

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗНОТИПНЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ И ИХ МЕТАСОМАТИТАХ ЛЕБЕДИНСКОГО И СТОЙЛЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ (КМА)

Член-корр. РАН Н. М. Чернышов, О. Г. Резникова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2010 г.

Аннотация. На основании комплексных исследований технологических проб разнотипного золото-платинометалльного оруденения, развитого в железистых кварцитах Лебединского и Стойленского месторождений, установлен широкий спектр собственных минеральных фаз, представленных самородными металлами (Au, Os, Ru), интерметаллическими соединениями и сплавами ($Au_{0,1}Ag_{0,03}Pd_{0,02}$; Os, Ru, Ir; Ru, Os, Ir, Pt), сульфидами, сульфидарсенидами ($Pt_{1,01}Fe_{0,02}As_{1,91}S_{0,09}$; $Co_{0,97}Ni_{0,03}Fe_{0,01}AsS$; $Ni_{0,8}Fe_{0,08}Co_{0,09}Pd_{0,02}AsS$) и другими соединениями. Получены новые данные об их распределении в различных промышленных типах руд.

Ключевые слова: железистые кварциты, золото-платинометалльное оруденение, формы нахождения, самородные металлы, сульфиды, минералогия.

Abstract. On the basis of complex researches of technological tests polytypic gold-platinometal mineralization, Lebedinsky developed in ferriferous quartzites and Stojlensky deposits the wide spectrum of own mineral phases presented by native metals (Au, Os, Ru), intermetals by connections and alloys ($Au_{0,1}Ag_{0,03}Pd_{0,02}$ is established; Os, Ru, Ir; Ru, Os, Ir, Pt), sulphides, sulphid-arsenides ($Pt_{1,01}Fe_{0,02}As_{1,91}S_{0,09}$; $Co_{0,97}Ni_{0,03}Fe_{0,01}AsS$; $Ni_{0,8}Fe_{0,08}Co_{0,09}Pd_{0,02}AsS$) and other connections. The new data about their distribution in various industrial types of ores is obtained.

Key words: ferriferous quartzites, gold-platinometal mineralization, finding forms, native metals, sulphides, mineralogy

Известно [1–4], что железистые кварциты, широко распространенные на всех континентах Земли и слагающие крупные и уникальные месторождения, могут содержать благороднометалльную минерализацию, которая уже обеспечивает за рубежом около 25 % годовой добычи золота [5].

Важнейшим, но мало исследованным компонентом золотоносных железистых кварцитов являются элементы платиновой группы (ЭПГ), содержание которых в ряде случаев достигает промышленных концентраций как в самих рудах, так и в продуктах их обогащения [5–9].

Среди благородных металлов, являющихся важнейшим компонентом железистых кварцитов, количественно преобладающее золото находится преимущественно в самородном состоянии, а также в виде сплавов [2, 10, 11].

Сведения о наличии собственных минеральных фаз ЭПГ в железистых кварцитах крайне ограничены. Достоверно установлены самородный пал-

ладий, палладистое золото (Pd от 1 до 50 %), а также арсенид-антимониды и селениды палладия (палладсцит – $Pd_{17}Se_{15}$, арсениопалладинит – $Pd_5(As,Sb)_2$, атенеит – $(Pd,Hg)_3As$, изомертиит – $PdAsSb$, стибиопалладинит – Pd_5Sb_3) в золоторудном месторождении Итабира (Бразилия), связанном с железисто-кремнистой формацией, а также соединения состава PdAg (Pd = 49,28–49,70 %; Ag = 49,19–49,43 %; Cu = 0,09–0,13 %) в гипергенных железных рудах [12–15]. Единичные зерна (до 50 мкм) существенно осмиевого состава – рутениридосмин (мас. %: Os = 64,4; Ir = 18,3; Ru = 10,5; Rh = 2,0; Pt = 2,0; Pd < 0,5; Fe = 1,3; Ni = 0,8) установлены в немагнитной фракции гравитационного концентрата Оленегорского месторождения (Кольский полуостров) [16].

Выполненные [17] специальные исследования железистых кварцитов Курской магнитной аномалии (КМА) позволили существенно расширить сведения о минералогии ЭПГ и Au [18–23].

В мегаблоке КМА сосредоточен ряд супергигантских (Михайловское, Лебединское) и гигант-

ских (Стойленское, Коробковское, Стойло-Лебединское) месторождений, связанных с железисто-кремнисто-сланцевой формацией нижнего карелия (в объеме курской серии). Две трети разведанных запасов железных руд сосредоточено в этих пяти месторождениях, которые отрабатываются тремя ГОКами, обеспечивая около 53 % добываемого в стране железорудного сырья. Важнейшим компонентом железистых кварцитов, а также сформировавшихся за их счет залежей богатых железных руд доверхневизейской коры выветривания и гигантских по объему (около 1,3 млрд т) промпродуктов горнорудных предприятий, являются благородные металлы, выступающие в качестве одного из крупнейших нетрадиционных источников селективной и попутной золото-платинодобычи XXI столетия.

