.а.	н.а.	0.4	130	484.5	1.45	1.83	25.6	н.а.
Хребт Витязя (океанский склон Курильской островной дуги)													
7	п. Диана	26–1	корка	10.83	16.38	0.7	0.9	140	46.9	0.70	1.78	14.5	Ag, Ag-S, Ag-Cu, Pd-W-O
8	п. Буссоль	34–2	корка	5.39	11.77	0.5	2.8	700	87.4	0.57	0.36	17.7	Au, Au-Ag, Au-Ag-Ni, Au-Ni, Ag, Ag-Te, Ag-S, Pt-Cu, Pt-Zn-Cu, Pd-Ag
Японское море													
9	в. безымянная	2029	корка	21.54	8.23	2.6	3.8	300	438.5	0.56	0.78	25.7	Ag, Ag-Cu, Pd-Pt-Cu, Pd -Bi-Cu-Pt, Pd-Cu
10	в. Беляевского	2069	корка	22.84	0.04	571.0	3.6	20	197.5	0.05	0.03	1.7	Ag
11	в. Галагана	1225в	корка, верх	17.63	5.70	3.1	2.7	300	297.2	0.29	0.38	6.4	Ag, Pt-Pd, Pd-Pt-Cu-Bi, Pd-Pt-Cu, Pd-Cu-Ni, Pd-Cu-Zr
12		1225н	низ	1.39	12.30	0.1	0.8	11	366.0	0.40	0.25	34.6	Ag, Ag-S
13	Ю. Ямато	7783	стяже-ние	22.89	1.38	16.6	0.3	84	42.6	0.10	0.15	4.2	Ag, Ag-Cu-Zn
14	в. Мацу	77106	корка	23.23	0.16	145.2	7.0	10	2302.1	0.02	0.03	2.4	Rh-Au-Cu-Ag, Ag, Pd-Pt-Bi-Cu, Pd-Cu-Zr
15		1343	корка	17.66	15.45	1.1	2.4	2	0	0.12	0.13	1.3	н.а.
16	в. Медведова	1344	корка	22.96	3.05	7.5	1.4	22	178.3	0.21	0.20	20.3	Ag
17		1471	корка	21.86	8.23	2.7	5.3	22	620.8	0.85	1.36	28.5	Ag, Ag-Te, Ag-S

Примечание. Определения благородных металлов производилось методом микропробирного нейтронно-активационного анализа в 2005–2006 г. в ГЕОХИ РАН. Аналитик Колесов Г.М. н.а. – не анализировалось. Полные химические анализы ЖМО приведены в [4–6].

