

**БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОСОДЕРЖАЩАЯ СУЛЬФИДНАЯ
МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ И МЕЖРУДНЫХ
СЛАНЦАХ СТОЙЛЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА**

В. С. Кузнецов, О. Г. Резникова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 21 февраля 2012 г.

Аннотация. Установлена ведущая роль сульфидов (пирита, пирротина и в меньшей степени халькопирита, арсенопирита и галенита) в концентрации Au и Pt в железистых кварцитах и межрудных сланцах Стойленского железорудного месторождения КМА. Приводятся новые данные о составе и распределении в них элементов-примесей: платиноидов, Au и Ag.

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

Abstract. A leading role sulphide (a pyrite, a pyrrhotite and to a lesser degree chalcopyrite, arsenopyrite and a galenite) in concentration Au and Pt in ferriferous quartzites and interore shales of Stoylensky iron ore deposit of KMA. The new data about structure and distribution in them of elements-impurity: elements of group of platinum, Au and Ag is cited.

Key words: iron ore deposits, ferriferous quartzites, interore shales, sulfides, gold and platinum

Исследования последних лет [1] показали, что существенное количество благородных металлов может быть представлено в виде микровключений и примесей в сульфидах. С этих позиций особое значение приобретает изучение благороднометалльного оруденения, ассоциирующего с достаточно широко распространенными в породах железисто-кремнисто-сланцевой формации сульфидными парагенезисами, что имеет важное значение для комплексного освоения и глубокой переработки руд и техногенных продуктов железорудных месторождений.

Настоящее исследование базируется на фактическом материале, отобранном из пород курской серии в пределах Стойленского железорудного месторождения КМА. Стойленское месторождение одновременно с другими разрабатываемыми (Лебединское, Коробковское) месторождениями-гигантами Старооскольского рудного узла КМА располагается в юго-западной части крупной (130 × 30 км) рифтогенной по своей природе раннепротерозойской Тим-Ястребовской структуре (рис. 1). Само месторождение приурочено к одноименной синклинали структуре и сложено образованиями курской серии нижнего протерозоя. Курская серия представлена внизу кварцитопесчани-

ками и кварц-сланцевыми сланцами стойленской свиты, вверху – железистыми кварцитами и сланцами коробковской свиты. Коробковская свита сложена на 60 % железистыми кварцитами, которые формируют две железорудные подсвиты, разделенные нижней сланцевой подсвитой.

В кровле и подошве нижней железорудной подсвиты залегают малорудные кварциты мощностью от 2 до 32 м. Мощность перемежающихся слоев различных минеральных типов кварцитов колеблется от первых метров до 84 м. Нижняя сланцевая подсвита сложена кварц-биотитовыми и кварц-серпичит-биотитовыми сланцами, реже гранат-биотитовыми и амфибол-гранат-биотитовыми и занимает на месторождении до 40 % объема разреза коробковской свиты. Разрез верхней железорудной подсвиты представлен переслаивающимися пачками различных геолого-генетических типов кварцитов общей мощностью около 300 м. В подошве и кровле ее – пачки малорудных кварцитов мощностью до 20 м [2].

В ходе предыдущих исследований были установлены повышенные содержания благородных металлов в различных по минералого-петрографическому составу железистых кварцитах и межрудных сланцах, а также приуроченность повышенных концентраций благородных металлов к наиболее сульфидизированным породным разностям, что