Для выделения минеральных форм нахождения благородных металлов в железистых кварцитах Лебединского и Стойленского месторождения было отобрано 5 технологических проб, относимых к метаморфогенно-метасоматическому и гидротермально-метасоматическому типам оруденения. При детальном изучении было обнаружено, что пробы 18/2 и 528 неоднородны и состоят из 2 различных типов кварцитов. Они были разделены и рассмотрены. В итоге проанализированы следующие разновидности железистых кварцитов.

1. Метаморфогенно-метасоматический тип оруденения:

– сульфидизированные слаборудные кварциты из нижней (проба А-18/2 Лебединского месторождения) и верхней (проба СТ-105 Стойленского месторождения) железорудных подсвит;

– сульфидизированные силикатно-магнетитовые кварциты верхней (528 А) и нижней (520)

железорудных подсвит Лебединского месторождения;

– сульфидизированные гематит-магнетитовые кварциты из нижней железорудной подсвиты Лебединского месторождения (18/4).

2. Гидротермально-метасоматический тип оруденения:

– окварцованный сульфидизированный амфиболсодержащий метасоматит (528 Б) верхней железорудной подсвиты Лебединского месторождения.

Метаморфогенно-метасоматический тип оруденения

Слаборудные кварциты представлены двумя пробами из нижней и верхней железорудных подсвит Лебединского и Стойленского месторождений. Благороднометалльная минерализация такого типа кварцитов представлена высокопробным самородным золотом с примесью меди и серебряной лигатурой.

Состав самородного золота в пробе сульфидизированных слаборудных магнетитовых кварцитов из нижней подсвиты Лебединского месторождения характеризуется 939 пробностью, а среди примесей характерна медь (0,4–2,3 мас. %). В этой пробе встречено трехфазное зерно самородного золота в сростании с серебряным сплавом промежуточного состава (50 : 50 ат. %) и петцитом (Ag_3AuTe_2) (рис. 1).

Такая же ассоциация высокопробного золота (920–990 ‰, редко снижаясь до 840–760 ‰) с серебром наиболее широко представлена в пробе из слаборудных кварцитов верхней железорудной подсвиты Стойленского месторождения [20–22].

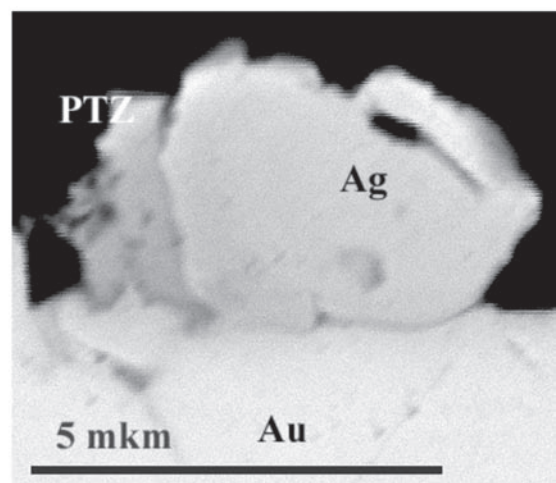
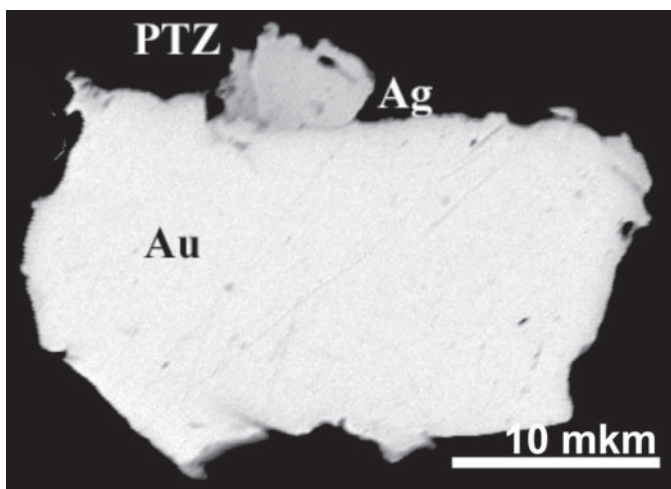


Рис. 1. Сростание самородного золота (Au), серебра (Ag) и петцита (PTZ); проба А-18/2, Лебединское месторождение)

Вторая генерация представлена медистым золотом (рис. 2) с содержанием меди от долей процента до Au_2Cu и $AuCu$ (тетрааурикуприд), по всей вероятности, это наиболее ранняя мало распространенная его генерация.

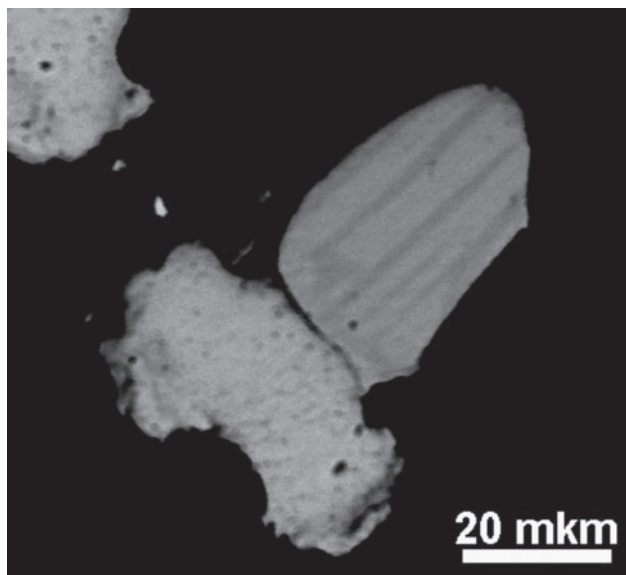


Рис. 2. Формы выделения самородного золота и сопутствующих минералов из тяжелой фракции сульфидизированного слаборудного кварцита Стойленского месторождения: два зерна золота разного состава: полосатое зерно – сплав золото–медь (темные полосы – $AuCu$; светлые – Au_2Cu); крапчатое зерно снизу золото–серебряного состава

