

**БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ
ПОРОДАХ ПОПЕРЕЧНОГО ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(МАЛЫЙ ХИНГАН, РОССИЯ)**

В.Г. Невструев¹, Н.В. Бердников¹, Б.Г. Саксин², В.И. Усиков²

¹ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: nevstruevvg@mail.ru

²ФГБУН Институт горного дела ДВО РАН, ул. Тургенева 51, г. Хабаровск, 680000; e-mail: bsaks@igd.khv.ru

Поступила в редакцию 2 апреля 2015 г.

Геохимические и минералогические исследования железо-марганцевых руд, локализованных в доломитах и доломитизированных породах позднепротерозойско-раннекембрийского возраста, показывают их гидротермальный генезис. Содержание $C_{\text{орг}}$ варьирует от первых до 15.98 %. Повышенные и высокие его содержания установлены в флюидизитах основного состава и железо-марганцевых рудах. Благороднометалльная, преимущественно золото-серебряная, минерализация сформирована в три этапа: доломитизации, формирования гидротермальных полосчатых руд и последующего внедрения тел флюидизитов основного и среднего состава. Высокие концентрации Ag (до 296.2 г/т) приурочены к интервалам с высоким $C_{\text{орг}}$, но прямая корреляция между ними не установлена. В средних и основных флюидизитах серебро положительно коррелирует с MnO, Na_2O , Co, Ni, Zn, Nb, Ba, Cu и Pb. При электронно-микроскопических исследованиях выявлены многочисленные зерна самородного Ag, Au и их интерметаллических соединений размером менее 50 микрон с примесями Fe, Cu, реже Pd, Ta, Zn, Te.

Ключевые слова: Fe-Mn руды, благородные металлы, органический углерод, флюидизиты, Малый Хинган, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к коренной благороднометалльной минерализации на Малом Хингане сформировался в середине прошлого века в связи с поисками источников россыпной золотоносности. Основное внимание при этом уделялось палеозойским гранитоидам, с экзоконтактами которых пространственно совпадали ареалы золотоносности. При отработке россыпей встречались самородки и неокатанное золото в сростках с кварцем.

Металлогенический анализ территории, включая сопредельные области Китая, позволил расширить возрастной диапазон горных пород, в пределах которых целесообразно вести поиски коренных золоторудных объектов [8, 15]. Изучение и начало отработки месторождений невадийского типа в США вызвало необходимость переоценки перспектив района и вовлечение в исследования терригенно-карбонатных углеродистых пород [16, 21, 22]

На территории Буреинского массива внимание исследователей привлекли железорудные и железо-

марганцевые месторождения, связанные с древними углеродистыми толщами Кимканского прогиба Малого Хингана (рис. 1). Первые результаты опробования на благородные металлы железо-марганцевых руд месторождения Поперечного, входящего в состав Южно-Хинганской минерагенической зоны, приведены в работе [10]. В результате обогащения крупнообъемной пробы обнаружены зерна золота и платиноидов размером десятые доли миллиметра. Максимальное содержание золота составило 0.81 г/т. По данным [7], содержание золота в этих породах достигает 14.9 г/т при среднем 0.35 г/т.

Высокие содержания золота (0.35 г/т), серебра (7.8 г/т), платины (0.1 г/т), ванадия (до 1 %) и иттрия (0.3 г/т) обнаружены при детальном опробовании Помпеевской ураноносной структуры, прилегающей к Южно-Хинганской зоне с востока. Авторами [4] они интерпретированы как результат воздействия палеозойских гранитоидов на древние углеродистые толщи.

По мнению Н.С. Остапенко [14], источником россыпей являются магматогенно-гидротермальные

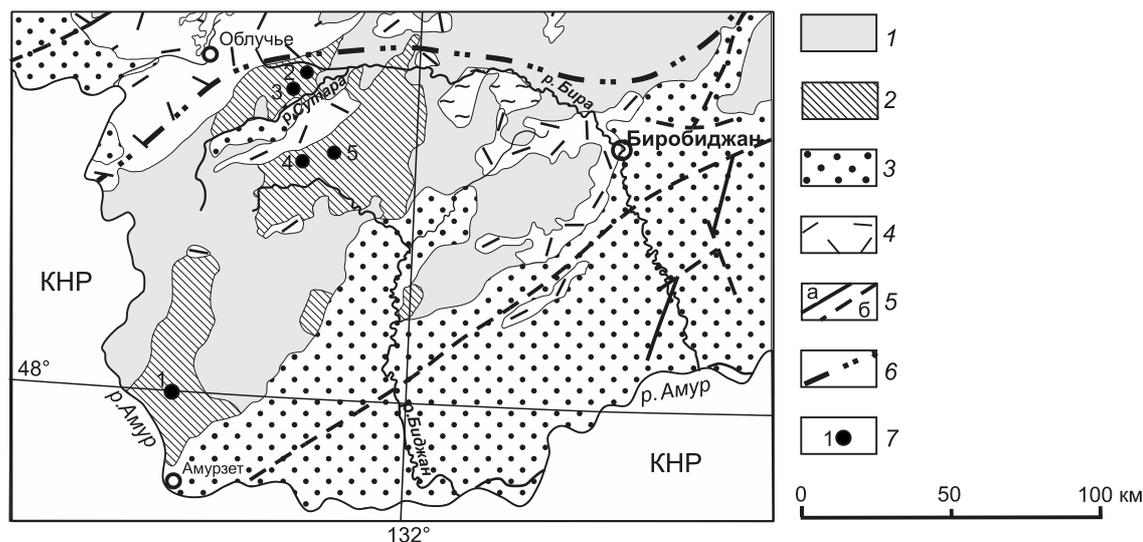


Рис. 1. Схематическая геологическая карта восточной части Буреинского массива (по Схеме геолого-структурного районирования Приамурья, зап. Приохотья, о. Сахалин и прилегающих участков дна Охотского и Японского морей м-ба 1:3 000 000. Отв. исп. Г.В. Роганов, 2008 г.)

1 – кристаллический фундамент; 2 – фрагменты Кимканского прогиба (V-Є.); 3 – континентальные впадины; 4 – вулканические прогибы мезозойские и мезозойско-кайнозойские; 5 – разломы: а – зафиксированные, б – предполагаемые; б – пограничная гравитационная ступень, по [3]; 7 – железорудные и железо-марганцевые месторождения: 1 – Поперечное; 2 – Кимканское; 3 – Сутарское; 4 – Костеньгинское; 5 – Сафонихское.