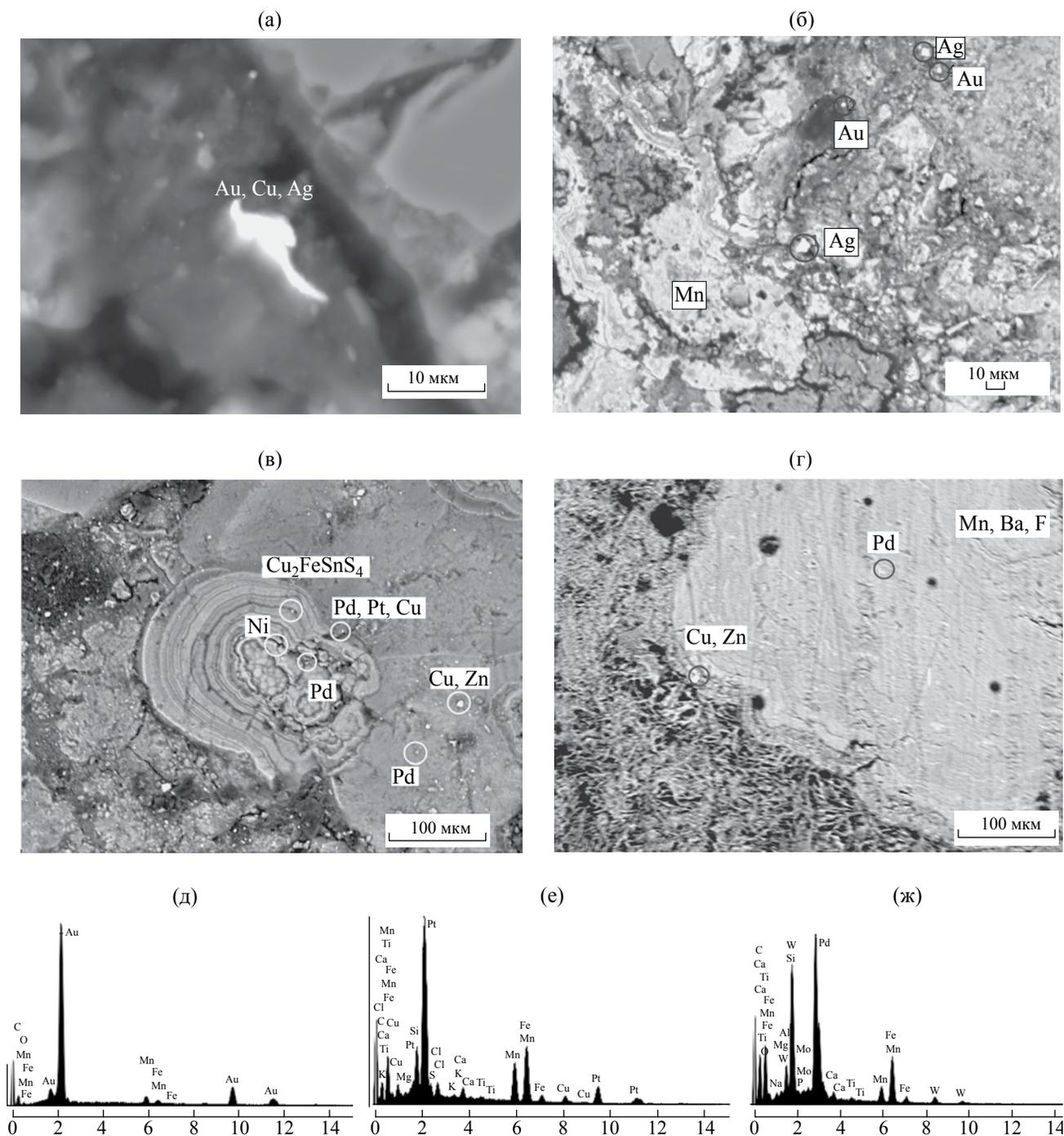


Рис. 2. Благородные металлы в ЖМО дальневосточных морей. (а–г) – вид в отраженных электронах: (а) – впадина Дерюгина, (б) – хребет Витязя, полигон Буссоль, (в) – возв. Га-лагана, (г) – возв. Мацу; (д–ж) – энергодисперсионные рентгеновские спектры рудных минералов (по оси абсцисс – энергия, кЭВ, по оси ординат – интенсивность излучения): (д) – золото, (е) – платина, (ж) – соединение палладия и вольфрама.

На возвышенности Академии Наук железомарганцевые гидроокислы цементируют гальку и угловатые обломки пород, образуя своеобразные конгломераты. В то же время они покрывают эти конгломераты неровной, бугорчатой коркой мощностью до 2 см. В составе корке выделяются участки марганцево-железо-кремнистого и железо-кремнистого составов [4]. Содержание Fe в валовой пробе достигает 17.7%, Mn – 5.44%, отношение Mn/Fe – 0.18–2.5.

На вулкане Вавилова, расположенном в Курильской котловине, при драгировании было поднято большое количество ЖМО толщиной до 7.5 см, представляющие собой покрытые тонкой коркой обломки преимущественно губок и субстрата, пропитанных гидроокислами Fe и Mn. Кроме этого, встречаются фрагменты отмерших губок диаметром до 0.5 м, также пропитанных гидроокислами Fe и Mn. Содержание достигает 14.1%, Mn – 8.7%, отношение Mn/Fe – 0.57–0.66.

Вулкан Обручева находится вблизи вулкана Вавилова. На его склонах сформировались рыхлые пестроцветные рудные корки толщиной до 5 см. Содержание Fe в них от 14.0 до 27.0%, Mn от 0.7 до 15.6%, отношение Mn/Fe – 0.03–2.1 [13].

