

ЗОЛОТО В КОРЕ ВЫВЕТРИВАНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ МИХАЙЛОВСКОГО И СТАРООСКОЛЬСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ РАЙОНОВ КМА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)

М. М. Понамарёва

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 22 февраля 2013 г.

Аннотация. Установлены формы нахождения, унаследованный характер распределения по отношению к сланцам, железистым кварцитам и их метасоматитам, а также особенности поведения самородного золота в коре выветривания железистых кварцитов железорудных месторождений КМА.

Ключевые слова: железорудные районы, железистые кварциты, кора выветривания, Курская магнитная аномалия.

Abstract. Forms of occurrence, inherited character of the distribution with respect to the shale, jaspelites and their metasomatites are determined and behavior of native gold in the weathering crust of iron ore deposits of KMA are established.

Key words: iron ore regions, ferruginous quartzites, weathering crust, the Kursk Magnetic Anomaly

В пределах Михайловского и Старооскольского железорудных районов Курской магнитной аномалии (КМА) широко развиты коры выветривания железистых кварцитов, которые и являются объектом исследования данной работы, в связи с перспективностью их на благородные металлы.

Проблеме золотоносности железистых кварцитов посвящено много работ (Шелехов, 1993; Лючкин, 1993; Жмакин, 1990, 1995; Кушнеренко, 1999, 2001; Попкова, 2003 и др.).

В геологическом строении месторождений принимают участие нижнепротерозойские образования, представленные курской и оскольской сериями. В составе курской серии выделены две свиты: стойленская и продуктивная коробковская, которая включает две железорудные и две сланцевые подсвиты.

На Михайловском месторождении широко развита кора выветривания железистых кварцитов, которая представлена двумя морфологическими типами – площадной и линейной. Площадная кора имеет повсеместное распространение. Ее мощность в различных частях неодинакова и колеблется от 5 м до 150–300 м. В зонах тектонических нарушений и вдоль контактов со сланцами площадная кора переходит в линейную, погружаясь на глубину сотни метров. При ширине 150–200 м линейная кора выветривания иногда опускается

до горизонта –800 м, а вдоль контакта со сланцами зона окисления опускается до горизонта –400 м и глубже.

В пределах Стойленского месторождения мощность коры выветривания варьирует от 5 до 80 м. На Лебединском месторождении зона богатых руд коры выветривания практически отработана, за редким исключением некоторых участков небольшой мощности.

Выполненными исследованиями на Михайловском, Стойленском и Лебединском месторождениях в коре выветривания железистых кварцитов было установлено золото и широкий комплекс других благородных металлов [3, 4].

В железистых кварцитах Лебединского месторождения самородное золото представлено изометричными зёрнами и кристаллами, лишенными включений и зональности (рис. 1). В силикатно-магнетитовых кварцитах из Лебединского месторождения самородное золото имеет более низкую пробность, чем в слабрудных кварцитах (~781‰₀₀). Морфология зерен самородного золота такая же, как и в пробах слабрудных кварцитов, чаще всего изометричная, иногда почти округлая, пластинчатые формы отмечаются только у мелких золотинок. Среди изометричных зерен золота ранее был встречен [2] кристалл самородного золота, который имеет октаэдрическую форму. Так же отмечаются сростки золота с другими минералами: с халькопиритом, галенитом (рис. 1а, б), петцитом, гесситом, маккинстриитом (рис. 1б), креннеритом, пиритом и борнитом [2].