системы мелового возраста, в которых роль вмещающих пород и экранов могли выполнять сланцевые и карбонатные толщи кембрия и протерозоя.

Многочисленные экспедиционные и детальные тематические работы не привели к обнаружению в районе промышленно интересных объектов. Лишь на левобережье р. Сутары (г. Лысая) при крупномасштабных поисках были обнаружены единичные кварцевые прожилки мощностью 10–30 см с содержаниемми золота в задирковых пробах 2.2–36.8 г/т.

В процессе изучения углеродистых толщ восточной части Буреинского массива выявлена платиноносность и золотоносность как самих толщ, так и локализованных среди них руд Кимканского железорудного и Союзненского графитового месторождений [12, 17, 19, 20]. На основании геохимических данных показано, что минерализация Кимканского месторождения формировалась в условиях глубоководного желоба в обстановке активной континентальной окраины [11, 12].

В составе рудных тел и вмещающих пород Поперечного железо-марганцевого месторождения выявлены криповулканические породы (флюидизиты) [13]. Их особенностью является высокое содержание углерода (до 15.8 %), аномальные концентрации кобальта, никеля, ниобия, а также повышенные содержания благородных металлов. В настоящей работе представлены результаты исследования условий образования

пород и руд месторождения, природы их углеродизации, форм проявления и особенностей формирования благороднометалльной минерализации.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Железо-марганцевые руды Южно-Хинганской минерагенической зоны отнесены к вулканогенно-терригенно-кремнисто-карбонатной формации [5] и локализованы в верхних частях разреза мурандавской свиты Кимканского прогиба. Свита согласно залегает на породах игинчинской свиты, сложенной алевролитами, песчаниками, глинистыми сланцами, доломитами и известняками. В низах разреза мурандавской свиты преобладает доломитовая толща мощностью до 600 м, датируемая вендом, а в верхах – сланцево-кремнистая железо- и марганценовая толща мощностью до 1200 м, возраст которой принимается венд-раннекембрийским. Верхняя подсвита сложена углеродисто-кремнистыми, углеродисто-кремнисто-глинистыми, глинисто-серицитовыми сланцами, доломитами, доломитовыми брекчиями, известняками, песчаниками, алевролитами, реже магнетит-гематитовыми, браунит-гематитовыми и родохрозит-гематитовыми рудами и фосфоритами. Спорадически в ней отмечаются фтаниты (до 0.5 м) и глинистые сланцы, а по всему разрезу свиты – известняки и доломитовые песчаники, нередко брекчированные. В средней части разреза встречаются пачки риолитов (до 110 м), крем-

нистых и кремнисто-глинистых сланцев, а в верхней и нижней частях – пласты (до 140 м) и линзы (0.5–60 м) доломит-магнезитовых пород и магнезитов. Общая мощность свиты 1300–1700 м.

Выше по разрезу залегают породы лондоковской свиты (кембрий), представленные черными битуминозными известняками, среди которых отмечаются редкие прослои доломитистых известняков, доломитовых песчаников, известняковых брекчий, углеродистых глинистых и кремнисто-глинистых сланцев, песчаников, алевролитов, кремнистых пород и кварцитов. Узкие клиновидные блоки пород лондоковской свиты с тектоническими границами закартированы среди пород мурандавской свиты в лежащем боку пластов, обогащенных железом и марганцем.

В районе широко развиты интрузивные образования биробиджанского интрузивного комплекса (ордовик), представленные тремя фазами: 1 – габбро, габбронориты, нориты, диориты и пироксениты; 2 – граниты и гранодиориты; 3 – лейкограниты, умеренно щелочные лейкограниты, аплиты, пегматиты. Интрузии контролируются зонами крупных разломов. Наиболее распространены гранитоиды третьей фазы. В непосредственной близости от рудных объектов развиты преимущественно интрузии второй и, в подчиненном объеме, третьей фазы.

Согласно последним данным [13], формирование рудных залежей месторождения сопровождалось образованием криптовулканических пород (флюидизитов), сформировавших сложные тела брекчий с обломками известняков, доломитов и других пород, сцементированных магматогенным материалом известково-щелочной серии.

Породы осадочного комплекса в различной степени контактово метаморфизованы. Они превращены в слюдяно-кварцевые роговики с андалузитом, ставролитом, гранатом. Углеродистые породы преобразованы в кварц-графитовые сланцы, карбонатные породы – в мраморы, а железные руды – в магнетитовые кварциты. Ширина зоны контактово метаморфизованных пород достигает 10 км, протяженность – более 30 км.

Объекты железо-марганцевой вулканогенно-терригенно-кремнисто-карбонатной формации выявлены на юге Южно-Хинганской минерагенической зоны. Среднее по запасам месторождение Поперечное локализовано в пластах доломитов и доломитизированных пород мурандавской свиты. Рудная залежь ориентирована в субмеридиональном направлении. Сбросами она разбита на ряд тектонических блоков протяженностью 200–1200 м. Амплитуда сбросов достигает 150 м. Месторождение изучено на глубину до 400 м. В рудной залежи выделяются марганцеворуд-

