

УДК 553.411: 553.491.8(470.325)
DOI: 10.7868/S25000640230306

АКЦЕССОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ ПОРОД КОРОБКОВСКОЙ СВИТЫ СТОЙЛО-ЛЕБЕДИНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО УЗЛА КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ

© 2023 г. В.С. Кузнецов¹, О.Г. Резникова¹

Аннотация. Объектом исследований в настоящей работе выступают железистые кварциты и сланцы коробковской свиты, вскрытые в карьерах Лебединского и Стойленского железорудных месторождений Курской магнитной аномалии. В изучаемых породах установлен и впервые охарактеризован с помощью современных методов исследования вещества комплекс акцессорных минералов – апатита, сфалерита, рутила, ильменита, гранатов, циркона, оливина, ортопироксена, барита и других. При этом циркон, оливин, ортопироксен описаны для сланцев коробковской свиты впервые, а для гранатов и цирконов по их физическим свойствам и химическому составу впервые выделено несколько разновидностей. В железистых кварцитах описана разнообразная сульфидно-теллур-висмутовая минерализация. Установленные особенности состава акцессорных минералов сланцев позволяют охарактеризовать условия седиментации изучаемых пород. Столь широкий спектр акцессорных минералов указывает на наличие в областях сноса пород различного петрографического состава. Выявленные различия в видовом составе акцессорных минералов в железистых кварцитах и сланцах обусловлены генетическими особенностями предшествующих осадков пород курской серии, а сходство объясняется влиянием наложенных метаморфогенно-гидротермальных процессов.

Ключевые слова: железистые кварциты, углеродистые сланцы, Курская магнитная аномалия, минералогия, докембрий.

ACCESSORY MINERALS OF THE KOROBKOVSKAYA FORMATION ROCKS IN THE STOYLO-LEBEDINSKIY IRON ORE DEPOSIT OF THE KURSK MAGNETIC ANOMALY

V.S. Kuznetsov¹, O.G. Reznikova¹

Abstract. The ferruginous quartzites and shales of the Korobkovskaya formation uncovered in the quarry of the Lebedinskiy and Stoylenskiy iron ore deposit of the Kursk Magnetic Anomaly are the object of research in the present work. The rocks under study contain complex accessory minerals, such as apatite, sphalerite, rutile, ilmenite, garnets, zircon, olivine, orthopyroxene, barite, etc., and were first characterized using modern methods of substance study. Zircon, olivine, and orthopyroxene were described for the first time for the shales of the Korobkovskaya formation, and several varieties of these minerals were identified for the first time for garnets and zircons by their physical properties and chemical composition. Diverse sulfide-telluric-bismuth mineralization has been established in ferruginous quartzites. The established features of the composition of accessory minerals of shales allow us to characterize some peculiarities of sedimentation conditions of the studied rocks. Such a wide range of accessory minerals indicates the presence of rocks of different petrographic composition in the drift areas. The revealed differences in the species composition of accessory minerals in ferruginous quartzites and shales are caused by genetic features of the preceding sediments of the rocks of the Kursk series, and the similarity is explained by the influence of superimposed metamorphogenic-hydrothermal processes.

Keywords: ferruginous quartzites, carbonaceous shales, Kursk Magnetic Anomaly, mineralogy, Precambrian.

¹ Воронежский государственный университет (Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation), Российская Федерация, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, e-mail: voronezhpodkl@inbox.ru

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Курского блока Воронежского кристаллического массива широко развиты породы железисто-кремнистой формации. Они слагают сложные по морфологии и внутреннему строению зоны полосовидных аномалий северо-западного простирания, пространственно сопряженные с Белгородско-Михайловским и Орловско-Тимским зеленокаменными поясами позднеархейского заложения. В центральной части восточной зоны располагается Стойло-Лебединский железорудный узел Курской магнитной аномалии с обрабатываемыми Лебединским и Стойленским железорудными месторождениями (рис. 1). Стойло-Лебединский железорудный узел находится в центральной части Старооскольского рудного узла и приурочен к южному замыканию Тим-Ястребовской синкли-