Для самородного золота из пробы СТ-105 (Стойленского месторождения) характерны изометрические формы и ассоциации с минералами висмута [20–22]. В одном из кубических кристаллов пирита отмечено мельчайшее включение высокопробного самородного золота.

В качестве ассоциации с самородным золотом обнаружены сотни зерен минералов висмута (по мере снижения распространенности): самородный висмут, висмутин, тетрадимит и значительно более редко наблюдаются жозеит (жозеит А) и лиллианит, а также шеелит, барит и уранинит, содержащий значительную примесь радиогенного свинца.

Значительно реже в этих породах встречаются минералы платиновой группы. В процессе электронно-микроскопических исследований во всех шлифах и концентратах производился целенаправленный поиск минералов – носителей металлов платиновой группы. Однако только в двух препаратах удалось обнаружить значимые концентрации платиноидов, причем не в минеральной, а в примесной форме.

В первом случае в кристалле кобальтина (рис. 3, а) из тяжелой фракции гравитационного концентрата обнаружены мельчайшие включения (сгустки размером менее 1 мкм), содержащие золото, серебро и палладий. Микрорентгеноспектральный анализ не позволяет проанализировать включения такого размера, поэтому в анализе присутствует материал матрицы (кобальтина). По всей видимос-

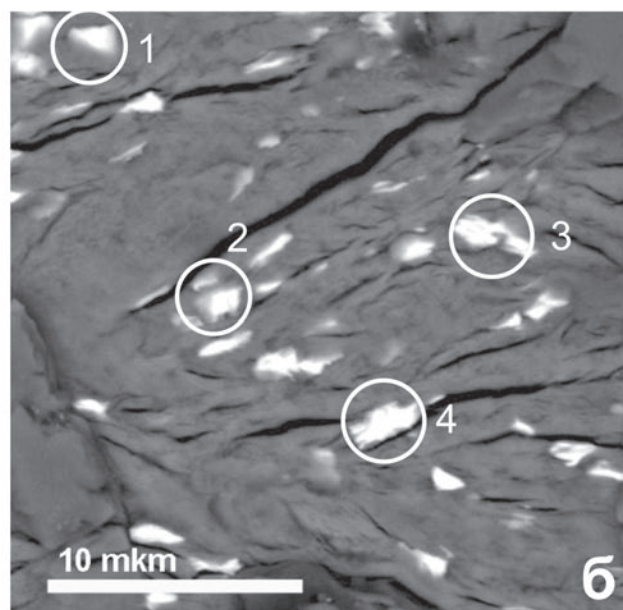
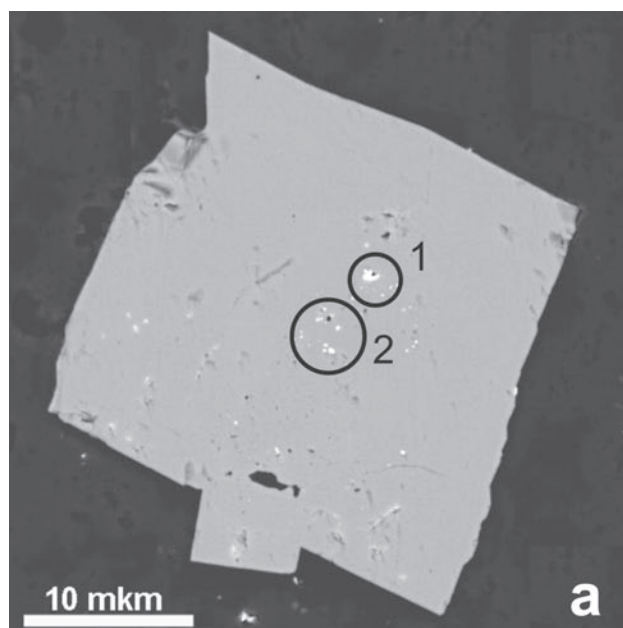


Рис. 3. Фотографии минералов из тяжелой фракции сульфидизированного слаборудного кварцита Стойленского месторождения: а) кристалл кобальтина с включениями Au , Ag , Pd сплава; б) зерна герсдорфита, содержащего благородные металлы (Pd). Вмещающий минерал – железистый клинохлор

ти, в этом образце мы имеем дело с мельчайшими включениями золото-серебро-палладиевых сплавов. В кобальтине из матрицы содержание благородных металлов ниже предела обнаружения (~ 0,1 мас. %).

Во втором случае в образце метасоматически измененных (хлоритизированных) кварцитов обнаружены включения герсдорфита в железистом клинохлоре (рис. 3, б), часть из них содержит значимую примесь палладия (0,65–1,26 мас. %).