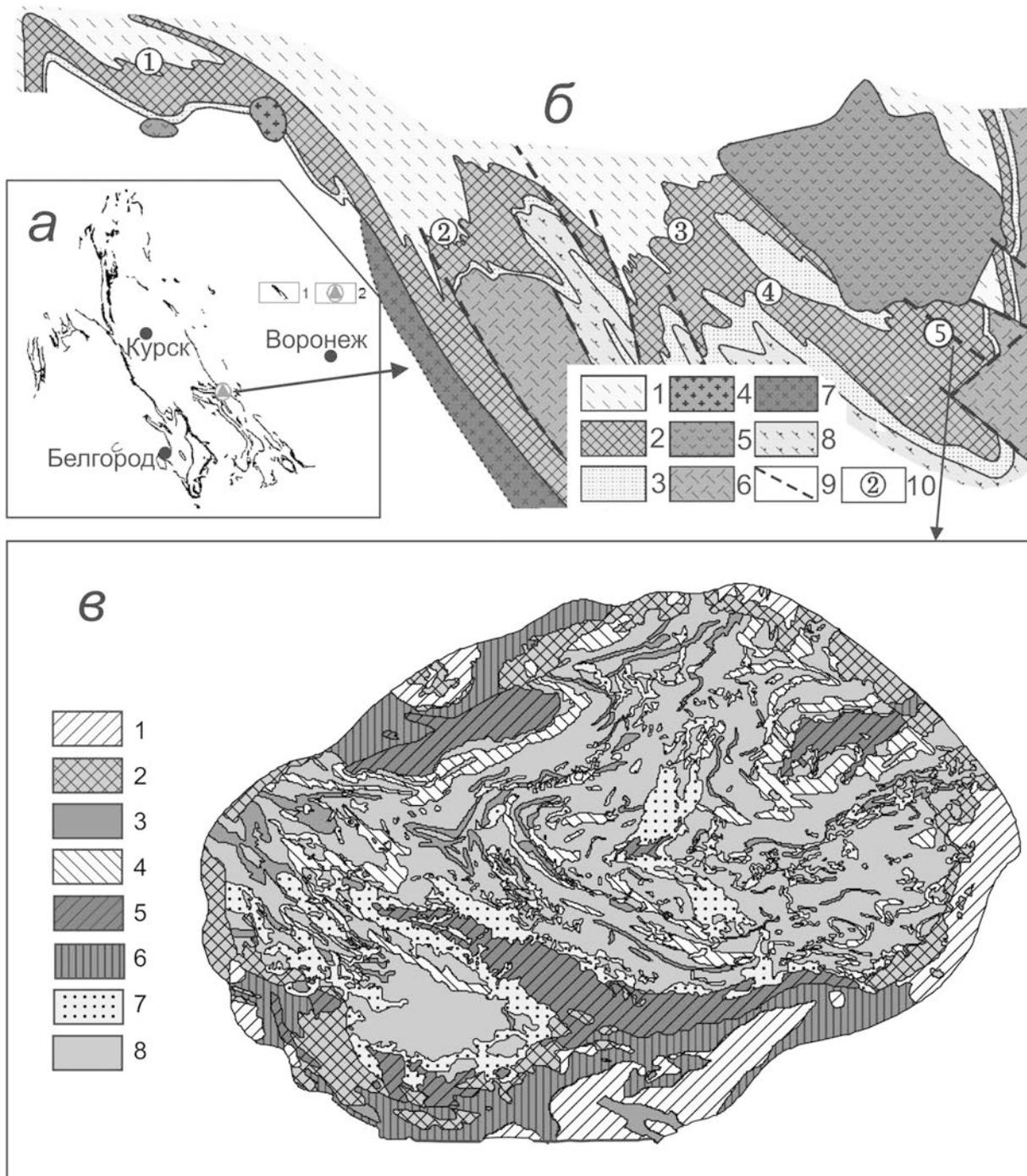


Рис. 1. а – местоположение Старооскольского железорудного района в структуре КМА: 1 – железистые кварциты (железисто-кремнисто-сланцевая формация раннего протерозоя), 2 – Старооскольский железорудный район; б – схематическая геологическая карта Старооскольского железорудного района [4]: нижний протерозой – курская серия: 1–2 – коробковская свита: 1 – верхняя сланцевая подсвита ($PR_1^1 kr_4$), 2 – верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой ($PR_1^1 kr_{3-1}$); 3 – стойленская свита ($PR_1^1 st$) – кварцито-песчаники, кварц-сланцевые сланцы; 4 – микроклиновые граниты атаманского комплекса ($\gamma PR_1^2 a$); 5 – диориты, гранодиориты стойло-николаевского комплекса ($\gamma \delta PR_1^1 sn$); 6 – нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс ($m\gamma (AR - PR_1^1)$) – гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; верхний архей – 7 – плагиограниты салтыковского комплекса ($\gamma AR_2 sl$); 8 – михайловская серия ($AR_2 mh$); 9 – разломы; 10 – месторождения: 1 – Панковское, 2 – Коробковское, 3 – Лебединское, 4 – Стойло-Лебединское, 5 – Стойленское; в – геологическая схема действующего карьера Стойленского месторождения: 1 – богатые железные руды, 2 – окисленные железистые кварциты, 3 – кварциты гематит-магнетитовые, 4 – кварциты куммингтонит-магнетитовые, 5 – межрудные сланцы, 6 – окисленные сланцы, 7 – кварциты биотит-магнетитовые, 8 – кварциты магнетитовые