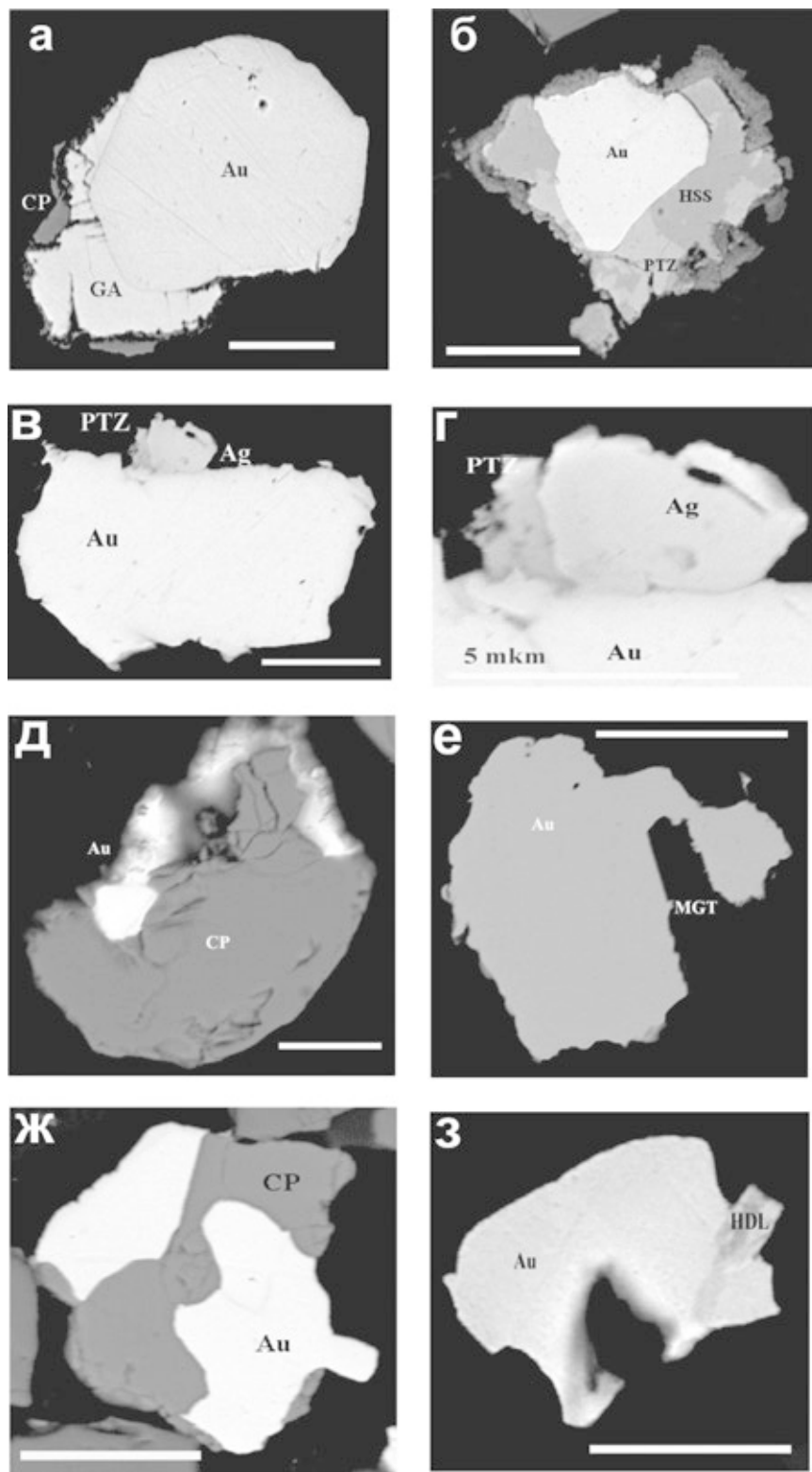


Рис. 1. Формы нахождения золота и его срastания с другими минералами в железистых кварцитах Лебединского месторождения: а) кристалл самородного золота пробностью 6510/00 в срastании с галенитом (GA) и халькопиритом (CP); б) сложный сросток самородного золота с петцитом (PTZ) и гесситом (HSS). Оторочка вокруг сростка – маккинстриит. Метка маркера – 20 мкм; в, г) срastание самородного золота, серебра и петцита [1]; д) срastание самородного золота с халькопиритом; е) срastание самородного золота с магнетитом; формы нахождения золотин в гидротермально-метасоматическом типе оруденения [2]: ж) сросток самородного золота с халькопиритом; з) сросток самородного золота с хедлиитом. Мерная линейка 20 мкм

Таблица 1

Химический состав самородного золота железистых кварцитов Лебединского месторождения [1, с дополнениями автора]

№ п/п	Ag	Au	Fe	Cu	Сумма
1	2,10	95,64		1,35	99,09
	0,04	0,92		0,04	1,00
2	8,59	91,31			99,90
	0,15	0,85			1,00
3	2,06	96,97	0,2	0,8	100,03
	0,04	0,93	0,01	0,02	1,00
4	6,27	93,44			99,71
	0,11	0,89			1,00
5	12,36	82,54		5,62	100,52
	0,18	0,67		0,14	1,00
6	5,64	94,32			99,96
	0,10	0,90			1,00
7	6,31	87,87		5,77	99,95
	0,10	0,75		0,15	1,00
8	11,51	88,48			99,99
	0,20	0,80			1,00
9	3,65	84,85		11,56	100,06
	0,05	0,67		0,28	1,00
10	2,14	95,23	0,36	2,30	100,03
	0,04	0,89	0,01	0,07	1,00

Примечание: в числителе – массовые %, в знаменателе – формульные единицы; 1–3 самородное золото из сульфидизированных слаборудных магнетитовых кварцитов (А18/2); 4–7 золото из углеродсодержащих безрудных сульфидизированных кварцитов (Б18/2), 5 – золото в ассоциации с халькопиритом, 6 – золото в ассоциации с магнетитом; 8–10 золото из сульфидизированных гематит-магнетитовых кварцитов (А18/4).

