

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
В СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛАХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ И
МЕЖРУДНЫХ СЛАНЦЕВ ЛЕБЕДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА**

О. Г. Резникова, В. С. Кузнецов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 3 марта 2016 г.

Аннотация: установлена ведущая роль сульфидов (пирита, пирротина) в концентрации благородных металлов в железистых кварцитах и межрудных сланцах Лебединского железорудного месторождения КМА. Приводятся новые данные о составе и распределении в сульфидах различных морфогенетических типов элементов-примесей. Установлено существенное обогащение сульфидных минералов элементами платиновой группы и золотом. Анализ распределения благородных металлов показал преобладание примесных содержаний ЭПГ и золота в сульфидах метаморфогенно-гидротермального типа. Сульфиды позднего гидротермально-метасоматического типа характеризуются практически полным отсутствием примесей благородных металлов, что связано с появлением на этой стадии рудогенеза собственных минеральных форм благородных металлов.

Ключевые слова: железорудные месторождения, межрудные сланцы, железистые кварциты, сульфиды, золото и платиноиды.

**FEATURES OF DISTRIBUTION OF PRECIOUS METALS IN SULFIDE MINERALS
FERRUTEROUS QUARTZITES AND INTERORE SHALE OF LEBEDINSKY DEPOSIT KMA**

Abstract: the leading role of sulfides (pyrite, pyrrhotite) in the noble metal concentration in the ferruginous quartzites and shales inter-ore Lebedinsky iron ore deposit of KMA. New data on the composition and distribution of the sulfides in various morphogenetic types of trace elements. A substantial enrichment of sulfide minerals of platinum group elements and gold. Analysis of the distribution of noble metals showed the predominance of the impurity contents of PGE and gold in sulfides metamorphogenic-hydrothermal type. Sulfides late hydrothermal-metasomatic type are characterized by the almost complete absence of impurities of precious metals, which is associated with the appearance at this stage of its own ore genesis of mineral forms of noble metals.

Key words: iron ore deposits, ferruginous quartzites, interore schists, sulfides, gold and platinum.

Введение

Исследованиями последних лет [1, 2] было установлено обогащение благородными металлами различных по минералого-петрографическому составу железистых кварцитов и межрудных сланцев курской серии КМА, а также приуроченность повышенных концентраций благородных металлов к наиболее сульфидизированным породным разностям, что позволило сделать вывод о взаимосвязи золото-платинометалльного оруденения с сульфидной минерализацией. В ранее опубликованных работах [3, 4] показано, что существенное количество благородных металлов может быть представлено в виде микровключений и примесей в сульфидах. С этих позиций особое значение приобретает изучение сульфидных парагенезисов в породах железисто-кремнисто-сланцевой

формации, что имеет важное значение для комплексного освоения и глубокой переработки руд и техногенных продуктов железорудных месторождений.

Объекты исследования

Настоящее исследование базируется на фактическом материале, отобранном из пород коробковской свиты курской серии в пределах Лебединского железорудного месторождения КМА. Лебединское месторождение одновременно с другими разрабатываемыми (Стойленское, Коробковское) месторождениями гигантами Старооскольского рудного узла КМА располагается в юго-западной части крупной (130 x 30 км) рифтогенной по своей природе раннепротерозойской Тим-Ястребовской структуре. В геологическом строении Лебединского месторождения принимает уча-

стие докембрийский комплекс пород и перекрывающие его породы фанерозоя (верхний комплекс). Докембрий рудного поля представлен михайловской серией верхнего архея и курской серией нижнего протерозоя. Породы михайловской серии распространены только по западной окраине Лебединского месторождения и на юге в ядре Юго-Восточной антиклинали. Лебединское месторождение сложено, в основном, железорудной коробковской свитой и подстилающей ее стойленской свитой. Коробковская свита сложена двумя подсвитами железистых кварцитов и двумя сланцевыми подсвитами. Нижняя железорудная подсвита представлена магнетитовыми и силикатно-магнетитовыми кварцитами. Железнослюдково-магнетитовые кварциты отмечены в единичных скважинах. Отмечаются прослой малорудных кварцитов и сланцев. Нижняя сланцевая подсвита на месторождениях разделяет две железорудные подсвиты в виде полос шириной от 30–50 м до 250 м. Сложена она на юго-западе кварц-биотитовыми и кварц-серицит-биотитовыми филлитовидными сланцами, которые в северо-западном направлении постепенно замещаются кварц-андалузит-слюдистыми, реже – гранато-биотитовыми и амфиболо-гранато-биотитовыми сланцами. Железистые кварциты верхней железорудной подсвиты слагают центральные части месторождений – основное рудное поле. Разрез подсвиты начинается со слабрудных кварцитов, сменяющихся выше по разрезу силикатно-магнетитовыми и магнетитовыми кварцитами с прослоями железнослюдково-магнетитовых кварцитов. Мощность подсвиты от 200 м до 300 м. Верхняя сланцевая подсвита развита только в северо-западной части Лебединского месторождения. Состоит подсвита из биотитовых, иногда углистых или гранатосодержащих сланцев, иногда с пиритом, пирротинном и турмалином. Предполагаемая мощность подсвиты более 200 м [5].