норной структуры. В геологическом строении Старооскольского рудного узла принимает участие докембрийский комплекс сложнодислоцированных пород и перекрывающие его отложения фанерозоя [1]. Курская серия нижнего протерозоя включает нижнюю (стойленскую – песчаниково-сланцевую) и верхнюю (коробковскую – железорудную) свиты. Коробковская свита представлена двумя подсвитами железистых кварцитов и двумя сланцевыми подсвитами. Главные породообразующие минералы сланцев представлены кварцем и слюдами (биотитом, серицитом), в железистых кварцитах помимо кварц-гематит-магнетитовых прослоев встречаются минералы группы амфиболов (актинолит, куммингтонит, рибекит), карбонаты и слюды (биотит, реже мусковит). В количестве нескольких процентов как в сланцах, так и в кварцитах могут встречаться сульфиды (пирротин, пирит, халькопи-

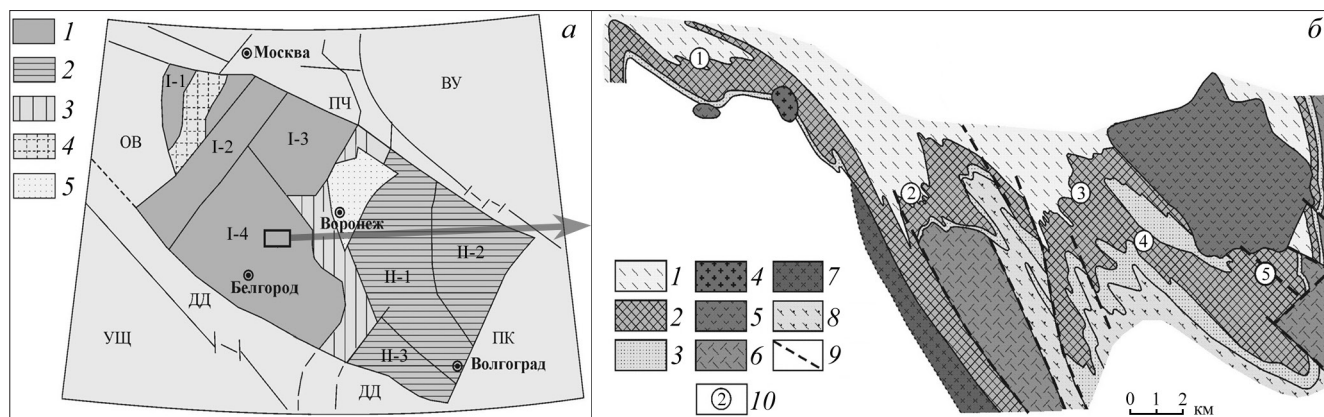


Рис. 1. Положение Старооскольского рудного района Курской магнитной аномалии на схеме структурно-формационного районирования Воронежского кристаллического массива (а) и схематической геологической карте Старооскольского железорудного узла (б) [1]. а – ВУ – Волго-Уральский сегмент, ПЧ – Пачелмский авлакоген, ПК – Прикаспийская впадина, ДД – Днепровско-Донецкий авлакоген, УЩ – Украинский щит, ОВ – Оршанская впадина; 1 – мегаблок Курской магнитной аномалии (макроблоки: I-1 – Красногорско-Рославльский, I-2 – Брянский, I-3 – Ливенско-Ефремовский, I-4 – Курско-Белгородский), 2 – Хоперский мегаблок (макроблоки: II-1 – Калач-Эртильский, II-2 – Камышинский, II-3 – Варваринский), 3 – Лосевская шовная зона, 4 – Волыньско-Двинский вулканно-плутонический пояс, 5 – Ольховско-Шукавская грабенсинклинальная структура. б – палеопротерозой, курская серия: 1–2 – коробковская свита: 1 – верхняя сланцевая подсвита ($PR_1^{1kr_4}$), 2 – верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой ($PR_1^{1kr_{3-1}}$); 3 – стойленская свита (PR_1^{1st}) – кварцитопесчаники, кварц-слюдяные сланцы; 4 – габбродиориты, кварцевые диориты стойло-никалаевского комплекса ($\gamma\delta PR_1^{1sn}$); 5 – нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс ($m\gamma(AR-PR_1^1)$) – гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; неoarхей: 6 – микроклиновые граниты атаманского комплекса (AR_{2a}); 7 – плагиограниты салтыковского комплекса (γAR_{2sl}); 8 – Михайловская серия (AR_{2mh}); 9 – разломы; 10 – месторождения: ① – Панковское, ② – Коробковское, ③ – Лебединское, ④ – Стойло-Лебединское, ⑤ – Стойленское.