ный и железорудный пласты. Первый, мощностью 1–8 м и протяженностью 2.4 км, приурочен к верхней части пласта и представляет собой полосчатую породу, состоящую из браунита, гематита, гаусманита, родохрозита, халцедона, глинистых минералов и доломита. Мощность рудных и нерудных прослоев колеблется от 0.1 до 10 см. Промышленное значение имеют браунитовые, гаусманит-браунитовые, браунит-гематитовые, родохрозит-гаусманитовые руды, их окисленные и полуокисленные разновидности. Среднее содержание компонентов в неокисленных рудах составляет (вес. %): марганец – 21, железо – 8.63, фосфор – 0.06, кремнезем – 20–30. Железорудный пласт мощностью 18–19 м сложен полосчатыми железистыми фтанитами с содержанием железа до 20–30 %. Запасы марганцевых руд по категориям В + С1 составляют 5.13 млн т, по категории С2 – 1.4 млн т. Прогнозные ресурсы по категории Р1 глубоких горизонтов (до 400–450 м) оценены в 0.6 млн т. Ресурсы железных руд не оценены [18].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На месторождении Поперечном вкрест простирая рудной залежи отобрано 100 штучных проб, представляющих основные разновидности вмещающих пород и руд месторождения. Анализы проб на петрогенные оксиды (метод РФА, прибор S4 Pioneer, аналитик Л.М. Ильин), микроэлементы и благородные металлы (метод ICP-MS, прибор ELAN-9000, аналитик А.В. Штарева), электронно-микроскопические исследования с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (СЭМ EVO 40, спектрометр INCA Energy 350, оператор В.С. Комарова) проведены в ИТиГ ДВО РАН, г. Хабаровск. Определение органического углерода выполнено в ИВЭП ДВО РАН (метод И.В. Тюрина с фотометрическим окончанием, аналитик С.И. Левшина).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании результатов петрохимических, геохимических и минералогических исследований для многих железорудных месторождений мира доказан их гидротермально-осадочный генезис [23, 25–27 и др.]. Месторождение Поперечное, изучавшееся с середины прошлого века, традиционно относилось к осадочным [19]. Обнаружение в составе рудных тел флюидизитов, которые ранее принимались за осадочные образования, и приведенные ниже результаты петро- и геохимических исследований не поддаются интерпретации с позиции осадочного генезиса.

В таблице 1 показаны средние значения концентраций оксидов породообразующих элементов, серебра, серы, фтора и углерода в выборках, объеди-

Таблица 1. Химический состав пород и руд месторождения Поперечного.

	Номер выборки (в скобках – число проб в выборке)						
	1 (9)	2 (16)	3 (5)	4 (12)	5 (5)	6 (28)	7 (11)
SiO ₂	15.39	15.16	74.95	56.67	41.03	49.50	35.78
TiO ₂	0.15	0.07	0.66	0.79	0.65	0.21	0.48
Al ₂ O ₃	2.03	0.90	12.54	12.30	8.16	2.27	3.67
Fe ₂ O ₃	2.49	2.27	3.97	6.59	7.56	28.25	10.68
MnO	0.11	0.16	0.03	0.24	1.86	0.42	14.91
CaO	57.73	37.63	0.47	4.89	13.28	4.91	5.86
MgO	3.30	23.35	1.95	5.21	9.78	4.77	6.11
Na ₂ O	0.01	0.01	0.24	0.98	1.25	0.18	1.76
K ₂ O	0.53	0.21	3.25	3.11	2.14	0.19	1.37
P ₂ O ₅	0.35	0.03	0.13	0.11	0.07	0.44	0.08
S	0.43	0.19	1.56	0.96	0.09	0.03	0.03
F	0.00	0.00	0.11	0.11	0.06	0.47	0.37
Ag	1.41	3.07	0.65	1.40	2.19	3.43	*6.7
C _{орг.}	1.57	1.07	6.25	3.55	1.71	1.34	5.76

Примечание. Ag – г/т, остальные в %; * – среднее без учета ураганного содержания 296.2 г/т.

няющих основные разновидности пород и руд месторождения. Определенные нами концентрации Au и элементов платиновой группы (PGE) не превышают десятых долей грамма на тонну. Возможно, содержания этих элементов существенно занижены из-за особенностей их анализа в углеродистых породах [1, 2, 19], поэтому на данном этапе исследования они не рассматриваются.

Выборка 1 представлена карбонатами кальция (известняками) лондоковской свиты.

Выборка 2 – кальций-магниево-карбонаты (доломиты, доломитизированные известняки, магнезиты) мурандавской свиты. Это темно-серые до черных, массивные, иногда сланцеватые породы, нередко окварцованные и сульфидизированные. Как правило, они являются вмещающими для железо-марганцевых рудных тел.

Выборки 3–5 объединяют брекчированные породы сургучно-красного, темно-серого цвета, ассоциирующие с рудами. Они состоят из обломков доломитов, сланцев, известняков, количество которых достигает 70–80 % по объему, заключенных в матрикс с игнимбритовой структурой. По петрологическим особенностям матрикса (типичные игнимбриты), структурным и текстурным признакам они отнесены к флюидизитам [13] кислого (выборка 3), среднего (выборка 4) и основного (выборка 5) состава.

Выборка 6 включает железные руды, содержание Fe₂O₃ в которых варьирует от 12.5 до 39.9 %. Это темно-серые, иногда красноватые тонкозернистые породы преимущественно массивной, грубо- и тонкопослойчатой текстуры, слагающие железорудный пласт месторождения.

Выборка 7 характеризует тонкие пласты железо-марганцевой минерализации висячем боку рудной залежи, которые содержат 5–21.5 % Fe₂O₃ и 5.3–25.7 % MnO.

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Для выяснения природы железо-марганцевого оруденения на месторождении фигуративные точки изученных пород и руд нанесены на диаграмму Si–Al [25], позволяющую разделить образования гидротермального и не гидротермального генезиса (рис. 2). Величина Si/Al больше 5 свидетельствует о поступлении в породы и руды кремния из гидротермальных источников [25]. Породы и руды месторождения Поперечного группируются на диаграмме в несколько полей.

Точки проб с низкими содержаниями Al, Si и Fe образуют поле карбонатов вблизи линии разграничения полей гидротермалитов от прочих пород. При этом существенно кальциевые карбонаты (выб. 1) по сравнению с магниевыми (выб. 2) содержат повышенные количества глинозема и более низкие – кремнезема и частично смещены в поле осадочных отложений. Магнезиальные карбонаты полностью попадают в поле гидротермалитов. Участие в их

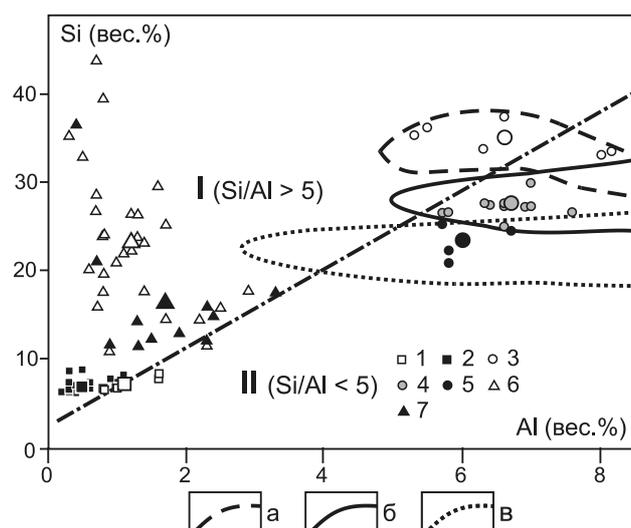


Рис. 2. Фигуративные точки пород и руд месторождения Поперечного на диаграмме Si–Al, по [25] с изменениями.