Состав самородного золота из сульфидизированных слаборудных магнетитовых кварцитов характеризуется высокопробным золотом, средняя пробность соответствует 939, а среди примесей характерна медь (0,4–2,3 масс.%). В пробах углеродсодержащих безрудных сульфидизированных кварцитов и сульфидизированных гематит-магнетитовых кварцитов пробность золота несколько снижается (900 ‰ и 893 ‰). В безрудных сульфидизированных кварцитах обнаружено трехфазное зерно самородного золота в сростании со сплавом (с серебром) и петцитом (Ag_3AuTe_2) (рис. 1 в, г, табл. 1). Помимо этого было встречено самородное золото, которое окружено каемкой цумоита ($BiTe$), а на контакте золота и цумоита отмечаются включения петцита (Ag_3AuTe_2) и гессита (Ag_2Te) [1].

Кроме того золото нередко присутствует в сростаниях с халькопиритом и магнетитом – это обычное высокопробное золото с серебрянной лигатурой (рис. 1 д, е, табл. 1.).

В окварцованном сульфидизированном амфиболсодержащем метасоматите (528 Б) верхней железорудной подсветы Лебединского месторождения самородное золото имеет изометричную, реже – уплощенную и вытянутую форму зерен. Кристаллы самородного золота сложной комбинационной формы кубооктаэдрического габитуса. Самородное золото (724 – 762‰) из гидротермально-метасоматического типа оруденения находится обычно в сростании с халькопиритом (рис. 1ж). Обнаружено одно зерно золота (786‰) с включением хедлиита ($Bi_{6,95}Te_3$) (рис. 1з).

В гидротермально-метасоматическом типе оруденения пробность золота изменяется от 563‰ до 862‰.

В коре выветривания железистых кварцитов Лебединского месторождения автором было установлено (12 зерен): самородное золото, химически чистое, которое вероятно прошло полный цикл преобразования. В результате этого процесса из него практически полностью вынесено серебро (табл. 2, рис. 2 а), лишь иногда отмечается золото с примесью серебра (рис. 2 б, д, е), пористое золото, причем поры пустые (рис. 2 в, г). Золото из коры выветривания имеет преимущественно неправильную, корродированную форму. Подавляющая часть зерен имеет размер менее 40 мкм, но встречаются золотины до 0,18 мм. Самородное золото окатанной формы имеет более высокую пробность, чем золото из борнита, которое напоминает структуру распада твердых растворов (рис. 2 ж, з). Мелкие золотины были обнаружены в богатой руде во фракции -40µm, при пересчете на концентрат 0,4 мг/т. Атомно-абсорбционным методом во фракции 40–74 мкм установлены золото (2,9 мг/т).

В пределах Стойленского месторождения чаще всего повышенные содержания золота связаны со слаборудными, силикатно-магнетитовыми и магнетитовыми кварцитами (преимущественно карбонат-куммингтонитовыми (грюнеритовыми) и эгирин-щелочноамфиболовыми) [2].

В метаморфогенно-метасоматическом типе оруденения Лебединского и Стойленского месторождений благороднометаллическая минерализация представлена в основном высокопробным самородным золотом с примесью меди и серебра.