Fig. 1. Position of the Starooskolskiy Ore District of the Kursk Magnetic Anomaly on the scheme of structural-formation zoning of the Voronezh Crystalline Massif (a) and schematic geological map of the Starooskolskiy Iron Ore Cluster (b) [1]. а – ВУ – Volga-Ural segment, ПЧ – Pachelma aulacogen, ПК – Pre-Caspian depression, ДД – Dneprovo-Donets aulacogen, УЩ – Ukrainian shield, ОВ – Orsha depression; 1 – the Kursk Magnetic Anomaly megablock (macroblocks: I-1 – Krasnogorsk-Roslavl, I-2 – Bryansk, I-3 – Liven-Efremov, I-4 – Kursk-Belgorod), 2 – Khopyor megablock (macroblocks: II-1 – Kalach-Ertilskiy, II-2 – Kamyshinskiy, II-3 – Varvarinskiy), 3 – Losevskaya suture zone, 4 – Volyn-Dvinskiy volcanic-plutonic belt, 5 – Olkhovsko-Shukavskaya grabensynclinal structure. б – paleoproterozoic, kursk series: 1–2 – korobkov formation: 1 – upper shale subformation ($PR_1^{1kr_4}$), 2 – upper and lower iron-ore subformations with intrusive (lower) shale subformation ($PR_1^{1kr_{3-1}}$); 3 – stoylenskaya formation (PR_1^{1st}) – quartzitic sandstones, quartz-mica schists; 4 – gabbro-diorites, quartz diorites of stoil-nikolaev complex ($\gamma\delta PR_1^{1sn}$); 5 – undivided granite-gneiss complex ($m\gamma(AR-PR_1^1)$) – granite-gneiss, migmatites, gneisses, interlayers, and lenses of amphibolites; neoarche: 6 – microcline granites of ataman complex (AR_{2a}); 7 – plagiogranites of saltykovsky complex (γAR_{2sl}); 8 – Mikhailovskaya series (AR_{2mh}); 9 – faults; 10 – deposits: ① – Pankovskoe, ② – Korobkovskoe, ③ – Lebedinskoe, ④ – Stoylo-Lebedinskoe, ⑤ – Stoylenskoe.

рит, галенит и др.) и их аналоги (преимущественно теллур-висмутевого ряда).

В настоящей работе приводятся характеристики акцессорных минералов сланцев и железистых кварцитов коробковской свиты (PR₁¹Kr₂) курской серии. В ряде работ [2; 3] достаточно подробно описаны комплексы акцессорных минералов в различных стратиграфических подразделениях докембрия Курского блока Воронежского кристаллического массива. Вместе с тем исследования пород коробковской свиты были выполнены в несколько ограниченном объеме. В работах предшественников указано на практически полное отсутствие в сланцах коробковской свиты акцессорных минералов, особенно кластогенных, среди которых были обнаружены только единичные зерна ильменита [3]. К тому же за прошедшие десятилетия в ходе разработки железорудных карьеров появилась возможность изучения гораздо более представительного разреза интересующих пород, а также более точных исследований химического состава минералов с применением микрорентгеноспектрального анализа. Изучение акцессорных минералов в метасадочных толщах докембрия является важной задачей, что в комплексе с другими методами исследования вещества может дать материал для решения целого ряда задач геологии докембрия, таких как корреляция стратифицированных толщ, уточнение генезиса и палеофациальных условий накопления осадков, вопросы минерагении. В настоящей работе приводится характеристика акцессорных минералов сланцев и железистых кварцитов коробковской свиты курской серии палеопротерозоя.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для выделения акцессорных минералов из пород с целью их последующего комплексного изучения была применена специальная методика, заключающаяся в следующем. В пределах карьера Лебединского железорудного месторождения был отобран ряд крупнообъемных штучных проб сланцев и железистых кварцитов (весом около 7 кг каждая). Затем пробы обрабатывали по схеме, включающей последовательное дробление на щековых дробилках до крупности менее 1 мм. Далее проба была подвергнута гравитационному обогащению на концентрационном вибростоле Gemini GT60. После полученный гравитационный концентрат был рассеян на различные по крупности классы, осуществлена магнитная сепарация, а остаток (немагнитная