В пробе слаборудных кварцитов из нижней железорудной подсвиты Лебединского месторождения минералы платиновой группы обнаружены не были. Как отмечалось, эта проба не отличалась однородностью и была разделена на две составляющие. Одна часть этой пробы является типичным слаборудным кварцитом. Вторая часть представляет собой слаборудный кварцит с экстрагированным углеродистым веществом. В ее составе обнаружены 5 зерен сперрилита и 3 зерна минералов тугоплавких платиноидов: два зерна самородного рутения, одно из которых с оторочкой сперрилита, содержащего в виде изоморфной примеси небольшие концентрации палладия, рутения, а также родий до 5 мас. % и шестиугольный пластинчатый кристалл самородного осмия [23].

Сравнение химических составов двух проб слаборудных кварцитов из разных железорудных подсвит двух крупнейших месторождений свидетельствует о некоторой обогащенности литофильными и сидерофильными элементами пробы из

нижней железорудной подсвиты Лебединского месторождения и халькофильными элементами пробы из верхней железорудной подсвиты Стойленского месторождения. Особенно следует отметить повышенные содержания Ni и Co в пробе Стойленского месторождения (табл. 1) и наличие кобальтина и герсдорфита, в которых обнаружены зерна Pd.

Силикатно-магнетитовые кварциты

Представлены также двумя пробами из нижней (520) и верхней (528А) железорудных подсвит Лебединского месторождения. В этих породах не обнаружены минералы платиновой группы. Пробность самородного золота несколько ниже, чем в слаборудных кварцитах (~ 781 ‰) из нижней железорудной подсвиты. В обеих пробах присутствует в небольшом количестве серебро. Причем проба, содержащая золото в самородном виде, обогащена халькофильными и сидерофильными элементами, тогда как во втором случае наблюдаются повышенные концентрации хрома (табл. 1).

Морфология зерен самородного золота такая же, как и в пробах слаборудных кварцитов, чаще всего изометричная, иногда почти округлая. Пластинчатые формы отмечаются только у мелких золотин. Иногда встречаются кристаллы самородного золота, которые, судя по случайным сечениям, представлены октаэдрами (рис. 4, а).

Помимо свободных золотин в пробе встречены сростки с другими минералами: с халькопиритом,

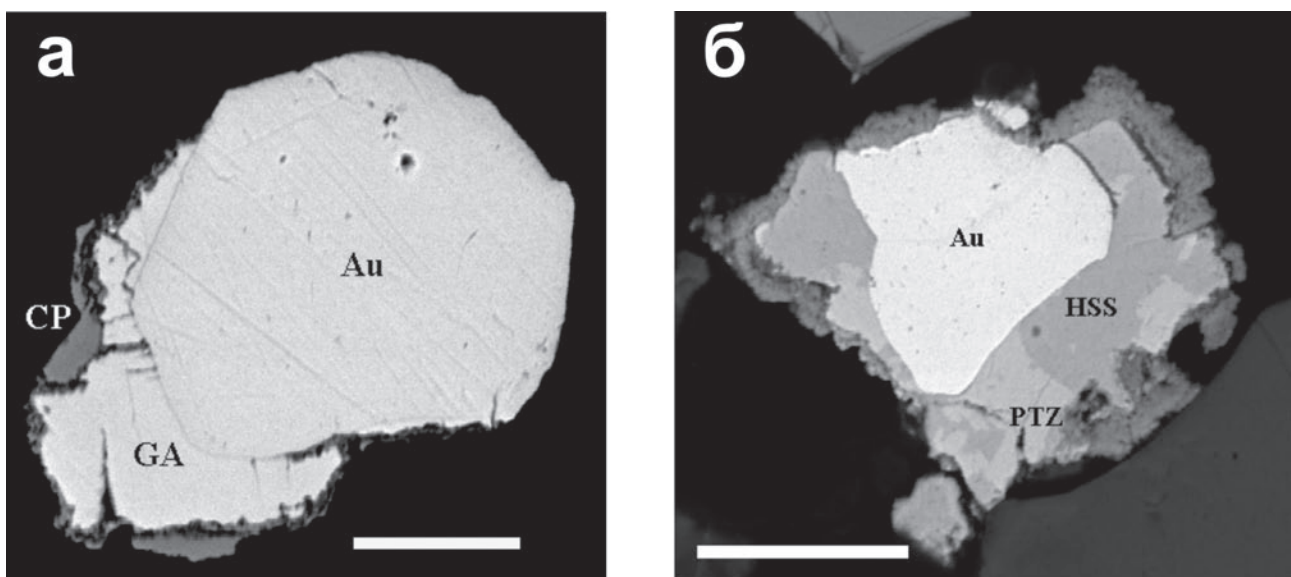


Рис. 4. Формы нахождения золота и его сростания с другими минералами: а) кристалл самородного золота пробностью 651 ‰ в сростании с галенитом (GA) и халькопиритом (CP); б) сложный сросток самородного золота с петцитом (PTZ) и гесситом (HSS). Оторочка вокруг сростка – маккинстриит. Метка маркера – 20 мкм

галенитом (рис. 4, а), петцитом, гесситом, маккинстриитом (рис. 4, б), а также креннеритом, пиритом и борнитом (табл. 2) [23]. Причем наибольшая пробаность золотин наблюдается в сростании с галенитом и борнитом (875 ‰), тогда как с халькопиритом, креннеритом и пиритом пробаность резко снижается (654 ‰).