I – поле гидротермалитов; II – поле осадочных пород; а–в – поля магматических пород по данным [6]: кислых (а), средних (б) и основных (в). 1–7 – номера выборок, увеличенные символы – средние по выборкам (табл. 1).

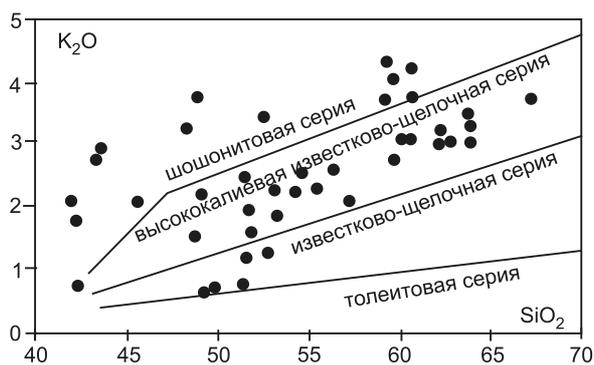


Рис. 3. Фигуративные точки флюидизитов месторождения Поперечного на диаграмме K_2O-SiO_2 , по [24].

образовании гидротермального процесса (наложенной доломитизации) подтверждается повышенными относительно стехиометрии доломита содержаниями магния, вплоть до магнезита, при относительно низких, как и в кальциевых карбонатах, концентрациях кремния и алюминия.

Формирование выборок криптовулканических пород (выборки 3–5) осуществлялось с учетом химического состава их матрикса (рис. 3). Для анализа использовались пробы с минимальным количеством обломков. На модифицированной диаграмме Si–Al (рис. 2) их фигуративные точки попадают в поля типичных магматических пород кислого, среднего и основного состава [6].

Пробы железных и железо-марганцевых руд (выб. 6, 7) характеризуются низким содержанием Al_2O_3 на фоне относительно высоких содержаний SiO_2 , что, согласно [25], указывает на их гидротермальный генезис. В поле гидротермалитов также попадают единичные пробы с интенсивным наложенным окварцеванием и сульфидной минерализацией, а также доломит-гаусманит-родохрозитовые руды с высоким (до 25 %) содержанием MnO.

УГЛЕРОД В ПОРОДАХ И РУДАХ

Для всех пород месторождения характерно наличие органического углерода, содержание которого варьирует от 0.33 до 15.98 %. Карбонатам присущи относительно низкие концентрации $C_{орг.}$ от 0.56 до 2.78 %. Кислые разновидности флюидизитов содержат от 1.39 до 14,16 % органического углерода. В одной пробе среднего состава установлено максимальное содержание $C_{орг.}$ 15.98 %, в трех – 6.2–8.34 %, а в остальных содержания углерода колеблются от 1 до 3 %. В выборке флюидизитов основного состава содержание $C_{орг.}$ варьирует в пределах 1–2.3 %.

В железных рудах углерод присутствует в количестве от 0.3 до 4.8 %, при этом лишь в трех из 28

проб концентрация углерода превышает 2 %. В железо-марганцевых рудах, залегающих среди доломитов, концентрация $C_{орг.}$ составляет 1.95–12.1 %, при этом почти половина проб содержит более 5 % органического углерода.

Коэффициенты парной корреляции $C_{орг.}$ с оксидами и элементами в выборках приведены в табл. 2. В выборке 1, представленной карбонатами кальция, установлена значимая положительная корреляция ($r_{0.05}$) углерода с большинством оксидов и элементов, включая малоподвижные, и отрицательная корреляция с CaO. Этот факт можно интерпретировать как привнос детрита совместно с терригенным материалом.

Для доломитов значимая положительная корреляция проявлена с S, Pb и Ag, что свидетельствует о возможном участии углерода в гидротермальном процессе при вторичной доломитизации.

В флюидизитах кислого состава углерод имеет значимую положительную корреляцию с MnO и Cr, в породах среднего состава – с S, F, Sr, U и отрицательную с CaO, MgO, Sc, Cu, Ga, Rb, Y, Zr, Sn, Cs, Th и всеми РЗЭ. Углерод флюидизитов основного состава имеет только отрицательные корреляционные связи с MnO, Y, Sn, Gd и Tb.

В железных рудах $C_{орг.}$ обнаруживает единственную положительную корреляционную связь с SiO_2 . Для железо-марганцевых руд положительные значимые коэффициенты корреляции выявлены с MnO, F, Zr и U.

Анализ средних содержаний и корреляционных связей показывает, что увеличенным содержаниям $C_{орг.}$ в Fe-Mn рудах, средних и основных флюидизитах соответствуют повышенные содержания Zn, Ni, Co, Rb, Sc, Ag, Ga, в меньшей мере Cs и Nb. В этих породах и рудах отмечаются наиболее высокие содержания K_2O и Na_2O (2–5 %), достигая в единичных пробах 8–10 %. Типично и повышенное относительно карбонатных пород содержание F, максимальная концентрация которого в Fe-Mn рудах достигает 0.57 %. При отсутствии прямой корреляции $C_{орг.}$ с Ag, за исключением выборки доломитов, наиболее высокие содержания серебра тяготеют к интервалам повышенных концентраций углерода. В то же время, его максимальное содержание (296.2 г/т) установлено в интервале резко аномальных концентраций Co при содержании углерода около 2 %.

БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОРОДАХ И РУДАХ

Валовые содержания благородных металлов (Ag, Au, Pt, Pd) в породах и рудах определялись методом ICP-MS с кислотным разложением проб. Серебро анализировалось совместно с редкими, редкоземельными

Таблица 2. Корреляционные связи $C_{\text{орг.}}$ с оксидами и элементами в выборках.