фракция) перечищен в чашках с использованием тяжелой жидкости (бромформ). Полученные минеральные фракции, различные по физическим свойствам, изучали под бинокляром с отбором минеральных зерен с целью последующего изготовления препаратов для проведения микрорентгеноспектральных исследований (шашки из эпоксидной смолы). Химический состав минеральных фаз определяли с помощью растрового электронного микроскопа Jeol 6380 LV с системой энергодисперсионного количественного микроанализа INCA 250 (Центр коллективного пользования Воронежского госуниверситета, г. Воронеж). Пересчет химического состава минералов на минералы осуществляли с помощью термобарогеохимической программы PetroExplorer 2.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что межрудные сланцы характеризуются значительным разнообразием видового состава акцессорных минералов, в то время как в железистых кварцитах их число ограничено.

Акцессорные минералы в сланцах представлены цирконом, гранатом, ильменитом, рутилом, оливином, ортопироксенами, апатитом, баритом, карбонатами и сульфидами. Среди последних установлены галенит, сфалерит, арсенопирит (табл. 1). В изучаемых породах они как встречаются в виде отдельных мелких кристаллов, так и образуют сростки с пиритом (рис. 2). На основании изучения химического состава и морфотипических особенностей сфалеритов было выделено два их типа (табл. 1). Первый тип, образующий сростки с пиритом, характеризуется существенной примесью Cd (0,79 масс. %) и

Таблица 1. Химический состав сульфидных минералов (масс. %) **Table 1.** Chemical composition of sulphide minerals (wt %)

Элемент Element	Сфалерит Sphalerite	Сфалерит Sphalerite	Арсенопирит Arsenopyrite
Fe	9,33	9,18	32,08
S	34,01	32,58	18,29
Co	0,00	0,00	2,08
Ni	0,23	0,00	0,00
Cu	0,00	0,34	0,00
As	0,00	0,00	48,73
Cd	0,79	12,03	0,00
Zn	55,65	45,87	0,00