позволило сделать вывод о взаимосвязи золото-платинометалльного оруденения с сульфидной минерализацией [3, 4].

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)) ассоциирующее с сульфидизированными железистыми кварцитами и межрудными сланцами Стойленского месторождения благороднометалльное оруденение представлено 4 геолого-генетическими типами (в возрастной последовательности) [5, 6]: а) осадочно-метаморфогенным; б) метаморфогенно-гидротермальным (стратиформным); в) гидротермально-метасоматическим; г) гипергенно-метасоматическим, каждый из которых характеризуется, прежде всего, различными морфогенетическими типами (генерациями) главных сульфидных минералов, отражая тем самым длительность процесса формирования рудообразующей системы.

Железистые кварциты и межрудные углеродсодержащие сланцы Стойленского месторождения КМА характеризуются значительным разнообразием состава сульфидных минералов и широкими вариациями их содержаний 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 [6, 7], на долю которых приходится до 95 % (и более) общего количества сульфидных минералов. Наиболее ранний *пирит* (морфотип 1), незначительный по степени распространенности и сингенетичный железистым кварцитам по своей природе, представлен тонкой эмульсионной прослойкой вкрапленностью размером 0,02–0,04 мм, имеет площадное развитие. Наиболее широким распространением отличается 2-й морфогенетический тип, ксеноморфный, слагающий вкрапленные, мелкопятнистые, линзовидные, полосчатые обособления, а также массивный из зон контакта сланцев с перекрывающими безрудными и слаборудными кварцитами. Пирит 3-го морфотипа приурочен к жилам и прожилкам. Наиболее поздний

(морфотип 4) встречается среди окисленных руд в зоне гипергенеза [7].

Более ограниченно развитый *пирротин* также представлен несколькими отчетливо выраженными морфотипами: 1) ранняя сингенетичная его вкрапленность образует ксеноморфные зерна уплощенной, линзовидной, вытянутой согласно сланцеватости формы; 2) более распространен ксеноморфный, образующий как отдельные зерна, так и сростки с магнетитом, пиритом, халькопиритом; 3) пирротин наиболее поздний встречается в небольших количествах в виде включений в пирите [7].

Другие сульфидные минералы представлены в значительно меньших количествах по сравнению с пиритом и пирротином. Для *халькопирита* характерно наличие двух основных морфогенетических типов: 1) ранний и широко распространенный халькопирит с относительно крупными ксеноморфными зернами образует сростки с магнетитом, пиритом и пирротином (до 7 % в аншлифе); 2) более ограниченно развитый (до 1 % в аншлифе) халькопирит поздней генерации, встречается в виде сростков и включений в жильном пирите среди сульфидно-карбонатно-кварцевых прожилков [7]. *Арсенопирит* – достаточно редкий минерал среди пород железисто-кремнисто-сланцевой формации, встречается в составе сульфидных жил и прожилков, образуя вкрапленники в пирите III типа. Кристаллы имеют призматический облик, от короткостолбчатых до шестоватых и игольчатых. *Галенит* встречается в железистых кварцитах преимущественно в виде мельчайших включений в магнетите, пирите и других сульфидных минералах, а также установлен в специфических гидротермально-метасоматических образованиях (кварцевых будинах). В сростках с галенитом в незначительных количествах отмечаются также пирит, халькопирит и включения алтаита (рис. 2).