	Номер выборки (в скобках – число проб в выборке)						
	1 (9)	2 (16)	3 (5)	4 (12)	5 (5)	6 (28)	7 (11)
SiO ₂	0.92	0.09	-0.32	0.41	0.27	0.39	-0.51
TiO ₂	0.93	-0.38	-0.65	-0.16	-0.66	-0.20	-0.14
Al ₂ O ₃	0.90	-0.34	0.03	0.33	-0.55	-0.12	-0.44
Fe ₂ O ₃	0.70	0.47	0.72	0.57	0.08	-0.27	-0.38
MnO	0.52	-0.02	0.88	-0.44	-0.95	-0.13	0.93
CaO	-0.88	-0.26	0.41	-0.57	-0.12	-0.09	-0.35
MgO	0.69	0.07	-0.34	-0.76	-0.23	-0.11	-0.51
Na ₂ O	0.28	-0.18	0.00	-0.31	-0.63	-0.09	-0.44
K ₂ O	0.82	-0.32	0.03	0.21	-0.28	-0.03	-0.19
P ₂ O ₅	0.65	-0.15	-0.15	-0.26	0.31	-0.11	0.41
S	0.69	0.85	0.57	0.94	0.34	-0.07	0.29
F	*	*	0.74	0.79	0.28	-0.11	0.62
Sc	0.68	-0.35	-0.24	-0.70	-0.90	-0.23	-0.38
V	0.93	-0.21	-0.50	-0.29	0.64	-0.25	0.52
Cr	0.65	0.08	0.86	-0.35	0.60	0.18	-0.28
Co	0.34	-0.03	-0.25	-0.22	-0.62	-0.16	0.16
Ni	0.11	0.13	0.03	-0.38	-0.66	-0.15	0.43
Cu	-0.43	-0.12	-0.32	-0.75	-0.64	0.32	-0.02
Zn	0.37	-0.16	-0.49	-0.40	-0.67	0.06	0.14
Ga	0.92	-0.24	-0.54	-0.79	-0.83	-0.19	0.37
Rb	0.85	-0.17	-0.53	-0.63	-0.43	-0.06	-0.26
Sr	-0.29	-0.17	-0.11	0.83	-0.19	-0.04	-0.44
Y	0.43	0.12	-0.02	-0.70	-0.91	-0.14	-0.24
Zr	0.82	-0.08	-0.53	-0.56	-0.85	-0.14	0.59
Nb	0.75	-0.23	-0.24	-0.37	0.50	-0.22	-0.04
Sn	0.48	-0.30	-0.07	-0.73	-0.95	-0.15	-0.32
Cs	0.74	-0.25	-0.54	-0.69	-0.22	-0.06	-0.30
Ba	-0.17	-0.32	-0.53	-0.32	-0.64	-0.08	0.47
Pb	0.28	0.59	-0.34	-0.39	-0.06	-0.16	-0.14
Th	0.89	-0.10	-0.38	-0.74	-0.86	-0.20	-0.19
U	0.77	0.02	0.10	0.56	0.71	-0.14	0.62
La	0.52	0.05	-0.14	-0.86	-0.02	0.08	-0.13
Ce	0.51	0.01	-0.12	-0.86	-0.09	0.06	-0.09
Pr	0.52	0.05	-0.12	-0.84	0.13	0.08	-0.11
Nd	0.49	0.07	-0.09	-0.85	-0.29	0.07	-0.12
Sm	0.42	0.09	0.00	-0.76	-0.67	0.09	-0.13
Eu	0.31	0.06	0.07	-0.56	-0.48	0.10	-0.14
Gd	0.39	0.12	0.02	-0.70	-0.92	0.09	-0.14
Tb	0.40	0.12	0.04	-0.65	-0.88	0.12	-0.16
Dy	0.41	0.14	0.01	-0.62	-0.78	0.12	-0.16
Er	0.45	0.15	-0.03	-0.61	-0.73	0.15	-0.17
Yb	0.53	0.17	-0.08	-0.55	-0.48	0.14	-0.14
Lu	0.54	0.18	-0.08	-0.54	-0.34	0.16	-0.17
Ag	-0.51	0.53	-0.30	-0.21	-0.71	-0.05	-0.25

Примечание. Полужирный шрифт – коэффициенты корреляции выше критических значений при $\gamma_{0.05}$; * – содержания ниже предела чувствительности анализа.

и рассеянными элементами, золото и платиноиды – после концентрирования путем соосаждения с теллуром.

Количество серебра в изученных породах, как правило, варьирует от первых до 50 г/т при максимальном значении 296.2 г/т в пробе железо-марганцевой руды. В пяти пробах зафиксированы содержания от 100 до 150 г/т.

В карбонатах кальция содержание серебра составляет 1–2 г/т в единичных пробах. В доломитах частота встречаемости проб с содержаниями более 1 г/т составляет 75 %, максимальные содержания достигают 11.9 г/т. Содержания свыше 5 г/т установлены в 19 % проб, в них же зафиксированы повышенные содержания Mn.

Наиболее бедны серебром флюидизиты кислого состава. Лишь в одной пробе этих пород обнаружено 3.9 г/т Ag при среднем по выборке 0.65 г/т. Только 23 % проб флюидизитов среднего состава содержат серебро на уровне 1.0–1.5 г/т (три пробы) и 15.6 г/т (одна проба). Флюидизиты основного состава относительно равномерно обогащены серебром в концентрации 1–6 г/т.

В гидротермальных железных рудах количество проб с высокими концентрациями серебра составляет 72 %. Концентрации выше 5 г/т и выше 10 г/т встречаются в 18 % проб. В железо-марганцевых рудах все пробы содержат серебро в количестве более 1 г/т, они имеют самое высокое среди изученных пород среднее (6.9 г/т) и максимальное (296.2 г/т) содержание этого металла.

На графике средних содержаний $C_{\text{орг.}}$ и Ag в выборках (рис. 4) видно, что магнезиальные карбонаты вмещающих пород содержат серебра больше, чем кальциевые. Концентрация серебра в флюидизитах закономерно увеличивается от кислых к основным разновидностям, а наиболее богатыми серебром являются железные и, особенно, железо-марганцевые руды месторождения. Средние содержания $C_{\text{орг.}}$ в рудовмещающих породах – карбонатах и флюиди-

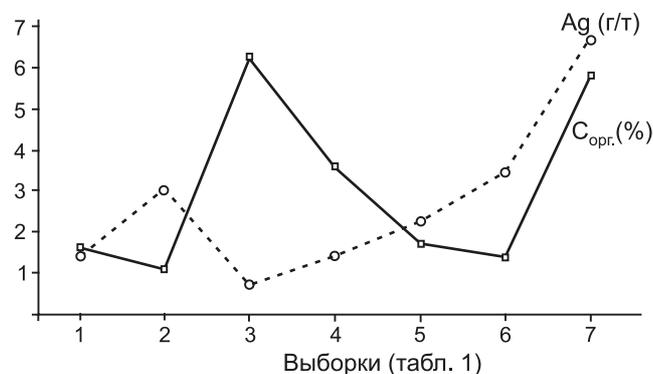


Рис. 4. Средние содержания $C_{\text{орг.}}$ и серебра в выборках.