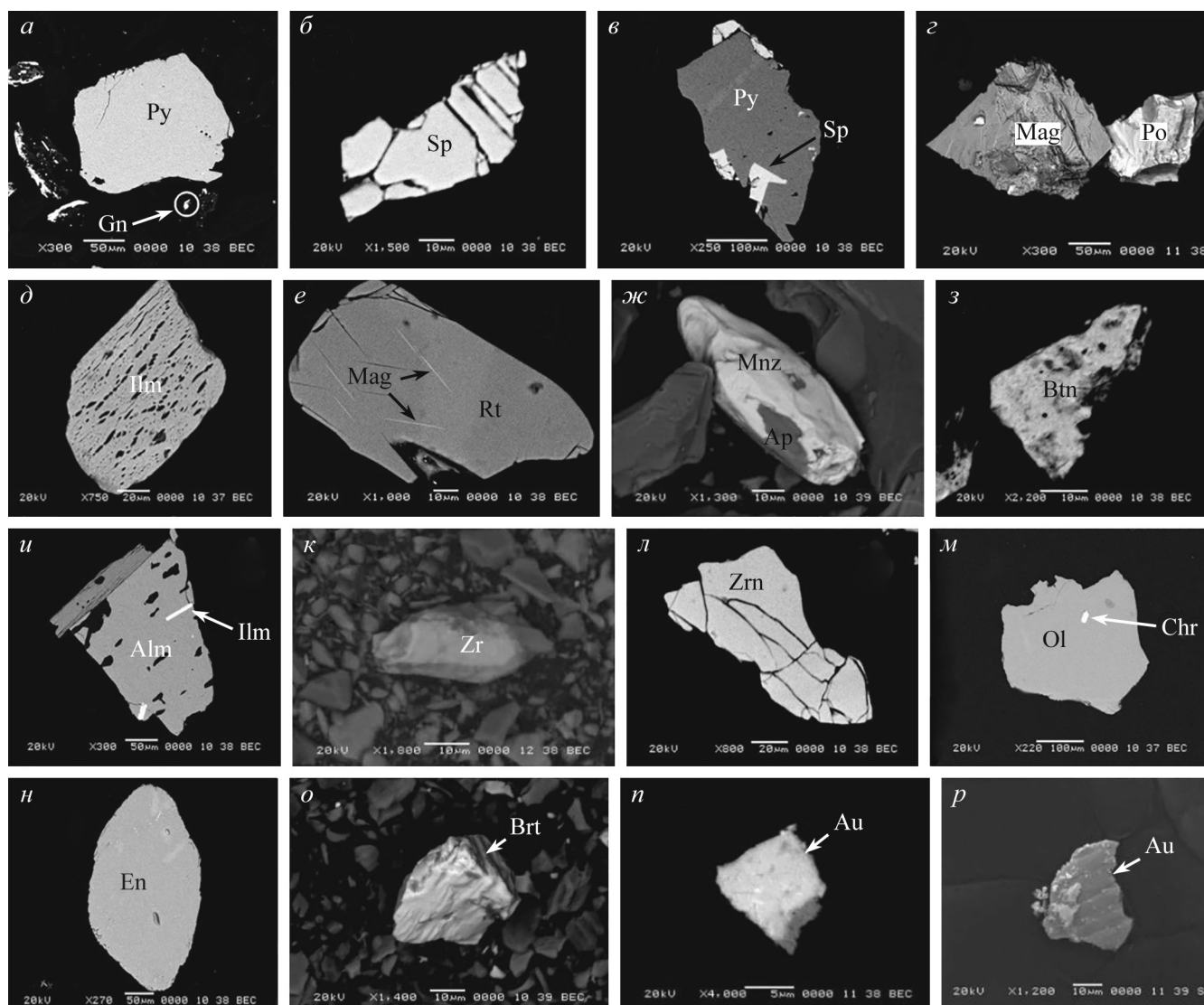


Рис. 2. Аксессуары минералы пород коробковской свиты: *a* – идиоморфное зерно пирита, галенит; *б* – кристалл сфалерита; *в* – сросток сфалерита с пиритом; *г* – магнетит с пирротитом; *д* – зерно ильменита со структурами распада; *е* – рутил с вростками магнетита; *ж* – зерно апатита с оболочкой монацита; *з* – кристалл бастнезита; *и* – гранат с вростками ильменита и кварца; *к, л* – зерна цирконов различной морфологии; *м* – оливин с включениями хромита; *н* – кристалл энстатита; *о* – кристалл барита; *п, р* – зерна самородного золота.

Fig. 2. The accessory minerals in the rocks of the korobkov formation: *a* – idiomorphic pyrite grain, galena; *b* – sphalerite crystal; *в* – sphalerite-pyrite joint; *г* – magnetite with pyrrhotite; *д* – ilmenite grain with decay structures; *е* – rutile with magnetite nodules; *ж* – apatite grain with monazite shell; *з* – bastnaesite crystal; *и* – garnet with inclusions of ilmenite and quartz; *к, л* – grains of zircons of various morphology; *м* – olivine with chromite inclusions; *н* – enstatite crystal; *о* – barite crystal; *п, р* – grains of native gold.

относится к богатой кадмием разновидности сфалерита – пршибрамиту (до 5 % Cd). Второй тип, представленный отдельными кристаллами, содержит высокую примесь Cd (12,03 %). В работе [4] показано, что высокое содержание Mn или Cd благоприятствует кристаллизации сульфида цинка в форме вюртцита. При изучении тройной системы ZnS – CdS – MnS была выявлена возможность замещения цинка в ZnS марганцем и кадмием. Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что

сфалерит второго типа является членом изоморфной серии вюртцита – гринокита (CdS) [2]. Также в составе тяжелой фракции диагностированы мелкие (10 мкм) кристаллики арсенопирита. Арсенопирит является типичным минералом гидротермального происхождения и одним из наиболее распространенных минералов мышьяка. Химический состав его близок к стехиометрическому (табл. 1). Галенит представлен единичными мельчайшими зернами размером $n - n \times 10$ мкм.