Гематит-магнетитовые кварциты

В сульфидизированных гематит-магнетитовых кварцитах (проба А-18/4, Лебединское месторождение) пробаность золота относительно пониженная (893 ‰). В этой пробе в отдельных зернах самородного золота наблюдается повышенная концентрация меди до 11,6 мас. %.

В гематит-магнетитовых кварцитах были обнаружены минералы металлов платиновой группы – 4 зерна сперрилита и 4 зерна минералов тугоплавких платиноидов, представленные изоморфным рядом (Os, Ru, Ir). Одно из зерен однородное, а второе со-

держит включения, которые представлены тем же набором металлов и в том же соотношении. Повышенная величина поглощения является следствием вероятного наличия оксидных фаз тугоплавких платиноидов (рис. 5, а). Еще одно зерно относится к этому же ряду, но отличается высоким содержанием платины (рис. 5, б). И наконец, одно из зерен этой пробы обладает двухфазным строением. Матрица имеет химический состав, отвечающий самородному рутению с примесью платины и родия. Включение с размерами около 2×1 мкм отвечает составу редкого сульфида родия – прассоита (или миассита – $Rh_{17}S_{15}$) (рис. 5, в).

Сперрилит представлен очень мелкими (менее 5 мкм) оскольчатыми зернами (рис. 6). Их состав соответствует стехиометрическому.

По химическому составу эта проба выделяется повышенными содержаниями Mn, Sn, Pb и Li (табл. 1).

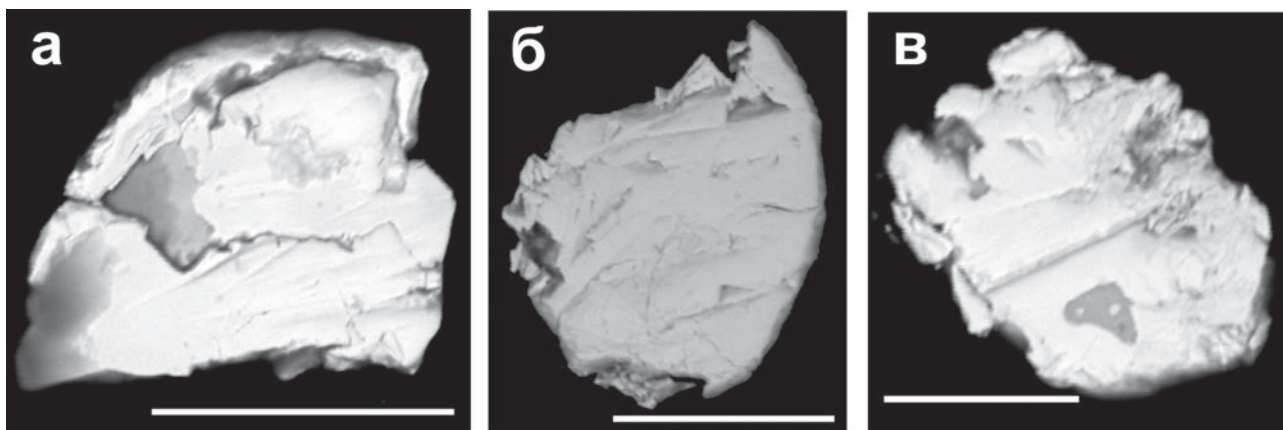


Рис. 5. Зерна тугоплавких платиноидов: а) зерна минералов ряда (Os, Ru, Ir), видны включения, вероятно, оксидной фазы (?); б) зерно рутений-осмий-иридиевого сплава с повышенной концентрацией платины (RuIrOsPt); в) зерно самородного рутения с примесью платины и родия (RuPtRh) с включением сульфида родия – прассоита (миассита) (проба 18/4, Лебединское месторождение). Метка маркера – 10 мкм

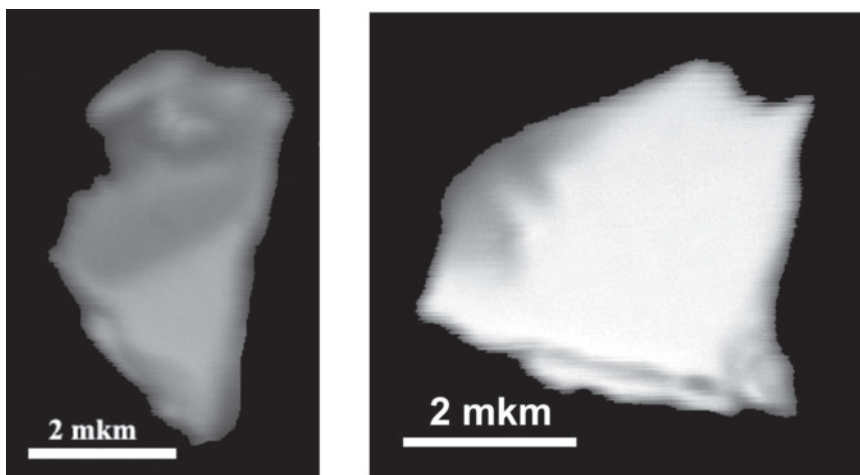


Рис. 6. Характерные формы выделений сперрилита в тяжелой фракции (проба 18/4, Лебединское месторождение)