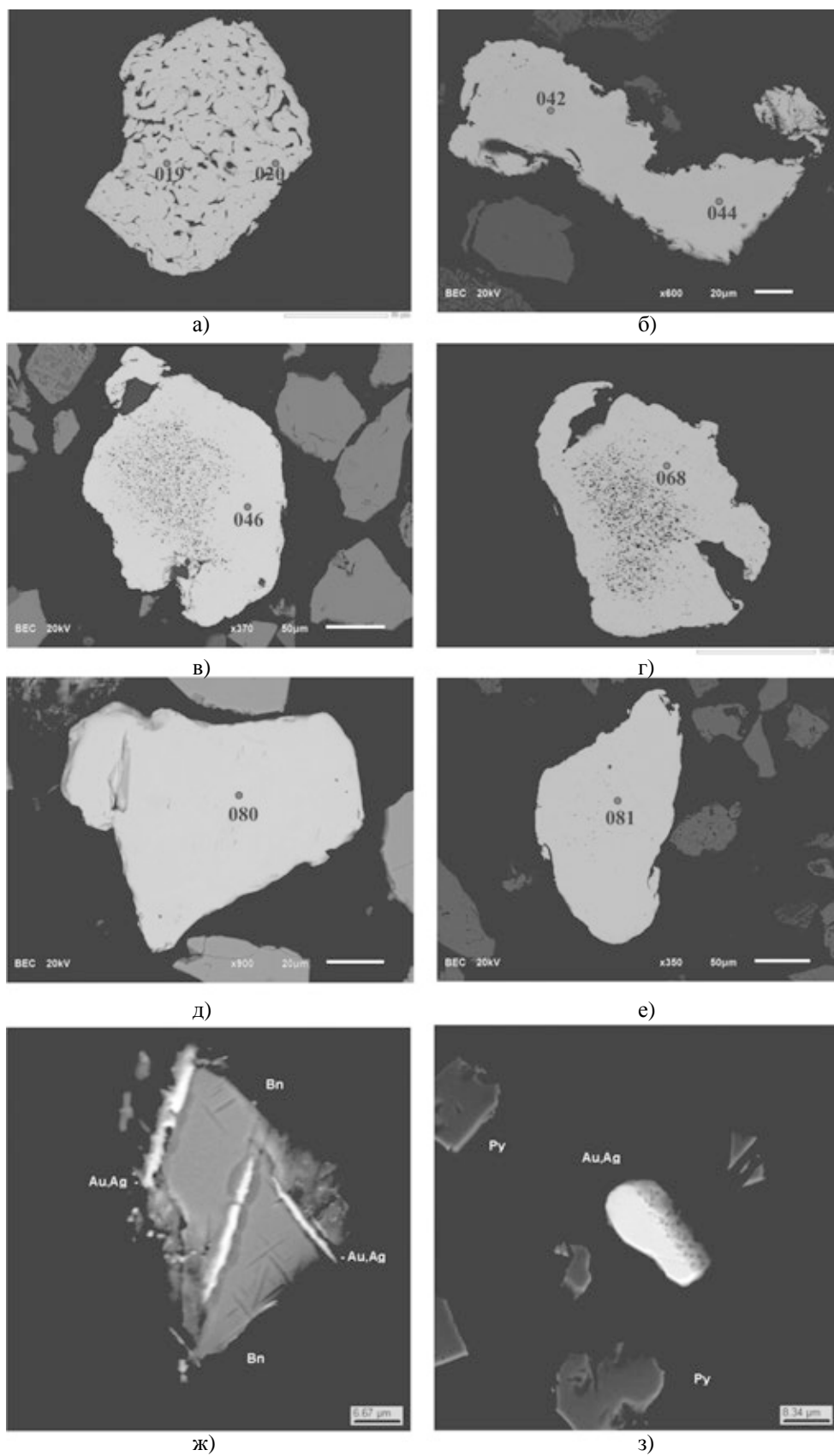


Рис. 2. Зерна самородного золота в коре выветривания Лебединского месторождения (номера соответствуют анализам в табл. 2). Анализы выполнены в ЗАО «РАЦ Механобр-Инжиниринг Аналит» (аналитик С.В. Петров) и ЗАО «НАТИ» (аналитик В.В. Кнауф)

Таблица 2
Химический состав самородного золота из коры выветривания железистых кварцитов Лебединского месторождения

№ п/п	Зерно	Ag	Au	Fe	Cr	Сумма
1	Au а		100,00			100,00
			99,12	0,54	0,34	100,00
			0,97	0,02	0,01	1,00
2	Au б (2)	8,74	91,26			100,00
		0,15	0,85			1,00
3	Au в	6,51	93,49			100,00
		0,11	0,89			1,00
4	Au г	3,77	96,23			100,00
		0,07	0,93			1,00
5	Au д	6,25	93,75			100,00
		0,11	0,89			1,00
6	Au е	8,82	91,18			100,00
		0,15	0,85			1,00
7*	Au ж	6,10	93,40			99,50
		0,11	0,89			1,00
8*	Au з	4,30	95,30			99,60
		0,08	0,92			1,00

Примечание: в числителе – массовые %, в знаменателе – формульные единицы, в скобках количество анализов, * анализы, выполненные в ЗАО «НАТИ» (В.В. Кнауф).

В Стойленском месторождении встречается золото двух генераций: а) медистое золото с содержанием меди от долей процента до Au_2Cu и $AuCu$ (тетрааурикуприд); б) высокопробное золото с серебряной лигатурой (920–990‰, редко снижаясь до 840–760‰) [2].