Таблица 2. Химический состав аксессуарных минералов из межрудных сланцев (масс. %) **Table 2.** Chemical composition of accessory minerals from inter-ore shales (wt %)

Элемент Element	Ильменит Ilmenite	Апатит Apatite	Рутил Rutile	Бастнезит Bastnesite	Энстатит Enstatite	Оливин Olivine	Эпидот Epidote
SiO ₂	0,41	0,00	0,85	0,00	58,72	37,71	37,86
TiO ₂	62,88	0,00	97,51	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,34	0,00	0,00	0,00	1,36	0,00	22,38
FeO	34,62	0,00	0,45	0,00	9,98	28,98	11,55
MnO	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,39
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	32,95	32,64	0,19
CaO	0,17	52,87	0,00	3,08	1,82	0,00	22,87
P ₂ O ₅	0,00	41,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
V ₂ O ₅	0,70	0,00	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00
ZrO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HfO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO	0,00	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00
La ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	15,14	0,00	0,00	0,00
Ce ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	28,61	0,00	0,00	0,00
Nd ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	9,49	0,00	0,00	0,00

Окиснорудные минералы представлены ильменитом и рутилом. Их химические составы приведены в таблице 2. Ильменит (Fe_{0,75}Ti_{1,22}O₃) встречается в виде отдельных зерен (рис. 2*д, и*) с характерными структурами распада твердого раствора (ильменит – гематит). Включения гематита сильно корродированы, что может указывать на его аллотигенную природу. Также ильменит встречается в виде сростков с апатитом. Рутил в межрудных сланцах представлен изометричными и окатанными кристаллами размером 60–100 мкм (рис. 2*е*). В его химическом составе отмечается повышенное содержание V – 1,19 % V₂O₅.

Апатит представлен зернами неправильной изометричной формы. Размер зерен составляет 0,015–0,03 мм. При изучении тяжелой фракции были обнаружены сростки апатита с ильменитом. Также было выявлено большое количество зерен апатита, покрытых оболочкой монацита (рис. 2*ж*). В большинстве случаев в апатитах магматических пород преобладает фторапатит, часто с примесью OH, в связи с чем образуется распространенный гидроксил-фторапатит. В метаморфических породах апатит появляется только при метаморфизме высоких фаций. Исходя из вышесказанного, можно предположить аллотигенную природу апатита. Монацит (рис. 2*ж*) в изученных пробах встречается преимущественно в виде мелких

(15–30 мкм) зерен, часто образующих сростания с апатитом и сульфидами. Химический состав выявленных зерен монацита приведен в таблице 3. При изучении тяжелой фракции межрудных сланцев Лебединского месторождения также было обнаружено зерно бастнезита, представленное удлиненным обломком кристалла размером 30 мкм по

Таблица 3. Химический состав монацитов (масс. %) **Table 3.** Chemical composition of monazites (wt %)

Элемент Element	Монацит 1 Monazite 1	Монацит 2 Monazite 2
Al ₂ O ₃	0,36	0,64
SiO ₂	1,81	1,37
P ₂ O ₅	27,14	29,28
CaO	0,53	2,72
SrO	0,57	0,00
La ₂ O ₃	17,07	18,66
Ce ₂ O ₃	32,09	33,47
Pr ₂ O ₃	2,15	2,25
Nd ₂ O ₃	9,65	9,36
Sm ₂ O ₃	1,63	0,00
Eu ₂ O ₃	0,79	0,59
Gd ₂ O ₃	1,18	0,00
PbO	0,62	0,00
ThO ₂	4,41	1,66

длинной оси (рис. 2з). Химический состав бастнезита отличается резким преобладанием церия (28,61 % Ce₂O₃), содержание которого в 2 раза выше содержания лантана (15,14 % La₂O₃), над другими элементами REE-группы. Из других REE-элементов в заметных количествах присутствует неодим (9,49 % Nd₂O₃). Содержание тория в бастнезитах составляет 0,86 % ThO₂. Количество кальция (3,08 % CaO) находится в пределах стехиометрии.

Среди акцессорных минералов сланцев микроскопическими исследованиями диагностированы оливин ((Mg_{1,31}Fe_{0,65})[Si_{1,02}O₄]) и ромбический пироксен. Оливин представлен зерном субизометричной неправильной формы с оскольчатыми краями (рис. 2м, табл. 3). По химическому составу соответствует хризолиту-гиалосидериту (Fo = 67 %). В зерне оливина обнаружено включение хромшпинелида (рис. 2м, табл. 3), по составу соответствующее хромиту. Высокохромистый состав включений хромшпинелидов характерен для оливинов из основных – ультраосновных пород [2]. При изучении тяжелой фракции было обнаружено зерно ромбического пироксена окатанной формы (рис. 2н). По химическому составу соответствует энстатиту ((Mg_{1,63}Fe_{0,28}Ca_{0,06}Al_{0,05}Cr_{0,02})[Si_{1,95}O₆], Wo_{3,28}En_{82,68}Fs₁₄). Содержание в изученном минерале ферросиллитового компонента, равного Fs₁₄, наиболее типично для ортопироксенов из ультра-

основных пород. Также в межрудных сланцах был установлен эпидот ((Ca_{1,98}Al_{2,13}Fe_{0,75})[Si_{3,06}O₄]₃OH). Нахождение эпидота в сланцах коробковской свиты связано, вероятнее всего, с наложенной сульфидной минерализацией.