Типизация сульфидной минерализации в железистых кварцитах и межрудных сланцах Лебединского месторождения КМА

При незначительном разнообразии видового состава сульфидные минералы отличаются широкими вариациями их содержания в породах. Анализ кристалломорфологических признаков, особенностей химического состава и пространственно-временных соотношений сульфидов с рудными и силикатными минералами позволяет выделить несколько морфогенетических типов пирита и пирротина [1, 6], на долю которых приходится до 95 % (и более) общего количества сульфидных минералов. Сульфиды, в свою очередь, принимают участие в формировании различных типов благороднометалльного оруденения.

Среди ранее выделенных на Михайловском, Лебединском и Стойленском месторождениях КМА шести генетических типов золото-платинометалльного оруденения (осадочно-метаморфогенный, метаморфогенно-метасоматический, гидротермально-метасоматический, гипергенно-метасоматический, осадочный, техногенный (россыпной)), ассоциирующих с суль-

фидизированными железистыми кварцитами и межрудными сланцами Лебединского месторождения, благороднометалльное оруденение представлено 4 геолого-генетическими типами (в возрастной последовательности) [1, 2, 3]:

1. Осадочно-метаморфогенный тип с наиболее ранним пиритом (I), незначительным по степени распространенности и сингенетичным железистым кварцитам по своей природе. Представлен тонкой эмульсионной послойной вкрапленностью размером 0,02–0,04 мм, имеет площадное развитие. Более ограниченно развитый пирротин (I) образует ксеноморфные зерна уплощенной, линзовидной, вытянутой согласно сланцеватости формы;

2. Метаморфогенно-гидротермальный (стратиформный) тип отличается наиболее широким распространением. Пирит (II) ксеноморфный, слагающий вкрапленные, мелкопятнистые, линзовидные, полосчатые обособления, а так же массивный из зон контакта сланцев с перекрывающими безрудными и слабрудными кварцитами. Пирротин (II) более распространен, имеет ксеноморфные зерна, которые образуют как отдельности, так и сростки с магнетитом, пиритом, халькопиритом;

3. Гидротермально-метасоматический тип представлен пиритом (III), приуроченным к жилам и прожилкам, а так же пирротинном (III), который встречается в небольших количествах в виде включений в пирите;

4. Гипергенно-метасоматический тип наиболее поздний (пирит IV) встречается среди окисленных руд в зоне гипергенеза.

Другие сульфидные минералы представлены эпизодически в ассоциации с пиритом и пирротинном, и представлены преимущественно халькопиритом, реже арсенопиритом [4, 7].

Методы исследования и аналитические данные

С целью детального изучения особенностей распределения элементов-примесей в различных сульфидных минералах были выполнены локальные определения их химического состава. В аншлифах из образцов для анализа были выбраны зерна пирита и пирротина различных морфотипов из железистых кварцитов и межрудных сланцев нижней и верхней подсвиты коробковской свиты курской серии (рис. 1).

Анализы выполнены в аттестованной лаборатории ФГУП ВСЕГЕИ методом LA-ISP-MS (масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и лазерной абляцией), при котором исследуемое вещество испаряется с поверхности образца лазерным импульсом. Анализ производится путём переноса продуктов лазерной абляции (аэрозоля) в индуктивно-связанную плазму и последующим детектированием свободных ионов в масс-спектрометре. Прожиг осуществлялся по сетке с размером стороны от 0,2 до 1 мм, поэтому для исследований в препаратах отбирались преимущественно изометричные зерна минералов размером не менее 200 мкм. Анализ выполнен с исполь-