Самородное золото в основном изометричной формы. Присутствие золота отмечается и в кристаллах пирита. С самородным золотом ассоциируют сотни зерен минералов висмута (по мере снижения распространенности): самородный висмут, висмутин, тетрадимит и значительно более редко наблюдаются жозеит (жозеит А) и лиллианит, а так же шеелит (рис. 3 а, г), барит и уранинит (рис. 3 г), содержащий значительную примесь радиогенного свинца [2].

В коре выветривания железистых кварцитов Стойленского месторождения автором установлено 16 зерен самородного золота изометричной, неправильной и корродированной формы (рис. 4). Большая часть золотин менее 80 мкм, но были встречены зерна до 0,2 мм. На большинстве зерен золота отмечаются следы выветривания, выражающиеся

в каемке практически чистого золота (рис. 4 а-г), но так же встречаются сростки золота с нерудными минералами (кварц, реликты амфибола). Для самородного золота из Стойленского месторождения характерна лигатура Ag (табл. 3, рис. 4), за редким исключением Fe.

Таблица 3
Химический состав самородного золота из коры выветривания железистых кварцитов Стойленского месторождения

№ п/п	Зерно	Анализ	Ag	Au	Сумма
1	Au а	008	16,00	84,00	100,00
			0,26	0,74	1,00
2	Au б	028	16,18	83,82	100,00
			0,26	0,74	1,00
		029	0,69	99,31	100,00
			0,02	0,98	1,00
3	Au в	039	18,87	81,13	100,00
			0,22	0,71	1,00
		040	0,16	99,84	100,00
			0,001	0,998	1,00
4	Au г	019	17,76	82,24	100,00
			0,28	0,72	1,00
5	Au д	047	8,88	91,12	100,00
			0,15	0,85	1,00
6	Au е	064	16,30	83,70	100,00
			0,26	0,74	1,00

Примечание: в числителе – массовые %, в знаменателе – формульные единицы.

На Михайловском месторождении самородное золото обнаружено в 17 зернах, пробность которых варьирует от 743 до 989 (лигатура – серебро) (табл. 4; рис. 5).

Самородное золото из железистых кварцитов [6–8] Михайловского месторождения представлено объемно комковатыми, уплощенно-лепешковидными зернами, преимущественно удлиненными в плане до соотношения 1:2. Большинство зерен золота имеет размеры менее 60 мкм, но были встречены зерна до 95 мкм (рис. 5). Края большинства золотин криволинейные, слегка зазубренные. Поверхность золотин преимущественно мелкоячеистая и шагреновая. Цвет золотин яркий и золотисто-желтый; у загрязненных с поверхности золотин грязно-желтый с зеленоватым оттенком и соломенно-желтый. Пробность золота меняется в небольших пределах. В единичных зернах отмечаются примеси Cu, Hg, Se, As.