Таким образом, в Охотском море сформировались преимущественно маломощные железомарганцевые корки с суммарным содержанием в них рудных элементов до 30 вес.%. В одних корках содержание железа преобладает над марганцем, другие содержат почти эквивалентные количества Mn и Fe (табл. 1).

Содержания благородных металлов в ЖМО Охотского моря приведены в табл. 1. Содержание золота варьирует от 0.18 до 9.36 мг/т, среднее – 3.02; серебра – от 16 до 240, в среднем 132 мг/т, платины – от 228 до 865, в среднем 560 мг/т. Таким образом, средние значения Au, Ag и Pt в ЖМО Охотского моря выше, чем в ЖМО из других районов Мирового океана [8].

Более детально при помощи микрозондового анализатора были изучены аншлифы рудных корок со склона банки Кашеварова, впадины Дерюгина и возвышенности АН [4].

Во всех аншлифах рудных корок были обнаружены включения серебра в виде мелких, преимущественно первые микроны, зерен неправильной формы, зачастую угловатых. Сульфиды и сульфаты серебра встречаются значительно реже. Иногда серебро обогащено медью или родием. В корке впадины Дерюгина выявлено несколько очень мелких зерен самородного золота, иногда с примесью меди, и относительно крупное (10 микрон в длину), остроугольное зерно золота со значительной примесью меди и серебра (рис. 2а).

Несмотря на то, что содержание платиноидов в образцах превышает содержание золота и серебра, ни зерен, ни обогащения матрицы элементами этой группы не было обнаружено.

Океанский склон Курильской островной дуги

В этом районе были изучены ЖМО на двух полигонах, расположенных в пределах хребта Витязя (рис. 1) [6].

Полигон Буссоль представляет собой стабильный, разбитый на блоки, но хорошо сохранившийся участок хребта Витязь. Полигон Диана находится в пределах наложенной тектономагматической зоны, поперечной к простиранию островной дуги. Эта зона представляет собой участок активного разрушения консолидированного фундамента с образованием сложной грабенообразной структуры асимметричного облика.

ЖМО, поднятые на полигоне Диана (ст. 26), представлены корками толщиной 2–3 см с характерной мелкобугристой поверхностью. Внутренние части этих корок кавернозные, их пустоты заполнены желтовато-светлосерой глиной. Под микроскопом обнаружены участки в основном железомарганцевого с преобладанием железа, железо-марганцево-кремнистого, железо-кремнистого и реже марганцевого или кремнистого составов. Рудное вещество заполняет пространство между породообразующими минералами или образует каемки вокруг зерен преимущественно кремнистого состава. Содержание Fe составляет 16.4%, Mn – 10.8%, отношение Mn/Fe – 0.66 (табл. 1).

На полигоне Буссоль ЖМК подняты на двух станциях: 34 и 36. Корки здесь более рыхлые и маломощные (до 1 см толщиной). Рудное вещество выделяются в них в виде небольших пятен марганцевого, реже железомарганцевого и железо-марганцево-кремнистого составов среди эдафогенно-пирокластического материала. Содержание Fe составляет 11.8%, Mn – 5.4%, отношение Mn/Fe – 0.46.

Следовательно, образование корок на хребте Витязя связано с цементацией рудным веществом терригенно-эдафогенного материала. Общим для рудных корок обоих участков является наличие большого количества включений зерен титаномагнетита, ильменита и барита.

В ЖМО полигона Дианы (ст. 26) выявлены многочисленные включения зерен цветных металлов, а из благородных присутствует лишь серебро как в самородном виде, так и в виде сульфидов, и лишь одно зерно, представляющее собой соединение палладия и вольфрама.

В ЖМО полигона Буссоль, в отличии от ЖМО полигона Дианы, основная масса акцессорных металлов представлена благородными металлами: золотом, серебром, платиной и палладием (табл. 1). Выявлено большое количество мелких (до 10 микрон) зерен самородного Au, иногда с примесью Ag, Ni, Zn, и Ag, изредка с примесью Te (рис. 2б). Серебро также наблюдается в виде сульфидов или оксидов. Зерна платиноидов встречаются значительно реже. Платина присутствует в самородном виде, иногда с примесью

меди, а палладий – в виде оксидов (палладит?), реже в составе смешанного оксида Pd-Ag.