При просмотре тяжелой фракции было диагностировано большое количество зерен граната (рис. 2и). Образует неправильные зерна с включениями кварца, ильменита, отмечены сростки с железистым амфиболом. Гранаты представлены двумя типами – пиральспитами (как магнезиальными, так и марганцовистыми разностями) и гроссулярами (табл. 4).

Цирконы обнаружены при просмотре тяжелой фракции пробы (3 зерна цирконов, табл. 5). Зерна, предположительно, представляют собой как обломки кристаллов, сильно трещиноватых, размером $n \times 10$ мкм (рис. 2л), так и целые кристаллы (рис. 2к). Зерна несколько различаются по химическому составу и морфологии, в частности содержания гафния отличаются в 2 раза (табл. 5), Zrn 1 – Hf/Zr = 0,013, Zrn 2–3 (ср.) – Hf/Zr = 0,021, что позволяет предположить две различные их генерации.

В сланцах нижней подсвиты встречается барит в виде единичных зерен (рис. 2о, табл. 5), а в верхней подсвите среди акцессорных минералов барит преобладает (десятки зерен). Среди других минералов в тяжелых фракциях установлены (единичные на-

Таблица 4. Средний химический состав гранатов (масс. %)
 Table 4. Average chemical composition of garnets (wt %)

Элемент Element	Из межрудных сланцев From inter-metallic shales							Из кварцитов From quartzites	
	альмандин almandine				гроссуляр grossular			альмандин almandine	
SiO ₂	38,47	35,4	39,01	43,97	37,79	41,1	40,44	36,79	34,54
Al ₂ O ₃	21,88	19,48	21,25	22,05	22,06	23,52	22,88	20,81	19,9
FeO	33,01	33,93	38,44	18,26	23,02	24,89	22,94	35,25	36,33
MnO	2,18	4,69	0	0,95	13,57	0,63	1,13	2,12	5,03
MgO	1,62	1,44	1,51	8,77	1,54	7,59	1,81	2,23	2,34
CaO	2,68	5,05	2,98	3	1,73	2,08	10,49	2,4	1,75
K ₂ O	0	0	0	1,19	0,29	0	0,31	0	0,1
Миналы, % / Mynals, %									
Prp	6,957	6,059	5,993	40,413	6,581	32,445	7,921	8,958	10,167
Alm	79,448	67,444	85,504	47,16	55,137	59,632	56,264	79,27	71,944
Sps	5,321	11,218	0	2,488	32,966	1,531	2,811	4,841	12,423
Andr	0	2,482	0	0	0	0	0	0,009	1,064
Grs	8,274	12,796	8,503	9,939	5,316	6,358	33,005	6,922	4,403
Uvar	0	0	0	0	0	0,034	0	0	0

Таблица 5. Химический состав цирконов, калиевого полевого шпата и барита (масс. %)
Table 5. Chemical composition of zircon, potassium feldspar and barite (wt %)

Элемент Element	Циркон Zircon			Калиевый полевой шпат Potassium feldspar	Барит Barite
Na ₂ O	–	–	–	1,01	0,39
MgO	–	–	–	0,20	0,35
Al ₂ O ₃	–	–	0,47	11,77	1,14
SiO ₂	32,63	32,65	30,46	46,70	3,40
SO ₃	–	–	–	0,43	27,55
K ₂ O	–	–	–	17,87	0,38
CaO	–	–	–	0,35	0,19
MnO	–	–	–	0,37	0,00
FeO	–	–	0,69	17,36	0,98
SrO	–	–	–	0,00	1,60
BaO	–	–	–	3,94	64,01
ZrO ₂	64,47	65,39	67,16	–	–
HfO ₂	0,77	1,44	1,22	–	–

ходки): шеелит, касситерит, рутил, уранинит, настуран, монацит, бадделеит (рис. 2).