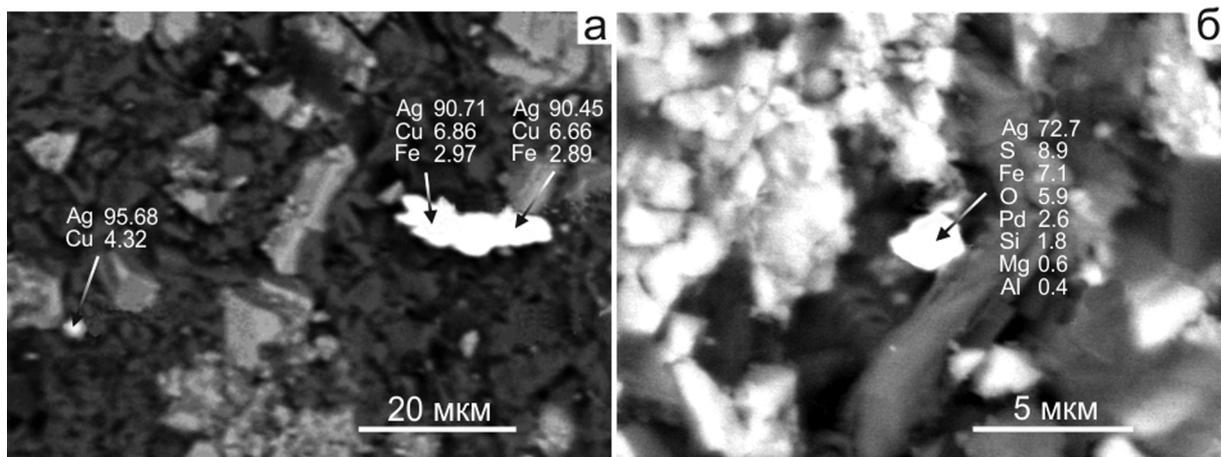


Рис. 5. Самородное серебро (а) в доломитизированном известняке; акантит (?) с примесью Pd (б) в гематит-кремнистой массе железной руды (содержания в мас. %).

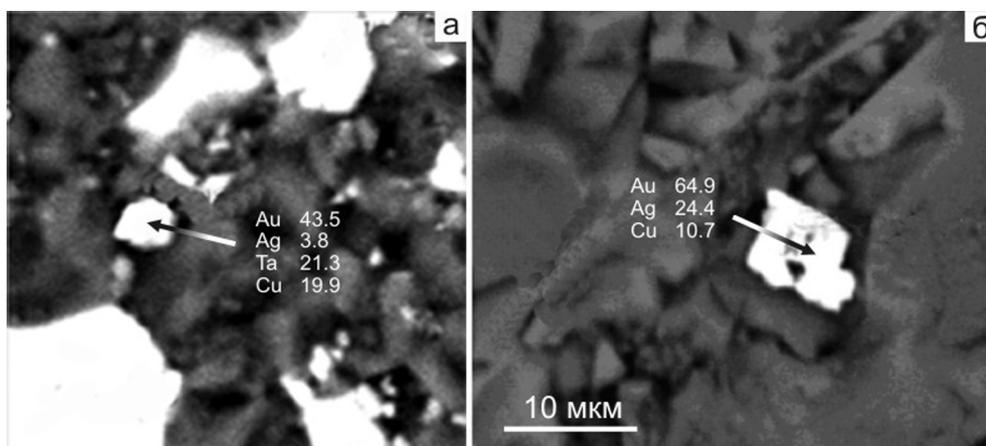


Рис. 6. Интерметаллические соединения в магнетите (а) и электрум в пирите (б).

зитах – обнаруживают обратную тенденцию: магниевые карбонаты содержат углерода меньше, чем кальциевые, а концентрация углерода в криптовулканических породах закономерно уменьшается от кислых разновидностей к основным. В «рудной» области диаграммы (выборки 6, 7) тренды содержаний $C_{орг}$ и серебра практически конкордантны: наиболее углеродизированные железо-марганцевые руды содержат и наибольшее количество серебра.

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

В результате электронно-микроскопических исследований 77 пришлифовок пород с повышенными содержаниями серебра обнаружены многочисленные мелкие (до 10, редко до 50 мкм) включения серебра и его минералов (акантит (?) и хлораргирит), а также интерметаллических соединений серебра с золотом и палладием (рис. 5).

Постоянной примесью в самородном серебре являются медь (1.94–41.16 вес. %) и железо (1.1–24.5 вес. %). В ряде включений установлен цинк (1.5–5.2 вес. %), в единичных зернах зафиксированы примеси молибдена и никеля. Включения серебра с золотом (7.06–64.9 вес. %) и палладия (2.5–3.7 вес. %) встречаются редко (около 1 % проанализированных включений). Наиболее высокопробное самородное серебро зафиксировано в обломках карбонатов из флюидизитов. В качестве примеси серебро установлено в галените.

Интерметаллические соединения золота и серебра встречены в железных рудах, обломках доломитизированных известняков в флюидизитах и в доломитах (рис. 6). В их составе преобладают золото (27.4–47.2 %), серебро (0–87.46 %) и медь (4.12–47.2 %). На контакте тонкополосчатых железистых руд с флюидизитами зафиксированы микровключения золота с повышенными содержаниями тантала (8.42–25.4 %).

Редкие микровыделения электрума с элементами кристаллографической структуры обнаружены в пирите, для которого характерны повышенные содержания Nb (до 3.2 %).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Железные и железо-марганцевые руды месторождения Поперечное Южно-Хинганского рудного узла установлены среди углеродизированных карбонатных пород. Исследования показали, что формирование рудной залежи сопровождалось внедрением флюидизитов [13], которые представляют собой сложные тела брекчий, состоящих из обломков известняков, доломитов, кварца и других пород, сцементированных магматогенным материалом основного и среднего состава известково-щелочной и частично шоссонитовой серий.