Содержания благородных металлов в ЖМО этого района приведены в табл. 1. Более высокое содержание Au, Ag и Pt характерно для корки полигона Буссоль, в которой и было выявлено большое количество зерен благородных металлов. Но, несмотря на это, содержание их ниже, чем в ЖМО Охотского моря.

Японское море

Детально в этом районе были изучены ЖМО, поднятые на 6 подводных возвышенностях (рис. 1). Три из них находятся в Центральной котловине: возвышенности безымянная на севере, Беляевского в центральной части и Галагана на юге. Две – в котловине Хонсю: Мацу на севере и Медведева на юге. Одна – наложенная постройка на северной оконечности хребта возвышенности Южное Ямато.

На безымянной возвышенности (ст. 2029) подняты корки мощностью до 8 см, черно-бурого цвета с неровной, глобулярной поверхностью с прослоями глинистого вещества и обломками пемзы. Содержание Mn – 21.54%, Fe – 8.23%, Mn/Fe – 2.6 (табл. 1).

На возвышенности Беляевского (ст. 2069) подняты корки мощностью до 15 см, смоляно-черного цвета, с сильным металлическим блеском на сломе, с гладкой верхней и шероховатой нижней поверхностью. Содержание Mn – 22.84%, Fe – 0.04%, Mn/Fe – 571.

На возвышенности Галагана (ст. 1225) железомарганцевые корки мощностью до 20 см имеют слоистое строение. Верхний – черный пористый слой мощностью до 8 см, нижний – бурый, мощностью 10–12 см, переходящий в лимонитизированный базальт. Содержание Mn меняется от 17.63 до 1.39%, Fe – от 5.70 до 12.30% Mn/Fe – от 3.1 до 0.1% (табл. 1).

На Южном Ямато (ст. 7783) ЖМО представлены тонкими, 2–3 мм, корочками и большим количеством стяжений размером до 10*7*5 см, причудливой формы, сплошь покрытые кавернами, которые заполнены глинистым материалом (ст. 7783). Содержание Mn в них составляет 22.89%, Fe – 1.38%, Mn/Fe – 16.6% (табл. 1).

На возвышенности Мацу (ст. 77106) плотные корки толщиной 3 см сложены сросшимися округлыми конкрециями черного цвета. Размер отдельных конкреций от миллиметров до первых сантиметров. Содержание Mn – 23.23%, Fe – 0.16%, Mn/Fe – 145.2% (табл. 1).

На возвышенности Медведева подняты Fe-Mn корки толщиной до 5 см (станции 1343, 1344, 1471). Содержание Mn в них варьирует от 22.96 до 17.66%, Fe – от 3.05 до 15.45% Mn/Fe – от 1.1 до 7.5% (табл. 1).

Таким образом, корки Японского моря более мощные, чем в Охотском море и на океанском склоне Курильской островной дуги, и отличаются контрастным разделением Fe и Mn с преобладанием последнего.

Микронзондовое изучение аншлифов корок показало, что они также имеют неоднородный химический состав. В аншлифах обнаружены участки преимущественно марганцевого или железомарганцевого состава, реже марганцево-железо-кремнистого, железокремнистого или кремнистого составов [5].

Из благородных металлов в рудных корках обнаружены зерна серебра, золота, палладия и платины (рис. 2 в, 2г). Наиболее широко распространено серебро. В тех или иных количествах оно встречается во всех образцах преимущественно в самородном виде, реже в сульфидной форме или с примесями теллура, цинка или платины с вольфрамом. Вторым по распространенности является палладий. Он встречается в чистом виде, но чаще с примесью платины, висмута и меди, иногда циркона (табл. 1).

Платиноиды обнаружены в ЖМО возвышенностей безымянной, Галагана и Мацу. В основном присутствуют зерна палладия в виде оксидов (палладит? PdO), часто с примесью платины и меди, реже никеля, висмута и циркония (табл. 1). В ЖМО возвышенности Галагана выявлено единичное зерно палладистой платины. Следует отметить, что в отличие от Ag, платиноиды распространены только в верхней, марганцевой, части корки и общее количество зерен благородных металлов в ней значительно выше, чем в нижней, ожелезненной, части.