Химический состав проб сульфидизированных железистых кварцитов

Элементы	Метаморфогенно-метасоматический тип оруденения					Гидротермально-метасоматический тип оруденения
	Слаборудные кварциты		Силикатно-магнетитовые кварциты		Гематит-магнетитовые кварциты	Метасоматит
	А-18/2	СТ-105	528-А	520	А-18/4	528-Б
Sc, ppm	2,3	5,0	3,2	5,2	5,5	5,6
Ti, ppm	165,5	78,1	16,8	75,5	12,9	40,9
V, ppm	16,0	6,7	3,2	8,8	< 0,02	9,7
Cr, ppm	32,9	15,6	14,6	6,7	7,1	3,3
Mn, ppm	292,6	125	301	220,6	911,4	461,3
Fe, ppm	46 %	29,2 %	39,7 %	40,2 %	44,40 %	28,6 %
Co, ppm	5,5	134,1	2,1	333,8	12,5	236,4
Ni, ppm	13,8	288,7	6,5	212,3	3,3	521,3
Cu, ppm	22,1	880	13,1	1153	69,6	1265
Zn, ppm	2,9	91,3	2,2	720	58,0	564
Ga, ppm	1,5	1,1	0,2	1,6	0,1	1,3
Ge, ppm	3,6	3,6	5,4	1,7	0,7	1,1
As, ppm	1,1	71	0,6	269,4	16,9	0,8
Se, ppm	0,2	1,1	0,2	36,2	< 0,05	15,2
Zr, ppm	9,9	32,6	10,1	12,3	1,1	11,3
Nb, ppm	2,8	3,3	3,1	1,8	0,7	2,6
Mo, ppm	0,5	31,2	0,3	19,7	0,3	23,3
Cd, ppm	0,01	< 0,02	< 0,02	0,1	< 0,02	0,1
Sn, ppm	0,6	1,6	1,9	3,7	126,3	2,6
Sb, ppm	0,38	19,7	0,2	11,1	0,96	2,6
Te, ppm	0,05	1,3	0,1	5,4	0,27	3,3
Ta, ppm	0,08	0,05	0,05	0,03	< 0,01	0,1
W, ppm	0,57	1,9	0,06	0,3	0,39	0,12
Re, ppm	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hg, ppm	0,05	< 0,01	< 0,01	0,01	0,20	0,02
Tl, ppm	0,04	0,01	0,01	0,27	0,24	0,03
Pb, ppm	4,6	33,5	0,9	110,2	128,4	35,7
Bi, ppm	0,3	15,6	0,1	12,1	0,3	62,3
Th, ppm	1,02	3,3	1,3	3,3	0,36	2,6
U, ppm	1,22	8,4	1,1	3	1,36	6,2

Примечание. Исследования проводились методом ISP-MS в ООО «Инструментс» в аналитической лаборатории масс-спектрометрического анализа.

Гидротермально-метасоматический тип оруденения

Проанализирован только один образец из этого типа – окварцованный сульфидизированный амфиболсодержащий метасоматит (528 Б) верхней железорудной подсвиты Лебединского месторождения.

Самородное золото – в виде изометрических, реже – уплощенных и вытянутых зерен. Кристаллы самородного золота сложной комбинационной формы кубооктаэдрического габитуса.

Анализ встреченных минеральных сростаний самородного золота показывает, что, по всей вероятности, в пробе присутствует золото одной ассоциации. Эта ассоциация характеризуется отсутствием теллуридов золота и серебра, однако здесь наблюдаются теллуриды и сульфотеллуриды висмута (табл. 2), что отличает эту пробу по ряду геохимических признаков [20, 21].

Самородное золото (724–762 ‰ пробности) находится обычно в сростании с халькопиритом. Обнаружено одно зерно золота (пробность 786 ‰) с включением хеддиита ($\text{Bi}_{6,95}\text{Te}_3$).

Среди сульфотеллуридов висмута установлены жозеит А ($\text{Bi}_{3,7}\text{TeS}_2$) и тетрадимит ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$) (табл. 2). Взаимоотношений этих минералов с золотом обнаружить не удалось.

Пробность самородного золота в пробе характеризуется широкими вариациями: от 563 до 862 ‰. Однако в этой пробе основная часть золота принадлежит узкому классу пробности – от 700 до 800 ‰. Средняя пробность в пробе – 740 ‰ при 33 измерениях.

Таким образом, золото-платинометалльное оруденение в железорудных месторождениях характеризуется сложным полиминеральным составом [18–23], представленным как самостоятельными минералами благородных металлов, так и сопутствующими им элементами [16, 24]: а) самородными металлами и их сплавами (самородные Au, Os, Ru, минералы ряда Au, Ag, Pd → Ru, Ir, Os, Pt → Os, Ru, Ir и др.; б) сульфидами (прассоит, маккинстриит); в) сульфоарсенидами, теллуридами, висмутидами и др. (сперрилит, петцит, гессит, креннерит, цумоит, а также хеддиит, кобальтин, герсдорфит – платиносодержащие, жозеит, тетрадимит; табл. 2).