С целью детального изучения особенностей распределения элементов-примесей в различных сульфидных минералах были выполнены локальные определения их химического состава. 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 путем 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

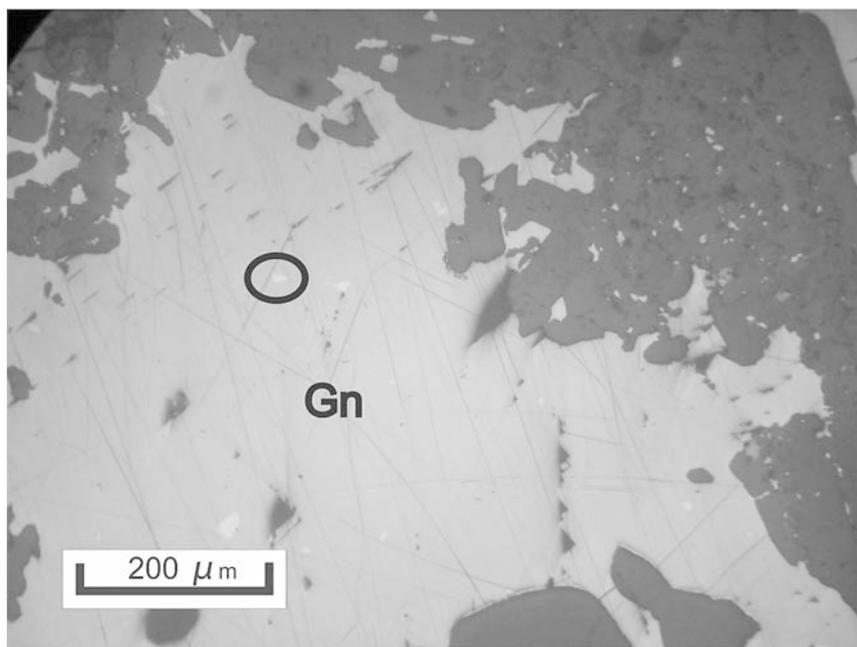


Рис. 2. – сульфидная минерализация в кварцевых будинах, представленная галенитом (Gn). Светлые включения в галените – алтаит – PbTe (выделен черным контуром). Фото полированного шлифа в отраженном свете

до 1 мм, поэтому для исследований в препаратах отбирались преимущественно изометричные зерна минералов размером не менее 200 мкм. Анализ выполнен с использованием 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 (табл. 1).

Таблица 1

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

Минерал	Разновидность/морфотип	Ru	Rh	Pd	Pt	Au	Ag
<i>Межрудные сланцы</i>							
Пирит	II	0,36	0,05	0,49	< 0,01	1,21	19,90
То же	II	0,48	0,12	1,06	< 0,01	<0,01	2,61
»	II	0,09	0,01	0,11	< 0,01	0,04	3,01
<i>Железистые кварциты</i>							
Пирит	II	0,21	0,28	0,10	3,62	0,017	2,71
То же	II	0,30	0,044	0,34	< 0,01	0,054	1,98
»	II	0,16	< 0,01	0,081	< 0,01	0,013	0,72
»	II	0,12	0,038	0,21	< 0,01	0,067	1,95
»	II	0,075	0,031	0,037	< 0,01	< 0,01	1,51
»	II	0,065	0,031	0,13	< 0,01	< 0,01	1,40
»	II	0,035	0,029	0,12	< 0,01	0,017	0,34
<i>Межрудные сланцы</i>							
Пирит	III	0,09	0,03	0,05	< 0,01	0,01	4,14
То же	III	0,01	<0,01	0,09	0,01	0,01	5,99
»	III	0,08	0,07	0,24	0,02	<0,01	2,57