В корках возвышенности Мацу, наиболее обогащенных благородными металлами, обнаружено единственное мелкое зерно, представляющее собой комплексное соединение золота, меди, серебра и родия.

Содержания благородных металлов в ЖМО Японского моря приведены в табл. 1. Содержание золота варьирует от 0.27 до 6.99 мг/т, среднее – 3.02; серебра – от 2 до 300, в среднем 86 мг/т, платины – от 0 до 2302, в среднем 494 мг/т. Таким образом, средние значения Au, Ag и Pt в ЖМО Японского моря ниже, чем в Охотском, но сравнимы с данными по ЖМО из других районов Мирового океана [8].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ЖМО дальневосточных морей мы имеем значительный разброс значений по содержанию благородных металлов, причем даже в образцах, поднятых на одной станции. Учитывая, что железомарганцевое рудообразование в этом регионе происходило в позднекайнозойское время, т.е. все образцы ЖМО относительно молодые, мы не

Таблица 2. Химический состав (мас. %) зерен благородных металлов ЖМО дальневосточных морей

	Au	Ag	Pt	Pd	Rh	Cu	Zn	Te	Bi	W	Mo	Zr	S	Cl	Mn	Fe	Si	O	Na	Mg	Al	Ca	сумма
1	89.48														3.46	1.56		3.71					98.21
2	72.96	2.94				5.07								0.52	1.83	3.63		9.86		0.26	0.68	0.43	98.19
3	50.92						0.43							1.07	15.51	2.24	0.92	18.66		0.77	0.34	1.06	91.92
4	12.28	1.84			13.18	5.17									23.18		3.98	25.07		0.98	3.02	1.06	89.76
5		98.52													1.36				0.42				100.31
6		97.56						0.68					0.45	0.36	0.63	1.81							101.49
7		79.25			0.81									0.30	0.61	2.74	1.04	9.93		0.37			95.04
8		75.04					1.97							0.41	0.49	2.58	4.58	11.34		0.49	0.42		97.32
9		69.79								0.73				0.59	10.11			18.5	0.83	0.37			100.91
10		66.12											10.02			1.05	1.07	12.83		0.33	0.90		92.31
11		63.24				1.53	0.81								12.05	1.59	0.59	19.75		0.48	0.37		100.41
12		57.55						0.80					9.42	0.26	0.44	0.49	4.26	8.87	0.55		3.84	2.42	88.90
13		13.14												0.59	3.89	1.49	5.86	20.47	1.02	0.54	0.99	0.81	73.19
14															3.81	1.84	1.48	9.77	0.54	0.96		0.55	90.28
15						3.14							0.65	1.26	8.79	14.70	2.94	19.95		0.47		1.19	92.36
16						4.10			6.22									5.81					94.71
17						2.39									10.85	0.64	0.89	14.70	1.29	1.40			83.56
18						2.83						1.52			10.91	0.76	0.85	23.64	1.04	0.84		0.74	93.63
19										8.87	0.75				3.35	11.79	6.68	28.43	0.90	0.46	2.29	0.73	99.12

Примечание. Из-за очень малых размеров зерен при микронзондовом анализе частично захватывается окружающая матрица.

можем говорить о морской воде, как единственном источнике этих металлов. Хотя, принимая во внимание широкое развитие на побережье этих морей рудопроявлений благородных металлов, преимущественно золото-серебряных, можно предположить повышенное содержание этих металлов в морской воде.

Разнообразие химического состава зерен благородных металлов, обнаруженных в ЖМО дальневосточных морей (табл. 1, 2) и хаотичное их распределение (рис. 2) также не позволяют говорить о морской воде как единственном источнике этих металлов. Практически повсеместно железомарганцевое рудообразование в дальневосточных морях приурочено к привершинным частям и кальдерам подводных вулканических возвышенностей. Изучение газовых флюидов современных вулканических систем Курильско-Камчатского региона показало, что они приносят во вмещающие породы в микроколичествах многочисленные металлы, в том числе Au, Ag, Pt, Bi, Te и др. В продуктах сублимации этих флюидов были обнаружены включения Au и Pt микро- и наноразмерности [12, 14, 15, 18, 19, 23].

