

И.И. Никулин**СВЯЗЬ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД
КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ
С МАТЕРИНСКИМИ МЕТАМОРФОГЕННЫМИ ПОРОДАМИ**

Богатые железные руды Курской магнитной аномалии являются высококачественными продуктами выветривания метаморфических пород. Они слагают преимущественно линейно-площадные и линейные железорудные залежи – остаточные формы кор выветривания. Линейные коры выветривания сохраняют текстурные признаки коренных метаморфических пород (джеспилитов). Выделен постепенный переход метаморфических минералов в гипергенные: магнетита в мартит, марти-та в железную слюдку либо крупнокристаллический гематит, а затем гематита в мушкетовит. Линейно-площадные коры выветривания не имеют переходных зон с подстилающими метаморфическими породами. Мощност рудных залежей и распределение минеральных ассоциаций контролируется интенсивностью развития карстовых процессов.

Ключевые слова: железо, руды, джеспилиты, выветривание, морфология, мартит, гематит, гетит.

Большинство месторождений богатых железных руд (БЖР) Курской магнитной аномалии (КМА) представляют собой сохранившиеся реликты кор выветривания. Богатые железные руды являются продуктами континентального выветривания железистых кварцитов и залегающих среди них прослоев железистых силикатных сланцев. БЖР нередко наследуют характерные черты текстуры и минерального состава исходных материнских пород. Внешне эти руды представляют собой массивные, однородные, реже тонкополосчатые, еще реже сланцеватые, слабомагнитные, мелко- и тонкозернистые породы темно-синей, красновато-бурой или зеленоватой окраски.

В пределах КМА богатые железные руды широко развиты на породах курской серии нижнего протерозоя, представленной стойленской и коробковской свитами. Первую внизу слагают серые и светло-серые тонкозернистые кварцевые метапесчаниками, а вверху – углеродистые сланцы с прослоями метапесчаников и мета-

алевролитов. Вторая на 95% сложена железистыми кварцитами. Внутрорудных сланцев в объеме коробковской свиты не более 5%, представлены они выклинивающимися прослоями выдержанной мощности (от 0,2 до 30 м). Максимальная мощность свиты зафиксирована на Шемраевском месторождении более 600 м. Курская серия здесь представляет собой изолированную, опрокинутую на восток синклинальную складку, ядро которой сложено железистыми кварцитами коробковской свиты, а крылья – терригенно-осадочными метаморфизованными породами стойленской свиты.

Коробковская свита включает две железорудные подсвиты и разделяющую их сланцевую подсвиту. В нижней подсвите выделяется два горизонта: нижний сложен переслаивающимися силикатно-магнетитовыми и магнетитовыми кварцитами с редкими прослоями кварцито-сланцев и сланцев, а верхний – магнетитовыми кварцитами с варьирующим содержаниями гематита, рибекита, эгирина, карбонатов, села-

донита, тетраферрибиотита [1, 2] и характеризуется тонкополосчатой, линзовидно-полосчатой и неяснополосчатой текстурами, включает редкие прослои сланцев мощностью 0,4–8,3 м. Согласно указанным авторам, сланцевая подсвета весьма невыдержана по мощности и литологическому составу. Кроме кварц-хлорит-хлоритоидных и биотит-мусковитовых сланцев в ее составе присутствуют кварцевые метапесчаники и кварциты. Верхняя железорудная подсвета сложена магнетитовыми кварцитами с редкими, прослоями сланцев мощностью от 0,2 до 4,6 м в нижней ее части. Мощность подсветы достигает 350 м.

Минералогия железистых кварцитов курской серии КМА весьма разнообразна [2, 3]. Наиболее распространенными минералами считаются: магнетит, гематит (мартит и железная слюдка), карбонаты (преимущественно ферродоломит), слюды (тетраферрибиотит, селадонит, мусковит), рибекит, эгирит, хлорит, ферришамозит, хлоритоид.

Наиболее полноценно изучены и проанализированы коровые образования на Яковлевском месторождении, Восточном и Хохловском участках Гостищевского месторождения, Беленихинском участке Ольховатского месторождения, Разуменском, Большетроицком и Шемраевском месторождениях КМА [4]. Они составляют более 50% запасов железа бассейна КМА. Образования довизейских кор выветривания железистых кварцитов и сланцев КМА являются наиболее мощными в пределах Воронежской антеклизы [5]. Среди довизейских кор выветривания КМА выделены линейно-площадной и линейный морфогенетические типы. Линейно-площадные коры развиты по субгоризонтальному контакту известняков и доломитов с железистыми кварцитами, где ограниченно распространены

сланцы, с образованием мощных кор таких, как на Большетроицком и Разуменском месторождениях [6]. Линейные коры выветривания развивались по контакту железистых кварцитов с крутозалегающими сланцами и имеют максимальные глубины залегания.