Минерал	Разновидность/морфотип	Ru	Rh	Pd	Pt	Au	Ag
Пирит	III	0,08	0,04	0,08	< 0,01	0,23	3,73
То же	III	0,08	0,01	0,13	< 0,01	0,04	2,39
<i>Железистые кварциты</i>							
Пирит	III	0,18	0,055	0,11	< 0,01	0,021	11,5
То же	III	0,22	0,026	0,024	0,011	0,37	0,15
<i>Межрудные сланцы</i>							
Пирротин	I	0,78	0,13	0,62	< 0,01	0,15	2,74
То же	II	0,09	0,15	1,49	< 0,01	0,06	8,19
»	II	1,44	0,11	0,65	< 0,01	0,33	9,60
<i>Железистые кварциты</i>							
Пирротин	II	0,57	0,16	0,75	< 0,01	0,030	0,54
То же	II	0,88	0,12	0,72	0,089	0,14	0,18
<i>Межрудные сланцы</i>							
Халькопирит	I	0,46	0,32	0,61	< 0,01	< 0,01	3,17
<i>Железистые кварциты</i>							
Халькопирит	II	0,38	3,42	0,52	0,024	0,066	49,1
<i>Гидротермально-метасоматические жилы и прожилки</i>							
Арсенопирит	Не выделяется	0,08	0,02	0,21	0,01	0,01	3,39
Галенит	Не выделяется	0,001	19,600	2,670	< 0,01	0,130	645,000

Анализ распределения примесей благородных металлов (рис. 3) показывает существенное накопление благородных металлов (особенно «легких» платиноидов – Rh – до 0,28 г/т, Ru – до 1,44 г/т, Pd – до 1,49 г/т, а также Ag – до 19,9 г/т) в пирите и пирротине метаморфогенно-гидротермального происхождения. Пирит гидротермально-метасоматического генезиса характеризуется преимущественным накоплением Au (до 0,37 г/т), Ag (до 11,5 г/т) и Pd (до 0,24 г/т).

Результаты проведенных исследований показали также весьма высокие содержания благородных металлов в сульфидах полиметаллов – халькопирите (Rh – до 3,42 г/т, Ag – до 49,1 г/т, Pd – до 0,61 г/т, Ru – до 0,42 г/т) и галените (Rh – 19,6 г/т, Ag – 645 г/т, Pd – 2,67 г/т; табл. 1).

Таким образом, для сульфидной минерализации в железистых кварцитах и сланцевых толщах Стойленского месторождения характерно следующее:

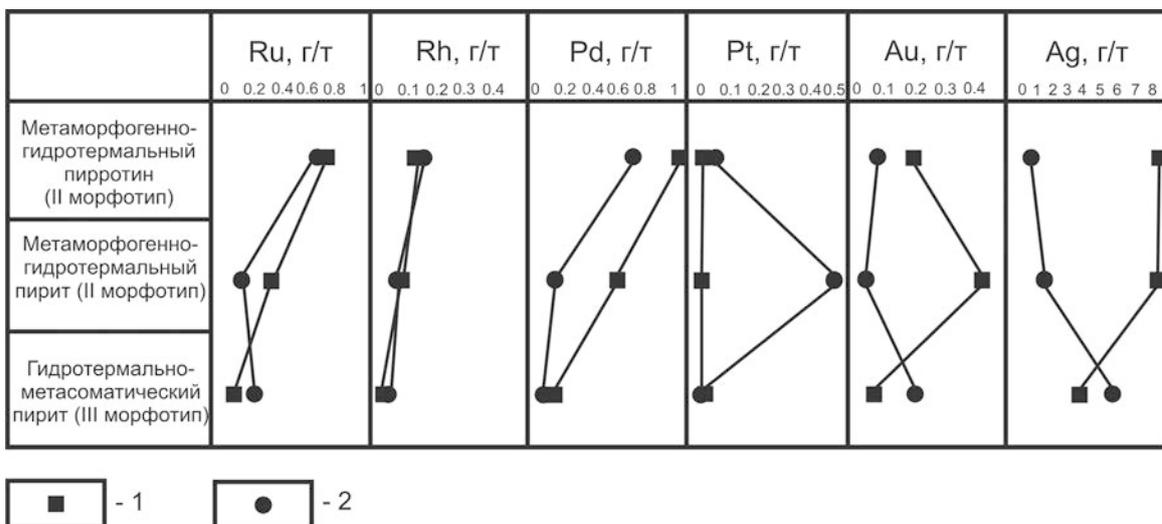


Рис. 3. Распределение примесей благородных металлов в разных морфогенетических типах сульфидов: 1 – в межрудных сланцах; 2 – в железистых кварцитах (приведены средние содержания, см. табл. 1)