Исследование флюидов, захваченных включениями при кристаллизации минералов в современных гидротермальных полях Срединно-Атлантического хребта, показало, что наряду с другими металлами в них содержатся Au, Ag, Pd, Bi [11].

Таким образом, с большой долей уверенности можно говорить о том, что часть благородных металлов поступала с поствулканическими газо-гидротермальными флюидами, пронизывающими магматические породы и другие образования, слагающие вулканические постройки и выходящие на поверхность дна. Не исключено, что часть зерен наноразмерности могли переноситься газовыми потоками в виде аэрозолей, т.е. этот процесс может быть наложенным по отношению к железомарганцевому рудообразованию. А так как поступление газовых флюидов проходит по ослабленным, трещиноватым зонам, то и осаждение привносимых металлов будет происходить преимущественно на пористых участках.

Этим легко объясняется различие по содержанию благородных металлов в оолитовых и массивных корках банки Кашеварова, поднятых на одной станции. Наиболее обогащены металлами оолитовые корки, образованные в результате цементации железомарганцевыми гидроокислами терригенно-пирокластического материала. В этих корках обнаружены участки («гнезда») с включениями многочисленных зерен интерметаллических соединений состава Cu-Ni и Pb-Sn или комплексными сплавами этих четырех элементов [4]. Вероятно, благородные металлы также образуют подобные «гнезда», просто мы их не выявили.

Противоположная картина наблюдается в ЖМО впадины Дерюгина, в которой содержание золота минимальное из всех изученных образцов. Тем не менее, в отличие от других ЖМО Охотского моря, изученных при помощи микрозондового анализа, в этом аншлифе были обнаружены несколько очень мелких и одно относительно крупное остроугольное зерно золота (рис. 2а). Эта корка образовалась на осадке, покрывающем небольшой холм у восточного борта впадины. Судя по результатам драгирования, холм не является вулканической постройкой, но расположен на некотором удалении от поля баритовых холмов, имеющих гидротермальное происхождение. Так как в районе впадины Дерюгина разломы перекрыты слоем осадочных отложений, то непосредственный выход гидротермальных растворов, циркулирующих по разлому, на поверхность морского дна затруднен. Но известно, что впадина Дерюгина – наиболее перспективный нефтяной район Охотского моря. Дополнительное поступление тепла по глубинному разлому ведет к усилению вертикальной миграции углеводородов и последующему газовому прорыву. После выхода газов по их путям поднимались гидротермальные барийсодержащие растворы, и смешивание их с придонной водой вело к моментальной садке барита [7]. Тонкие 1–2 мм прослой гидроокислов марганца наблюдаются внутри некоторых образцов травертиноподобного барита, а также на его поверхности.

На дне впадины Дерюгина обнаружено поле марганцевых металлоносных осадков [3] и выходы метана [26]. Вероятнее всего, источником марганца и метана являются гидротермальные плюмы, которые и фиксируются, в основном, по этим 2 элементам. Обогащение марганцем (до 5 мас.%) донных осадков вокруг «баритовых холмов» и образование маломощных корок на поверхности осадка, вероятнее всего, связано с его выпадением при разрушении этого плюма. Учитывая наличие россыпных месторождений золота на побережье Охотского моря, можно предположить, что терригенные осадки, поступающие во впадину Дерюгина, также обогащены этим металлом. Нами выявлены участки, где содержание золота в поверхностном слое осадка достигает 15 мг/т. Мелкие частички золота могут переноситься газовыми потоками и осаждаться вместе с гидроокислами марганца, но общее содержание металлов в них будет меньше, чем в корках, образовавшихся на подводных вулканах в результате поствулканической газо-гидротермальной деятельности.