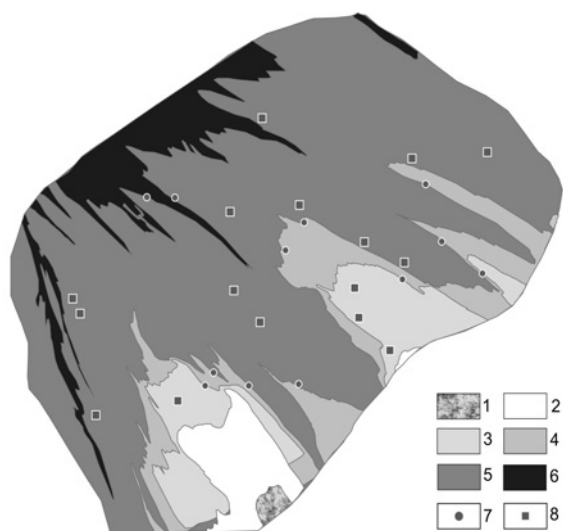


Рис. 1. Схема отбора проб в границах карьера Лебединского железорудного месторождения КМА: 1 – лебединская свита (AR_2lb); нижний протерозой – курская серия: 2-6 – коробковская свита: 2 – стойленская свита (PR_1^{1st}); 3 – нижняя железорудная подсвита ($PR_1^{1kr_1}$), 4 – нижняя сланцевая подсвита ($PR_1^{1kr_2}$), 5 – верхняя железорудная подсвита ($PR_1^{1kr_3}$); 6 – верхняя сланцевая подсвита ($PR_1^{1kr_4}$); 7 – места отбора проб межрудных сланцев; 8 – места отбора проб железистых кварцитов.

пользованием масс-спектрометра с ICP “ELAN-6100 DRC” фирмы «Perkin-Elmer», США, с лазерным пробоотборником “LSX-200” фирмы “Cetac Technology”, США. Нижний предел определения элементов составляет 0,01 ppm. Относительная погрешность измерения – 15 отн.%. Калибровка измерительных каналов осуществлялась по синтетическим стандартам NIST 612, NIST 613). Этими исследованиями установлено существенное обогащение сульфидных минералов благородными металлами (таблица 1).

Таблица 1

Содержания благородных металлов (г/т) в сульфидных минералах из межрудных сланцев Лебединского месторождения

Минерал	Морфотип	Ru	Rh	Pd	Pt	Os	Ir	Au
Межрудные сланцы								
Пирит	II	0,047	<0,01	0,11	0,11	<0,001	<0,001	0,081
Тоже	II	0,027	0,02	0,1	0,071	<0,001	<0,001	0,11
Тоже	II	<0,01	0,012	0,049	<0,01	0,0045	<0,001	0,037
Тоже	II	<0,01	<0,01	0,041	<0,01	<0,001	<0,001	0,079
Железистые кварциты								
Пирит	II	0,023	0,0094	0,081	<0,01	0,011	<0,001	0,25
Тоже	II	0,046	0,048	0,028	0,013	<0,001	0,085	0,95
Тоже	II	0,048	0,005	0,14	<0,01	<0,001	<0,001	0,29
Тоже	II	0,025	0,021	0,03	<0,01	<0,001	<0,001	0,5
Тоже	II	0,033	0,0035	<0,01	<0,01	<0,001	<0,001	0,5
Тоже	II	0,025	0,015	0,03	0,01	<0,001	<0,001	0,53
Тоже	II	0,022	<0,01	0,08	0,01	0,01	0,0049	5
Тоже	II	0,055	0,04	0,065	0,028	<0,001	<0,001	1,11
Тоже	II	0,064	0,013	0,026	0,012	0,09	0,0046	0,28
Тоже	II	0,021	0,013	0,074	<0,01	<0,001	<0,001	1,71
Тоже	II	0,018	0,015	0,042	<0,01	0,0082	0,0077	0,045
Тоже	II	0,024	0,02	0,15	0,51	0,011	0,0053	0,26
Тоже	II	0,059	0,012	0,094	0,0063	<0,001	<0,001	6,21
Тоже	II	0,04	0,013	0,073	0,021	<0,001	<0,001	0,33
Тоже	II	0,036	0,0038	0,022	0,01	<0,001	<0,001	0,8
Тоже	II	0,023	0,019	0,081	<0,01	0,0053	<0,001	1,46
Межрудные сланцы								
Пирит	III	0,042	0,031	0,033	0,02	0,036	0,024	0,1
Тоже	III	0,013	0,012	0,051	<0,01	<0,001	0,0025	0,077
Железистые кварциты								
Пирит	III	<0,01	0,018	0,079	<0,01	<0,001	<0,001	0,24
Тоже	III	0,042	0,0044	0,025	<0,01	0,0098	<0,001	0,71
Тоже	III	0,054	0,011	0,043	<0,01	<0,001	<0,001	0,48
Межрудные сланцы								
Пирротин	I	<0,01	0,053	1,77	0,27	0,061	0,055	1,08
Тоже	II	0,078	0,043	0,09	0,037	<0,001	0,0074	0,51
Тоже	II	0,077	0,022	0,21	0,055	0,0082	0,0074	0,45
Тоже	II	0,058	0,032	0,27	0,055	0,025	<0,001	0,16
Тоже	II	<0,01	0,077	0,37	<0,01	<0,001	0,013	0,5
Тоже	II	0,089	<0,01	0,14	0,042	0,0094	0,034	0,21
Тоже	II	0,081	0,03	0,28	0,039	<0,001	0,039	0,13
Железистые кварциты								
Пирротин	II	0,34	0,036	0,41	<0,01	0,04	<0,001	6,59
Межрудные сланцы								
Пирротин	III	0,04	0,022	0,25	<0,01	0,017	0,015	0,21