В железистых кварцитах встречены барий, содержащий калиевый полевой шпат (табл. 5), гранаты (альмандины, табл. 4), а также единичные зерна молибденита, торита размером в несколько микрометров.

Помимо вышеописанных минералов в тяжелых фракциях проб сульфидизированных железистых кварцитов и сланцев предыдущими исследованиями [5; 6] установлены многочисленные выделения самородного золота. Пробность золотин от 696 до 823 ‰. Золото находится в ассоциации с теллуридами висмута и висмутовыми минералами. Появление в железистых кварцитах и сланцах вышеописанной золото-теллур-висмутовой минерализации связано с наложенными метаморфогенно-гидротермальными процессами [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено значительное разнообразие акцессорных

минералов в породах коробковской свиты курской серии, впервые детально изучен их химический состав. Акцессорные минералы сульфидно-теллур-висмутовой ассоциации, обнаруженные в железистых кварцитах, связаны с проявлением поздних наложенных гидротермальных процессов. В сланцах коробковской свиты диагностированы ранее не описанные в них цирконы, оливин, пироксены, рутил, ильменит и ряд других. Такой набор акцессорных минералов, особенно аллотигенных, характерных для пород как кислого, так и основного – ультраосновного состава, свидетельствует о полигенной природе исходного субстрата для сланцев курской серии, что было обусловлено наличием в областях размыва пород различного петрографического состава. Выявленные различия в видовом составе акцессорных минералов в железистых кварцитах и сланцах обусловлены генетическими особенностями предшествующих осадков пород курской серии, а также влиянием наложенных метаморфогенно-гидротермальных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П., Стрик Ю.Н. 1997. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии. *Геотектоника*. 3: 21–30.
2. Плаксенко Н.А. 1966. *Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии*. Воронеж, изд-во ВГУ: 264 с.
3. Ильяш В.В. 1977. *Литогенез в докембрии и фанерозое Воронежской антеклизы*. Воронеж, изд-во ВГУ: 112 с.
4. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. 1966. *Породообразующие минералы*. М., Мир: 408 с.
5. Резникова О.Г., Кузнецов В.С. 2018. Золото-теллур-висмутовая минерализация в различных типах благороднометалльного оруденения железистых кварцитов и межрудных сланцев Курской серии КМА. *Вестник ВГУ. Серия: Геология*. 2: 107–114. doi: 10.17308/geology.2018.2/1542

6. Абрамов В.В., Кузнецов В.С., Скулков Н.А. 2014. Новые данные по геохимии золота в углеродистых сланцах оскольской серии Рылской структуры Курской магнитной аномалии. *Вестник ВГУ. Серия: Геология*. 2: 49–55.

REFERENCES

1. Chernyshov N.M., Nenakhov V.M., Lebedev I.P., Strik Yu.N. 1997. A model of geodynamic history of the Voronezh Massif in the early Precambrian. *Geotectonics*. 31(3): 186–194.
2. Plaksenko N.A. 1966. *Glavneyshie zakonomernosti zhelezorudnogo osadkonakopleniya v dokembrii*. [Main regularities of iron-ore sedimentation in the Precambrian]. Voronezh, Voronezh State University: 264 p. (In Russian).
3. Il'yash V.V. 1977. *Litogenez v dokembrii i fanerozoie Voronezhskoy anteklizy*. [Lithogenesis in the Precambrian and Phanerozoic of the Voronezh Antecline]. Voronezh, Voronezh State University: 112 p. (In Russian).
4. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 1966. *Porodoobrazuyushchie mineraly*. [Rock-forming minerals]. Moscow, Mir: 408 p. (In Russian).
5. Reznikova O.G., Kuznetsov V.S. 2018. [Gold-tellurium-bismuth mineralization of various types precious mineralization in ferriferous quartzites and interore shale of the Kursk series KMA]. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*. 2: 107–114. (In Russian). doi: 10.17308/geology.2018.2/1542
6. Abramov V.V., Kuznetsov V.S., Skulkov N.A. 2014. [New data on the geochemistry of gold in carbonaceous shales of the Oskol series of the Rylskaya structure of the Kursk Magnetic Anomaly]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2: 49–55. (In Russian).

Поступила 20.04.2023