Таблица 2

Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения Лебединского и Стойленского железорудных месторождений КМА (по [20] с дополнениями)

Минералы	Формула	Метаморфогенно-метасоматический тип оруденения			Гидротермально-метасоматический тип оруденения
		Слаборудные кварциты	Силикатно-магнетитовые кварциты	Гематит-магнетитовые кварциты	
1	2	3	4	5	6
Самородное золото	Au ~ 939 ‰ (Cu ~ 0,4–2,3 %)	+			
	Au ~ 893 ‰ Cu ~ 11,6 %			+	
	Au ~ 740 ‰	+			
	Au ~ 830 ‰ Ag ~ 16 %	+	+		+
	Au ~ 870 ‰ Ag ~ 12 %	+	+		
	Au ~ 710 ‰ Ag ~ 28 %		+		+
	Au ~ 750 ‰ Ag ~ 24 %	+	+		+
	Au ~ 654 ‰ Ag ~ 34 %		+		
	Au ~ 969 ‰ (Ag ~ 0,4–2,3 %)	+			
Осмий	Os	+			
Рутений	Ru	+		+	
Минералы ряда:	$\text{Au}_{0,1}\text{Ag}_{0,03}\text{Pd}_{0,02}$	+			
	(Os, Ru, Ir)			+	
	(Ru, Os, Ir, Pt)			+	

1	2	3	4	5	6
Самородный висмут	Bi	+			
Сульфиды					
Прассоит (миассит)	Rh ₁₇ S ₁₅			+	
Маккинстриит	Ag _{1,15} Au _{0,1} Fe _{0,1} Cu _{0,66} S		+		
Пирротин (моноклинный, гексагональный; троилит, в том числе Pt, Pd, Au-содержащий)	Fe _{1-x} S	+	+	+	+
Пирит (в том числе Pt, Pd, Au-содержащий)	FeS ₂	+	+	+	+
Халькопирит (в том числе Pt, Pd, Au-содержащий)	CuFeS ₂	+	+	+	+
Сфалерит	ZnS	+	+		+
Галенит (в том числе Pt, Pd, Au, Ag-содержащий)	PbS	+	+		+
Борнит (в том числе Pd-содержащий)	Cu ₃ FeS ₄		+		
Лиллианит	Bi ₂ Pb ₃ S ₆	+			
Висмутин	Cu _{0,04} Bi ₂ S ₃	+			
Сульфоарсениды, теллуриды, висмутиды, сульфосоли					
Сперрилит	Pt _{1,01} Fe _{0,02} As _{1,91} S _{0,09}	+		+	
Петцит	Ag _{3,09} Au _{1,03} Te ₂	+	+	+	
Гессит	Ag _{1,99} Au _{0,03} Te _{0,96} Bi _{0,04}	+	+		
Креннерит	Au _{0,85} Ag _{0,16} Te ₂		+		
Цумоит	Au _{0,85} Te _{0,51} Bi _{0,48}	+			
Хедлиит платиносодержащий	Te ₃ Bi _{6,95}				+
Жозеит-А	TeS _{2,02} Bi _{3,68}	+			+
Тетрадимит	Te ₂ S ₂ Bi ₂	+			+
Арсенопирит платиносодержащий	FeAsS		+		+
Никелистый кобальтин палладийсодержащий	Co _{0,97} Ni _{0,03} Fe _{0,01} AsS	+			
Герсдорфит палладийсодержащий	Ni _{0,8} Fe _{0,08} Co _{0,09} Pd _{0,02} AsS	+			
Оксиды, гидроксиды и др.					
Магнетит	FeFe ₂ O ₄	+	+	+	+
Гематит	Fe ₂ O ₃			+	
Рутил	TiO ₂		+		+
Уранинит и настуран	UO ₂	+	+		+
Барит	Ba[SO ₄]	+	+		+
Шеелит	Ca(W,Mo)O ₄	+	+		+
Касситерит	SnO ₂		+		+
Бадделеит	ZrO ₂		+		+
Циркон	Zr[SiO ₄]		+		+
Апатит	Ca ₅ (F,Cl,OH)[PO ₄] ₃	+			
Монацит	(Ce,La)[PO ₄]		+		+

Новые данные о широком развитии в рудах Лебединского и Стойленского месторождений золоторудной минерализации и формах нахождения золота и платиноидов позволяют использовать выбор реальных технологий их попутного извлечения из железорудных толщ КМА и их техногенных продуктов – нового крупномасштабного ис-

точника золото-платинодобычи в Центральной России.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» ГК 02.740.11.0021 и ГК П171, гранта РФФИ – 08-05-00158-а

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазаренков В. Г. Геохимия элементов платиновой группы / В. Г. Лазаренков, И. В. Таловина. – СПб. : Горный ин-т им. Г. В. Плеханова, 2001. – С. 192–194.

2. Шелехов А. Н. Месторождения железистых кварцитов и продукты их передела – новый перспективный источник золото-платиносодержащего сырья в XXI в. (на примере Центральной России) / А. Н. Шелехов, В. А. Лючкин, Ю. С. Ляховкин // Платина России : в 2 кн. – М. : Геоинформмарк. – 1999. – Т. III. – С. 289–294.

3. Шер С. Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания) / С. Д. Шер. – М. : Недра, 1972. – 295 с.