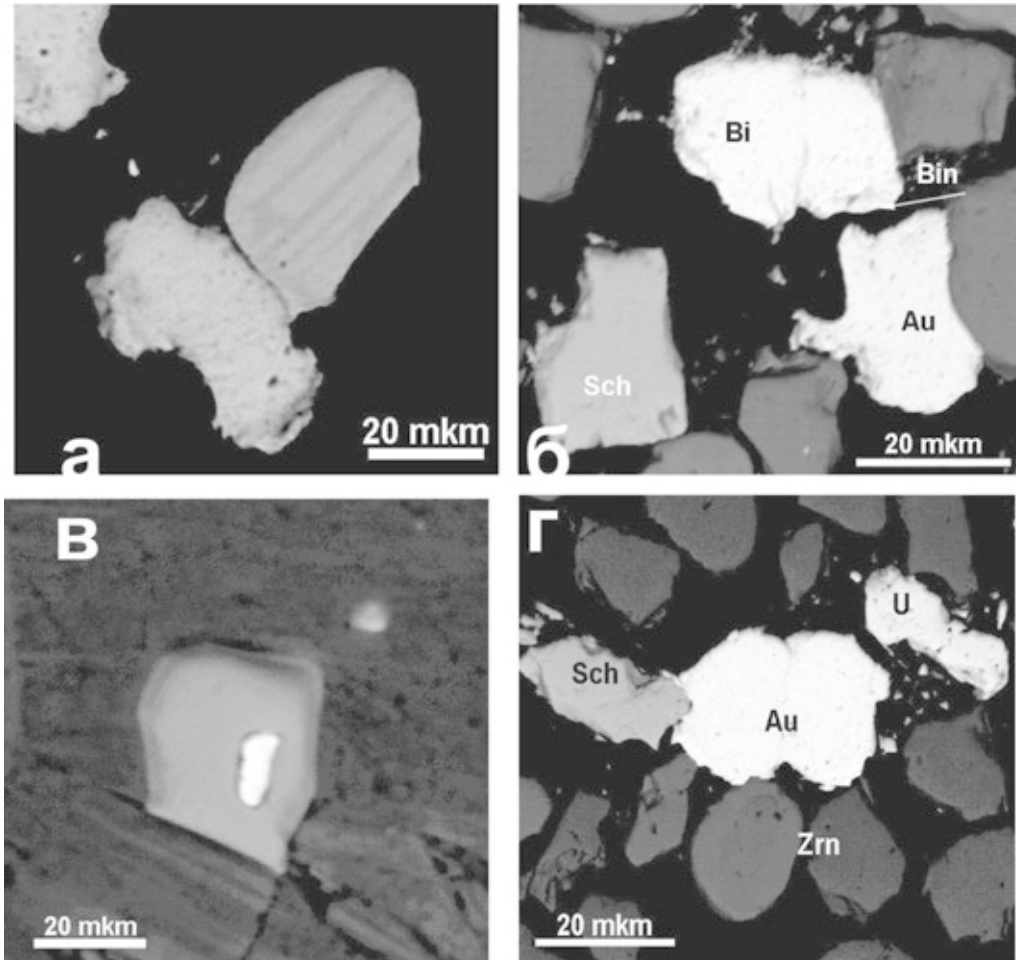


Рис. 3. Формы выделения самородного золота и сопутствующих минералов из тяжелой фракции железистых кварцитов Стойленского месторождения [2]: а) два зерна золота разного состава: полосатое зерно – сплав золото-медь (темные полосы – AuCu; светлые – Au₂Cu); крапчатое зерно снизу золото-серебряного состава; б) зерна золота (Au) и висмута (Bi) в сростании с висмутином (Bin) и шеелитом (Sch); в) включение самородного золота в пирите (хлорит-карбонатный метасоматит); г) золото в ассоциации с уранинитом (U) цирконом (Zrn) и шеелитом

Таблица 4

Средний химический состав золота в коре выветривания железистых кварцитов Михайловского месторождения [3, 4]

Самородное золото				
Элемент	Содержание, мас.%			
	1 (4)	2 (3)	3 (7)	4 (3)
Au	74,73	89,36	94,18	98,56
Ag	25,28	10,64	5,82	1,44
Кристаллохимические формулы				
1	Au _{0,62} Ag _{0,38}			
2	Au _{0,82} Ag _{0,18}			
3	Au _{0,9} Ag _{0,1}			
4	Au _{0,97} Ag _{0,03}			

Примечание: здесь и ниже анализы выполнены в ЗАО «РАЦ Механобр-Инжиниринг Аналит» (аналитик А. Антонов). В скобках – количество анализов, использованных для расчета среднего состава. Нумерация строк соответствует номерам столбцов.

В результате ранее проведенных исследований [6–8] было установлено золото самородное и ряд минералов элементов платиновой группы (табл. 5).

Таблица 5

Химический состав золота в железистых кварцитах Михайловского месторождения [6–8]

Самородное золото							
Элементы	Содержание, мас.%						
	1	2	3	4	5	6	7
Cu	0,7	0,3	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.
Ag	н.п.о.	0,3	1,1	1,0	2,7	1,5	9,6
Pd	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	н.п.о.	0,7
Au	99,3	99,4	98,9	99,0	97,3	98,5	89,7

Примечание: анализы выполнены в ЗАО «РАЦ Механобр Инжиниринг Аналит», CamScan-4, с детектором LINK-10000, аналитик Ю.Л. Крецер, данные анализа нормализованы; н.п.о. – ниже предела обнаружения.