Содержания органического углерода распределены неравномерно как по различным породам, так и среди генетически родственных пород. В слабо доломитизированных карбонатах кальция лондоковской свиты, приуроченных к лежащему боку рудной залежи, содержания $C_{орг}$ составляют менее 2 %. Здесь углерод имеет положительные корреляционные связи с петрогенными оксидами, входящими в состав минералов, устойчивых в условиях водной транспортировки и выветривания, что позволяет сделать вывод об осадочной природе углерода в этих породах. Низкое содержание органического углерода характерно и для магнезиальных карбонатов, что свидетельствует в пользу отсутствия связи между процессами доломитизации и углеродизации.

Наиболее интенсивно углеродизированы породы с Fe-Mn минерализацией и флюидизиты, содержания $C_{орг}$ в которых нередко превышают 10 %. В этих породах установлена положительная корреляция $C_{орг}$ с FeO, MnO, F, S, Pb, Ag. Участие углерода в гидротермальном рудогенерирующем процессе обусловило его общий восстановительный характер, который подтверждается находками в рудах самородного железа и ромбических кристаллов с содержанием Fe 90–95 % (когенит ?). Таким образом, углерод непосредственно участвовал как в формировании флюидизитов, так и в образовании ассоциирующих с ними железо-марганцевых руд. В то же время гидротермальные железные руды, обломки которых наряду с карбонатами присутствуют в флюидизитах, бедны органическим углеродом (1–2 % $C_{орг}$ в единичных пробах).

Как показано выше (табл. 1, рис. 4), относительно низкими содержаниями серебра (не более 2 г/т в единичных пробах) отличаются карбонаты кальция и флюидизиты кислого состава. Высокие содержания этого металла характерны для магнезиальных (доломитизированных) карбонатов, флюидизитов основно-

го и среднего состава, а также для железных и, особенно, железо-марганцевых руд.

Руды месторождения содержат повышенные концентрации благородных металлов, среди которых нами детально исследовано серебро. Согласно минералогическим и геохимическим данным, благороднометалльная минерализация месторождения Поперечное формировалась, как минимум, в три этапа: первый связан с доломитизацией вмещающих известняков, второй сопровождал гидротермальные процессы формирования железных руд, а на третьем этапе происходил привнос благородных металлов при внедрении тел флюидизитов и железо-марганцевой минерализации с сопутствующей углеродизацией. При этом наиболее высокие концентрации благородных металлов в образованиях третьего этапа обусловлены интегрирующим эффектом, связанным с захватом обломков пород, уже обогащенных ими в течение ранних этапов (обломки доломитов, железных и железо-марганцевых руд с Ag и сопутствующими Au и Pd).

На основе анализа геологических взаимоотношений изученных пород, средних содержаний в них серебра, корреляционных связей углерода и серебра с оксидами железа, марганца и другими элементами, можно предложить следующую последовательность формирования пород и руд месторождения. Магнезиальный метасоматоз известковистых пород привел к образованию их доломитизированных разновидностей – от доломитов до магнезитов. Железные руды сформированы в результате гидротермально-осадочной деятельности. Эти процессы сопровождались привнесением серебра при низкой активности органического углерода. Резким повышением содержания углерода и серебра сопровождаются внедрение флюидизитов и формирование железо-марганцевых руд, что говорит об их генетической взаимосвязи.

Обнаружение проб с высокими содержаниями PGE и золота [4, 7, 10] позволяет прогнозировать возможность обнаружения тел с благороднометалльной минерализацией, имеющих промышленное значение, как в пределах месторождения Поперечного, так и в Южно-Хинганском рудном узле в целом.

ВЫВОДЫ

1. Железорудная, железо-марганцевая и благороднометалльная минерализация месторождения Поперечное сформирована в результате полиэтапной гидротермально-магматической деятельности, характеризовавшейся на первом этапе доломитизацией вмещающих известняков, а на завершающем – образованием флюидизитов с сопутствующей углеродизацией.

2. Впервые установлено серебро в углеродизированных доломитах и железо-марганцевых рудах,

содержания которого достигают 296,2 г/т. Серебро, как и золото, присутствуют в виде микровключений интерметаллидов (менее 50 мкм) с примесями Fe, Cu, Pd, Ta, Zn, Te. Также установлены сульфиды и хлориды серебра. Присутствие значительного количества тантала в составе золотин и постоянной примеси ниобия в пирите свидетельствует о том, что кроме гидротермальной минерализации редкие и благородные металлы поступали из магматического источника при формировании флюидизитов.

3. Серебро поступало в рудную зону начиная с этапа доломитизации до этапа внедрения флюидизитов, завершающего формирование рудной зоны. Не исключается возможность перераспределения серебра и других благородных металлов вследствие контактного метаморфизма при внедрении палеозойских интрузий. Этот вопрос важен для выявления источников россыпей золота на Малом Хингане и требует постановки специальных исследований. С позиции магматогенно-гидротермальной модели благородно-металлической минерализации в Южно-Хинганской металлогенической зоне, обсуждаемой в настоящей работе, при прогнозных и поисково-оценочных работах следует обратить внимание на углеродистые, углеродисто-карбонатные и брекчированные породы, вскрытые в плотиках отработанных россыпей.