Интерпретация полученных результатов

Исследования, впервые выполненные по породам Лебединского месторождения, установили существенное обогащение сульфидных минералов благородными металлами. Результаты анализов показывают преимущественное накопление в сульфидах золота (до 6,59 г/т), а также легких платиноидов – палладия (до 0,41 г/т) и, в единственном случае, родия (до 0,34 г/т). Из тяжелых платиноидов более распространена платина (до 0,51 г/т), в то время как осмий и иридий показывают лишь следовые значения. Анализ распределения примесей благородных металлов (табл. 1) показывает преимущественное накопление золота, палладия и платины в пирите (II) и пирротине (II) метаморфогенно-гидротермального происхождения.

Анализ пирротина (I) осадочно-метаморфогенного типа из межрудных сланцев также показал повышенные содержания благородных металлов, однако малое количество анализов, обусловленное ограничениями методики измерения из-за малых размеров зерен, не позволяет сделать однозначных выводов о перспективности данного генетического типа сульфидной минерализации на благородные металлы. Аналогичная ситуация складывается и с поздним пирротинном (III) гидротермально-метасоматического происхождения, единственный анализ которого показал значимые содержания золота и палладия. Наиболее поздний пирит (III) гидротермально-метасоматического генезиса характеризуется преимущественным накоплением лишь только золота (до 0,71 г/т), и отсутствием значимых концентраций платиноидов.

Заключение

В ходе проведенных исследований сульфидной минерализации в железистых кварцитах и сланцевых толщах Лебединского месторождения установлено:

1) значительное количество элементов платиновой группы и золота в железистых кварцитах и вмещающих их породах находится, помимо выявленных ранее проведенными исследованиями [1, 8] собственных минеральных фаз, в виде примесей в различных типах сульфидов;

2) накопление основной массы примесных содержаний ЭПГ и золота приурочено к сульфидным минералам метаморфогенно-гидротермального типа оруденения (пирит и пирротин второго морфотипа);

3) установлено полное отсутствие золота и платиноидов в виде примесей в сульфидах позднего гидротермально-метасоматического типа оруденения, что

связано, вероятно, с появлением на этой стадии рудогенеза собственных минеральных форм благородных металлов.

Работы выполнены при финансовой поддержке РФФИ грант №11-05-12050-офи-м-2011; РФФИ № 12-05-31464 мол_а, Грант Президента РФ МК-98.2011.5; ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России", ГК № 16.740.11.0623.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов, Н. М. Типы, состав и генетические особенности золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах Старооскольского рудного района КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, О. Г. Резникова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2014. – 156 с.
2. Чернышов, Н. М. Сульфидная минерализация, содержащая благородные металлы, в межрудных сланцах Стойленского железорудного месторождения / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов // Известия вузов. Геология и разведка, 2011. – № 2. – М. – С. 17–22.
3. Чернышов, Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2004. – 448 с.
4. Кузнецов, В. С. Благороднометалльносодержащая сульфидная минерализация в железистых кварцитах и межрудных сланцах Стойленского месторождения КМА / В. С. Кузнецов, О. Г. Резникова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2012. – № 1. – С. 126–131.
5. Орлов, В. П. Железные руды КМА / В. П. Орлов. – М.: Геоинформмарк. – 2001. – 616 с.
6. Чернышов, Н. М. Золотоносность Стойленского месторождения КМА (типы и состав благороднометалльного оруденения) / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов, С. В. Петров, О. Г. Резникова // Руды и металлы, 2009. – № 6. – С. 48–55.
7. Кузнецов, В. С. Сульфидные минералы углеродсодержащих сланцев Лебединского железорудного месторождения КМА / В. С. Кузнецов // Строение литосферы и геодинамика: мат-лы XXIV Всерос. молодеж. конф. – Иркутск, 2011. – С. 107–108.
8. Кузнецов, В. С. Вещественный состав и генетические особенности благороднометалльной минерализации в межрудных сланцах курской серии КМА / В. С. Кузнецов, С. В. Петров // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7, Геология, география. – 2014. – № 4. – С. 37–51.

Воронежский государственный университет

*Резникова Ольга Григорьевна, канд. геол.-мин. наук, доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии
E-mail: reznikova_o@bk.ru, Тел.: +7 (473) 220-79-66*

*Кузнецов Владислав Сергеевич, канд. геол.-мин. наук, доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии
E-mail: voronezhpodkl@inbox.ru, Тел.: +7 (473) 220-79-66*

Voronezh State University

Reznikova O. G., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Mineralogy, Petrography and Geochemistry Department, E-mail: reznikova_o@bk.ru

Kuznetsov V. S., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Mineralogy, Petrography and Geochemistry Department, E-mail: voronezhpodkl@inbox.ru