4. Шер С. Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка) / С. Д. Шер. – М. : Недра, 1974. – 256 с.

5. Дунай Е. И. Состояние, проблемы и задачи по развитию и укреплению минерально-сырьевой базы Центрального Черноземья России (на примере Белгородской области) / Е. И. Дунай, В. И. Белых, И. Ф. Плужников // Вест. ВГУ. Сер.: Геол. – Воронеж, 1998. – № 6. – С. 131–142.

6. Геологический атлас России 1995–1996, масштаб 1 : 10 000 000. Разд. 3. Полезные ископаемые и закономерности размещения. Карта месторождений золота и платины России (N-36-I, M-37-I) / К. Г. Ильин [и др.] // М.–СПб., 1996. – С. 121–145.

7. Додин Д. А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова. – М. : Геоинформмарк, 2001. – 302 с.

8. Железисто-кремнистые формации докембрия / под ред. Я. Н. Белевцева. – Киев, 1992. – 229 с.

9. Изоитко В. М. Исследование минералого-технологических особенностей благороднометалльной минерализации железистых кварцитов Михайловского ГОКа / В. М. Изоитко, С. В. Петров // Материалы ЗАО «Механобр Инжиниринг». – СПб. – 2002. – С. 1–21.

10. Дьяченко А. П. О золотоносности горных пород докембрийского фундамента Старооскольского района Курской магнитной аномалии / А. П. Дьяченко, В. Я. Легедза, А. Н. Шелехов // Докл. АН СССР. – 1970. – Т. 193. – № 2. – С. 415–417.

11. Лазаренков В. Г. Месторождения платиновых металлов / В. Г. Лазаренков, С. В. Петров, И. В. Таловина. – СПб. : Недра, 2002. – 298 с.

12. Осовецкий Б. М. Типохимизм шлиховых минералов / Б. М. Осовецкий. – Пермь, 2001. – 244 с.

13. Юшко-Захарова О. Е. Платиноносность рудных месторождений / О. Е. Юшко-Захарова. – М. : Недра, 1975. – 248 с.

14. Olivo G. R. Palladium gold from Caue iron mine. Itabiro District, Minas Gerais, Brazil / G. R. Olivo, M. Gaunter, M. Bardoux // Miner. Mag. – 1994. – Vol. 58. – № 4. – P. 579–587.

15. Zang W. A silver-palladium alloy from Bahia lateritic gold deposit, Carajas, Brazil / W. Zang, W. S. Fyfe, R. L. Barneti // Miner. Mag. – 1992. – Vol. 56. – № 1. – P. 47–51.

16. Чернышов Н. М. Золото-платиноносность главнейших типов железорудных формаций мира (информационно-аналитический обзор) / Н. М. Чернышов, С. П. Молотков, О. Г. Резникова // Вест. ВГУ. Сер.: Геол. – 2003. – № 2. – С. 137–162.

17. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.

18. Чернышов Н. М. Особенности распределения и формы нахождения платиновых металлов и золота в железистых кварцитах КМА и их техногенных продуктах (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, В. М. Изюитко, С. П. Молотков // Платина России. Новые нетрадиционные типы платиносодержащих месторождений и рудопроявлений платиносодержащего сырья. – М. : Геоинформмарк, 2005. – Т. VI. – С. 87–99.

19. Чернышов Н. М. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов [и др.] // Докл. РАН. – 2003. – Т. 391. – № 1. – С. 104–107.

20. Чернышов Н. М. О золотоносности пород и руд Стойленского месторождения / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов, О. Г. Резникова // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер.: Геол. – 2009. – № 1. – С. 103–110.

21. Чернышов Н. М. Золотоносность Стойленского месторождения КМА (типы и состав благороднометалльного оруденения) / Н. М. Чернышов [и др.] // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 48–55.

22. Чернышов Н. М. Новые данные о минеральном составе благороднометалльного оруденения Стойленского железорудного месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов, С. В. Петров // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 428. – № 6. – С. 801–804.

23. *Чернышов Н. М.* Минеральные формы нахождения платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА (Центральная Россия) / *Н. М. Чернышов, С. В. Петров* // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – 2005. – № 2. – С. 31–38.

24. *Шелехов А. Н.* Золото- и платиноносность железистых кварцитов Русской платформы и пути их практического использования в XXI в. / *А. Н. Шелехов* // Руды и металлы. – 1999. – № 1. – 123 с.

Рецензент С. М. Пилюгин

*Воронежский государственный университет
Н. М. Чернышов, член-корреспондент РАН, доктор
геолого-минералогических наук, профессор, зав.
кафедрой минералогии и петрологии
Тел. 8 (4732) 208-681
petrology@list.ru*

*Voronezh State University
N. M. Chernyshov, Corresponding Member of the RAS,
Doctor of Geology-Mineralogical Science, Professor,
the Head of Chair of Mineralogy and Petrology
Tel. 8 (4732) 208-681
petrology@list.ru*

*О. Г. Резникова, преподаватель кафедры минералогии и петрологии
Тел. 8 (4732) 207-966
Reznikova_O@bk.ru*

*O. G. Reznikova, the assistant of Chair of Mineralogy
and Petrology
Tel. 8 (4732) 207-966
Reznikova_O@bk.ru*