4. Выявленная связь аномальных концентраций серебра с доломитизированными известняками указывает на перспективу выявления объектов с промышленными концентрациями благородных металлов в карбонатных породах региона. Мнение Л.В. Эйриша [21] о возможном выявлении на Малом Хингане объектов Карлинского типа находит свое вещественное подтверждение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 27 Президиума РАН (проект 12-1-П27-03), Программы Президиума РАН «Дальний Восток», интеграционных проектов 12-11-СУ-08-011 и 12-11-УО-08-017.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердников Н.В., Коновалова Н.С., Зазулина В.Е. Исследование включений благородных металлов в высокоуглеродистых породах методом РЭМ-РСМА // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 2. С. 90–96.
2. Варшал Г.М., Велюханова Т.К., Кошечева И.Я., Баранова Н.Н., Козеренко С.В., Галузинская А.Х., Сафронова Н.С., Банных Л.Н. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994. № 6. С. 114–121.
3. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
4. Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е. Металлогения урана Дальнего Востока России М.: Наука, 2006. 372 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1000000. Лист М-52: Объясн. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2012. [ftp://ftp.vsegei.ru/M-52/M-52_ОбЗар.pdf](http://ftp.vsegei.ru/M-52/M-52_ОбЗар.pdf).
6. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород: Справочное пособие. М.: Недра, 1985. 511 с.
7. Жирнов А.М., Горошко М.В., Моисеенко Н.В. Южно-Хинганский золото–железородный гигант в протерозойском грабене Буреинского кратона (Дальний Восток России) // Вестн. Северо-Восточн. науч. центра ДВО РАН. 2012. № 2. С. 2–10.
8. Карсаков Л.П., Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Бакулин Ю.И. Золотоносность Северо–Восточного Китая в связи с перспективами российского Приамурья // Добыча золота. Проблемы и перспективы: Докл. семинара. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 1997. Т. 3. С. 408–414.
9. Малышев Ю.Ф. Типы земной коры Восточной Азии и их геологическая интерпретация // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 6. С. 3–16.
10. Моисеенко Н.В., Щипачев С.В., Саннелевич Н.С., Макеева Т.Б. Первые находки благородных металлов на Хинганском месторождении марганцевых руд (участок Поперечный) // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов Востока России. Новые технологии переработки благороднометаллического сырья: Сб. науч. трудов. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2005. С. 72–74.
11. Невструев В.Г. Оценка фациальных условий отложения древних металлоносных осадков по соотношению содержания железа и марганца // Тектоника, глубинное строение и минерогения Востока Азии: Материалы Всерос. конф. Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 302–306.
12. Невструев В.Г., Бердников Н.В., Нечаев В.П. Геохимическая характеристика углеродистых толщ восточной части Буреинского массива, несущих благороднометаллическую минерализацию // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 3–15.
13. Невструев В.Г., Саксин Б.Г., Усиков В.И., Бердников Н.В. Криповулканические древние породы Малого Хингана // Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит: Материалы Второй Всерос. конф. с междунар. участием. Владивосток, 17–20 сентября 2014 г. Владивосток: Дальнаука, 2014. С. 213–216.
14. Остапенко Н.С. К оценке перспектив Сутарского и Приамурского золотороссыпных районов Приамурья на рудное золото с позиций открытости-закрытости гидротермальных систем // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии: Третья Всерос. науч. конф.: Сб. докладов в 2-х т. 1. Благовещенск: ИГиП ДВО РАН, 2014. С. 146–149.
15. Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Дуань Жуйянь, Чжу Цунь, Горошко М.В., Гурович В.Г. Золотоносность юга Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 6. С. 3–17.
16. Саксин Б.Г., Невструев В.Г., Усиков В.И. Современное состояние поисков эндогенных месторождений благородных металлов на Малом Хингане (Дальний Восток) // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 1. С. 72–79.
17. Ханчук А.И., Невструев В.Г., Бердников Н.В., Нечаев В.П. Петрохимические особенности углеродистых сланцев в восточной части Буреинского массива и их благородно-

- металльная минерализация // Геология и геофизика. 2013. № 6. С. 815–828.
18. Чеботарев М.В. Геологическое строение Южно-Хинганского марганцевого месторождения и вещественный состав его руд // Сов. геология. 1958. № 8. С. 114–136.
 19. Черепанов А.А., Бердников Н.В. Благородные металлы в углеродистых породах восточной части Буреинского массива: новые данные // Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: Материалы Всерос. конф. Владивосток: Дальнаука, 2013. С. 339–341.
 20. Черепанов А.А., Бердников Н.В. Минералого-геохимические свойства графита и благороднометалльная минерализация месторождения Союзное (Дальний Восток) // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 4. С. 80–87.
 21. Эйриш Л.В. К перспективам выявления на Дальнем Востоке России месторождений карлинского типа // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 4. С. 72–79.
 22. Эйриш Л.В., Саксин Б.Г. Золотоносность Малого Хингана, закономерности локализации, проблема рудного золота // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 6. С. 114–122.
 23. Boström K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments // Stockholm contributions in geology. 1973. V 27. 95 p.
 24. Peccerillo A. Plio-Quaternary volcanism in Italy // Petrology, geochemistry geodynamics. Springer, Heidelberg, 2005. 365 p.
 25. Toth J.R. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron // Geol. Soc. Am. Bull. 1980. Part I. V. 91. P. 44–54.
 26. Xiao-Hui Sun, Xiao-Qing Zhu, Hao-Shu Tang, Qia Zhang, Tai-Yi Luo, Tao Han. Protolith reconstruction and geochemical study on the wall rocks of Anshan BIFs, Northeast China: Implications for the provenance and tectonic setting // J. Geochem. Explor. 2014. V. 136. P. 65–75.
 27. Zarasvandi A., Lentz D., Rezaei M., Pourkaseb H. Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences // Cheme der Erde-Geochemistry. 2013. V. 73, Is. 4. P. 495–508.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

V.G. Nevstruev, N.V. Berdnikov, B.G. Saksin, V.I. Usikov

Carbonaceous rock-hosted precious metal mineralization at the Poperechnoye iron-manganese deposit (Malyi Khingan, Russia)

Geochemical and mineralogical studies of the manganese-iron ores localized in the dolomites and dolomitized rocks of Late Proterozoic to Early Cambrian age evidence their hydrothermal origin. The Corg content varies from the first to 15.98 %. The increased and high contents are determined in fluidizites of basic composition and manganese-iron ores. The precious metal mostly gold-silver mineralization was formed in three stages: dolotimization, formation of hydrothermal banded ores and subsequent intrusion of basic to medium fluidizites. High Ag (up to 296.2 g/t) concentrations are confined to the intervals with a high Corg, however direct correlation between them was not established. In medium and basic fluidizites, silver is positively correlated with MnO, Na₂O, Co, Ni, Zn, Nb, Ba, Cu, and Pb. Electron microscopic studies has revealed numerous grains of native Ag, Au and their intermetallic microinclusions (< 50 microns) with an admixture of Fe, Cu, and rare Pd, Ta, Zn, and Te.

Key words: Fe-Mn ores, precious metals, organic carbon, fluidizites, Malyi Khingan, Far East.