1) широкое распределение и большое разнообразие форм и размеров обособлений – от мельчайшей вкрапленности (первые см) до макроскопически видимых выделений (п-п*10 см), а также крайне неравномерным их распределением в разрезе;

2) среди сульфидных минералов (до 95–100 % от их общего количества) резко преобладают пирит и в меньшей степени пирротин. Эти минералы вследствие их образования на различных стадиях длительно формирующейся рудообразующей системы образуют несколько различных морфогенетических типов, характеризующихся значительным разнообразием кристалломорфологических форм, а также существенными вариациями содержания благородных металлов;

3) значительное количество элементов платиновой группы и золота в железистых кварцитах и вмещающих их породах находится, помимо собственных минеральных фаз, в виде примесей в различных типах сульфидов;

4) сульфидное благороднометалльное рудообразование в породах и рудах Стойленского месторождения имеет многостадийный характер. Накопление основной массы ЭПГ и золота приурочено к сульфидным минералам метаморфогенно-гидротермального происхождения (пирит и пирротин второго морфотипа);

5) с высокими примесными концентрациями ЭПГ в сульфидных минералах железистых кварцитов и межрудных сланцев Стойленского месторождения связано, вероятно, заметное снижение количества собственных минеральных фаз платиноидов и появление на заключительных стадиях рудогенеза теллуридно-висмутидного парагенезиса [4, 8] в ассоциации с широко развитым самородным золотом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 11-05-12050-офи-м-2011; РФФИ грант № 11-05-00316-а; Грант Президента РФ МК-98.2011.5; ФЦП «Научные и научно-педагогич-

ческие кадры инновационной России», ГК № 16.740.11.0623

ЛИТЕРАТУРА

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

2. Орлов В. П. Железные руды КМА / В. П. Орлов. – М. : Геоинформмарк, 2001. – 616 с.

3. Резникова О. Г. Минералого-петрографическая характеристика важнейших геолого-промышленных типов золото-платиносодержащих железистых кварцитов Лебединского и Стойленского месторождений (КМА) / О. Г. Резникова // XVI Международная конференция «Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы. – Воронеж : Изд-во ВорГУ, 2010. – Т. 2. – С. 175–181.

4. Чернышов Н. М. Сульфидная минерализация, содержащая благородные металлы, в межрудных сланцах Стойленского железорудного месторождения / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – М., 2011. – № 2. – С. 17–22.

5. Чернышов Н. М. Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : ИПЦ Воронеж. гос. ун-та, 2007. – 177 с.

6. 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.

7. Абрамов В. В. Геохимия и минералогия серы в породах железисто-кремнисто-сланцевой формации в пределах Стойленского месторождения КМА / В. В. Абрамов, В. С. Кузнецов, О. Г. Резникова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2011. – № 2. – С. 89–97.

8. Чернышов Н. М. Формы нахождения благородных металлов в разнотипных железистых кварцитах и их метасоматитах Лебединского и Стойленского месторождений (КМА) / Н. М. Чернышов, О. Г. Резникова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2010. – № 1. – С. 135–144.

*Воронежский государственный университет
В. С. Кузнецов, преподаватель кафедры минералогии, петрографии и геохимии
Тел. 8 (473) 220-79-66
voronezhpodkl@inbox.ru*

*О. Г. Резникова, доцент кафедры минералогии, петрографии и геохимии
Тел. 8 (473) 220-79-66
reznikova_o@bk.ru*

*Voronezh State University
V. S. Kuznetsov, assistant of chair of Mineralogy, Petrography and Geochemistry
Tel. 8 (473) 220-79-66
voronezhpodkl@inbox.ru*

*O. G. Reznikova, assistant professor of chair of Mineralogy, Petrography and Geochemistry
Tel. 8 (473) 220-79-66
reznikova_o@bk.ru*