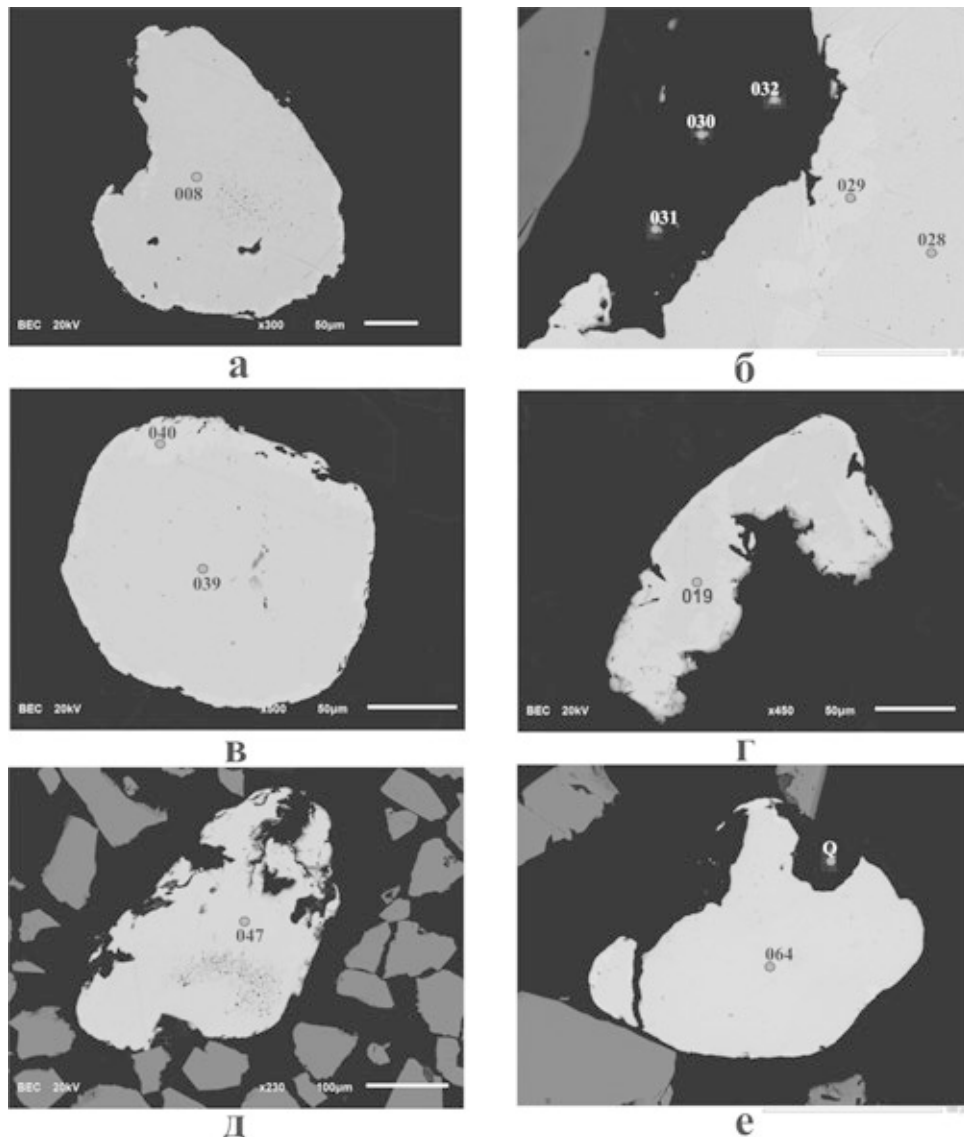


Рис. 4. Зерна самородного золота из коры выветривания Стойленского месторождения: а) зерно золота со следами выветривания в виде каемки чистого золота; б) участок срастания золота с порообразующими минералами; в) изометричной формы золото с каемкой чистого золота; г) корродированное зерно золота по периферии с оторочкой чистого измененного золота; д) зерно самородного золота с порами в центральной области; е) золото в срастании с кварцем (номера соответствуют анализам в табл. 3). Анализы выполнены в ЗАО «РАЦ Механобр-Инжиниринг Аналит» (аналитик С.В. Петров)

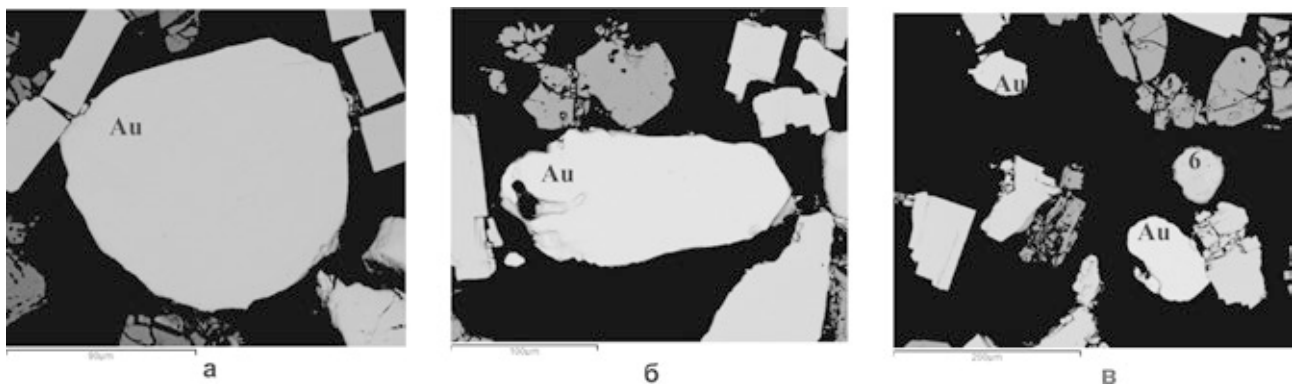


Рис. 5. Формы выделения золота из коры выветривания железистых кварцитов Михайловского месторождения [3, 4]: а, б – золото самородное; в – золото, платиносодержащий рутениридосмин (6). Названия минералов даны по [5]