ЖМО возвышенности Мацу характеризуются самым высоким содержанием благородных металлов. В них, как и в корках южной оконечности хребта Витязя, обнаружено наибольшее количество зерен платиноидов и золота разнообразного состава. Эти возвышенности расположены в районе островных дуг. Геохимия вулканитов хребта Витязя

и изотопные данные указывают на участие древнего корового материала в источнике магм, что может свидетельствовать о его формировании на древнем континентальном фундаменте [16]. Вдоль северо-западного обрамления Тихого океана также возможно распространение древней силлицической коры [21]. В юго-западной части Японского моря в основании некоторых крупных подводных возвышенностей установлен кристаллический фундамент, сложенный докембрийскими образованиями [9]. Согласно Хомич и Борискиной [10, 24] основное благородно-металльное оруденение на юго-востоке России предопределено плюмовым рудогенерирующим магматизмом нескольких поколений в протерозое и фанерозое. Ультрамафит-мафитовый плутонизм привел к возникновению расслоенных зональных массивов, подвергшихся впоследствии в позднем палеозое и мезозое воздействию гранитогенных производных Северо-Азиатского суперплюма. Последние обеспечили развитие рудообразующих магмато-генно-флюидно-метасоматических процессов и создание благоприятных условий для концентрирования элементов платиновой группы и золота [10, 24]. Разница в содержании благородных металлов в валовых пробах ЖМО возвышенности Мацу и хребта Витязя, скорее всего, связана с разной мощностью корок, т.е. с продолжительностью их формирования.

Электронно-микронный анализ аншлифов ЖМК дальневосточных морей не выявил ни одного минерального зерна Os, Ir, Ru или даже их примеси в микровключениях других металлов, хотя небольшое количество перечисленных элементов было нами обнаружено при анализе валового химического состава ЖМК. Скорее всего, эти металлы не образуют собственных минеральных фаз и находятся в рудных корках в форме межслоевых катионов.

Основные выводы

Полученные данные по содержанию благородных металлов в ЖМО дальневосточных морей, наличие включений в них микро- и наноразмерных зерен Ag, Au, Pd и Pt в виде самородных элементов, окислов, сульфидов и сульфатов и часто содержащих примеси других элементов в разных количествах, а также их хаотичное распределение, позволяют говорить о нескольких источниках поступления этих металлов:

морская вода;

поствулканические газо-гидротермальные флюиды;

гидротермальные плюмы.

Присутствие зерен платиноидов и золота в ЖМО лишь некоторых подводных возвышенностей связано, скорее всего, с особенностью

формирования вулканических пород на древнем континентальном фундаменте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникеева Л.И., Андреев С.И., Александров П.А. и др.* Платиноносность железо-марганцевых образований Мирового океана // Платина России. Т. 3. Кн. 2. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. С. 338–345.
2. *Асавин А.М., Кубракова И.В., Мельников М.Е. и др.* Геохимическая зональность железомарганцевых корок гайота Ита – Майтай // Геохимия. 2010. № 5. С. 451–474.
3. *Астахов А.С., Саттарова В.В., Свининников А.И. и др.* Марганцевые металлоносные осадки котловины Дерюгина Охотского моря: особенности химического состава, геологические условия формирования // Тихоокеанская геология. 2007. Т. 26. № 5. С. 13–31.
4. *Астахова Н.В.* Благородные и цветные металлы в железомарганцевых корках центральной части Охотского моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 3. С. 440–452.
5. *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.
6. *Астахова Н.В., Леликов Е.П.* Особенности железомарганцевого рудобразования на подводном хребте Витязя (Тихоокеанский склон Курильской островной дуги) // Геология и геофизика. 2013. № 5. С. 676–686.
7. *Астахова Н.В., Сорочинская А.В.* Баритовая и карбонатная минерализация в осадках впадины Дерюгина Охотского моря // Океанология. 2001. Т. 41. № 3. С. 447–455.
8. *Батулин Г.Н., Коноплева Е.В., Дубинчук В.Т., Мельников М.Е.* Платина и золото в железомарганцевых корках Тихого океана // Океанология. 2005. Т. 45. № 2. С. 286–294.
9. *Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхий В.Л. и др.* Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
10. *Борискина Н.Г., Хомич В.Г.* Особенности металлогении золота в ареале влияния северо-азиатского суперплюма // Вестн. Томского государственного университета. 2010. № 339. С. 189–192.
11. *Бортников Н.С., Симонов В.А., Амплиева Е.Е., Боровиков А.А.* Аномально высокие концентрации металлов во флюиде современной гидротермальной системы Семенов (Срединно-Атлантический хребет, 13°31' с.ш.): Изучение флюидных включений в минералах с помощью

- LA-ICP-MS // Докл. РАН. 2014. Т. 456. № 5. С. 569–574.
12. *Вергасова Л.П., Старова Г.Л., Серафимова Е.К. и др.* Самородное золото вулканических эксгалляций шлаковых конусов большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 19–27.
 13. *Гавриленко Г.М.* Подводная вулканическая и гидротермальная деятельность как источник металлов в железомарганцевых образованиях островных дуг. Владивосток: Дальнаука, 1997. 165 с.
 14. *Дистлер В.В., Диков Ю.П., Юдовская М.А. и др.* Платино-хлор-фосфор-углеводородные комплексы в вулканических флюидах – первая находка в земной обстановке // Докл. РАН. 2008. Т. 420. № 2. С. 217–220.
 15. *Дистлер В.В., Юдовская М.А., Знаменский В.С., Чаплыгин И.В.* Элементы группы платины в современных фумаролах вулкана Кудрявый (остров Итуруп, Курильская островная дуга) // Докл. РАН. 2002. Т. 387. № 2. С. 237–241.
 16. *Емельянова Т.А., Костицын Ю.А., Леликов Е.П.* Геохимия вулкаников подводного хребта Витязя на Тихоокеанском склоне Курильской островной дуги // Геохимия. 2012. № 3. С. 316–332.
 17. *Жмодик С.М., Белянин Д.К., Миронов А.Г. и др.* Роль биогенного фактора в накоплении платины океаническими железомарганцевыми конкрециями // Докл. РАН. 2009. Т. 426. № 5. С. 658–663.
 18. *Коржинский М.А., Ткаченко С.И., Булгаков Р.Ф., Шмулович К.И.* Составы конденсатов и самородные металлы в сублиматах высокотемпературных газовых струй вулкана Кудрявый (остров Итуруп, Курильские острова) // Геохимия. 1996. № 12. С. 1175–1182.
 19. *Кременецкий А.А., Чаплыгин И.В.* Содержание и других редких металлов в газах вулкана Кудрявый (остров Итуруп, Курильские острова) // Докл. РАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 365–370.
 20. *Михайлик Е.В., Ханчук А.И., Михайлик П.Е. и др.* Первая находка видимого золота в железомарганцевых корках Тихого океана // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 5. С. 574–578
 21. *Мишкин М.А., Вовна Г.М.* Докембрийская сиалическая кора Земли и ее происхождение // Бюллетень Московского общества испытателей природы. 2009. Т. 84. Вып. 5. С. 3–10.
 22. *Рудашевский Н.С., Крецер Ю.Л., Анисеева Л.И. и др.* Минералы платины в железо-марганцевых океанических корках // Докл. РАН. 2001. Т. 378. № 2. С. 246–249.
 23. *Рычагов С.Н., Главатских С.Ф., Сандимирова 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. Петропавловск-Камчатский: ИВ ДВО РАН, 2005. С. 363–379.
 24. *Хомич В.Г., Борискина Н.Г.* Рудно-россыпные проявления элементов платиновой группы в ареале производных северо-азиатского суперплума (юго-восток России) // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2011. № 1. С. 131–141.
 25. *Halbach P., Kriete C., Prause B., Puteanus D.* Mechanisms to explain the platinum concentration in ferromanganese seamount crusts // Chem. Geol. 1989. V. 76. P. 95–106.
 26. *Cruise Reports: KOMEX I and KOMEX II R/V Professor Gagarinsky cruise 22 and R/V Academic A. Lavrentyev cruise 28 // GEOMAR Report 82. Kiel, 1999. 377 p.*

Sources of Noble Metals in Iron-Manganese Formations of the Northwest Pacific Marginal Seas

N.V. Astakhova

We analyzed the distribution of noble metals (Au, Ag, Pt, Os, Ir and Ru) in iron-manganese formations (IMF) and found the presence of micro- and nano-scale grains of Ag, Au, Pd, and Pt often mixed with other elements. We conclude on the basis of their irregular distribution that the three sources of these metals in ore formations are: seawater, hydrothermal water plums, and post-magmatic emissions of fluids and gases. The presence of the grains of platinum group elements and gold in the IMF found only in some submarine elevations may be caused by the peculiarities of the formation of volcanic rocks on the ancient continental basement.