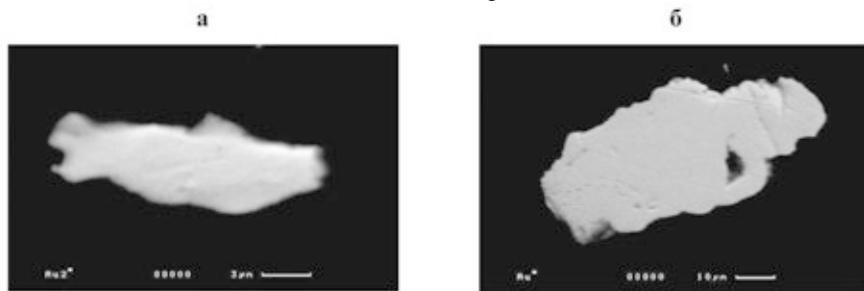


Рис. 6. Формы выделения Au из железистых кварцитов Михайловского месторождения [6–8]: а, б – самородное золото

Золото самородное характеризуется высокой пробностью – 993 (лигатура – медь; рис. 6 б); 989 (лигатура – серебро; рис. 6 а); 897 (лигатура – серебро, примесь палладия – 0,4 мас.%) [6–8].

Преимущественно повышенные концентрации благородных металлов связаны с сульфидизированными железистыми кварцитами и их окисленными разновидностями, а также с гематитизированными и богатыми рудами [6–8].

Сравнение полученных результатов по коре выветривания с предыдущими данными по минералогии благородных металлов железистых кварцитов и сланцев свидетельствует об унаследованном характере распределения и формах нахождения благородных металлов. В коре выветривания железорудных месторождений КМА (снизу вверх) происходит: а) возрастание пробности золота от материнских пород до богатых руд, это отчетливо проявлено на Лебединском месторождении; б) золото укрупняется и значительно превосходит по размеру золотины коренных пород; в) золото приобретает более изометричные формы зерен; г) на золотинах из коры выветривания присутствуют формы травления, растворения; д) для некоторых золотин характерно наличие каемок более чистого золота.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-31251, 11-05-12050-офи-м-2011) и ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” (ГК № 14.132.21.1817).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Н. М. Геолого-минералогическое картирование сульфидной минерализации Лебединского

месторождения. Заключительный отчет о НИР ВГУ / Н. М. Чернышов [и др.]. – Воронеж, 2006 – 82 с.

2. Резникова О. Г. Золото-платинометаллическая минерализация в железистых кварцитах Старооскольского железорудного района КМА (типы, состав и генетические особенности) : дис. на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / О. Г. Резникова. – Воронеж, 2010. – 159 с.

3. Чернышов Н. М. Новые данные о формах нахождения благородных металлов в коре выветривания железистых кварцитов Михайловского месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. М. Понамарёва // Докл. РАН. – 2012. – Т. 443, № 3. – С. 337–341.

4. Chernyshov N. M. New Data on Noble Metal Speciation in the Jaspilite Weathering Crust at the Mikhailovka Deposit of the Kursk Magnetic Anomaly, Central Russia / N. M. Chernyshov, M. M. Ponamareva // Doklady Earth Sciences. – 2012. – V. 443, Part 1. – P. 337–341.

5. Минералы благородных металлов / под ред. О. Е. Юшко-Захаровой [и др.]. – М. : Недра, 1986. – 272 с.

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

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

8. Чернышов Н. М. Особенности распределения и формы нахождения платиноидов и золота в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА / Н. М. Чернышов [и др.] // Геология и разведка. – 2003. – № 5. – С. 24–30.

Воронежский государственный университет
М. М. Понамарёва, аспирант кафедры минералогии, петрографии и геохимии
Тел.: 8 (473) 220-79-66; 8-920-412-51-87
marichka15@mail.ru

Voronezh State University
M. M. Ponamareva, post-graduate student Chair of Mineralogy, Petrography and Geochemistry
Tel.: 8 (473) 220-79-66; 8-920-412-51-87
marichka15@mail.ru