Главными рудообразующими минералами БЖР на КМА являются [4, 7]: мартит, железная слюдка, карбонаты (сидерит и кальцит), гетит, магнетит (редко) и гидрогематит. Помимо них, в подчиненном количестве присутствуют кварц (или маршаллит) и бертьерин, которые могут принимать в некоторых типах руд существенное участие. Иногда в небольшом количестве или в виде примеси присутствуют метаморфогенный кварц, каолинит, бемит, гиббсит, пирит, марказит, в виде единичных зерен галенит и халькопирит.

Результаты исследования

Тесная зависимость между минеральным составом материнских пород и развитых по ним КВ в большинстве случаев отмечается только на линейных корях выветривания. БЖР, как правило, в линейных корях наследуют характерные черты текстуры, а минеральный состав исходных материнских пород плавно сменяется их гипергенными продуктами. В связи с тем, что КВ линейного типа преобладают над количеством площадных, то их принято считать остаточными КВ с размытыми верхними зонами профилей. В Белгородском районе КМА выделены 7 групп БЖР [4], слагающих железорудные коры выветривания (табл. 1).

В северной части Белгородского рудного района КМА богатые железные руды слагают по большей части линейные коры выветривания. Так в шахтных обнажениях Яковлевского месторождения они повсюду обнаруживают текстурную связь – унасле-

Таблица 1

Минеральные типы железных руд Белгородского района КМА

№	Яковлевское месторождение	Гостищевское месторождение	Ольховатское месторождение	Разуменское месторождение	Больше-троицкое место-рождение	Шемраевское место-рождение
1	железнослюдковые, железно-слюдково-мартитовые и мартитовые	мартитовые, железно-слюдково-мартитовые	железно-слюдково-мартитовые	мартитовые, железно-слюдково-мартитовые	мартит-гематитовые	железно-слюдковые с гиббситом, мартитовые с маршаллитом
2	мартит-гидро-гематитовые	гидро-гематит-мартитовые	гидро-гематит-мартитовые	гидро-гематит-мартитовые	гетит-гематитовые	мартит-желез-новослюд-ково-гидро-гематитовые
3	гидро-гематито-гетитовые	гетит-гидро-гематитовые	–	–	гематит-гетитовые, гидрогематит-гетитовые	–
4	карбонатизированные (сидерито-железнослюдковые, сидерито-железно-слюдково-мартитовые, сидерито-гидро-гематито-гетитовые)	сидерито-железнослюдковые, сидерито-железно-слюдково-мартитовые, сидерито-гидрогематито-гетитовые	сидерито-железнослюдковые, сидерито-железнослюдково-мартитовые, сидерито-гидрогематито-гетитовые	карбонатно-гематитовые	карбонат-гематитовые, магнетит-карбонатно-гематитовые; бертьерин-карбонатно-гематитовые	сидерито-мартитовые
5	железнослюдковые, железно-слюдково-мартитовые и другие с силикатами	силикатно-мартитовые	–	–	бертьерин-гематитовые	–
6	–	магнетитовые	–	–	магнетит-гематитовые	–
7	–	глинистые гетито-гидро-гематитовые	–	–	–	–

дование текстур материнских пород. Железнослюдковые и мартито-железнослюдковые продукты выветривания здесь обычно характеризуются тем же тонкополосчатым сложением, и соответствующие разности кварцитов, где мощность составляющих прослоек колеблется от долей миллиметра до 1–2 мм.

Месторождения южной части Белгородского района характеризуются наиболее крупными профилями выветривания. Их формирование обусловлено благоприятными для сохранения

карстовыми, а затем тектоническими процессами. Вертикальная зональность профилей выветривания на Больше-троицком и Шемраевском месторождениях, таким образом, нарушена.

Обобщенная схема преобразования пород и вероятные процессы, приведшие к окончательному облику, приведена в табл. 2.

Таким образом, анализ всех имеющихся геологических данных позволил установить следующее:

1) имеется последовательность преобразования магнетита в мартит, мар-

Таблица 2

Сводная характеристика состава руд в корах выветривания и их материнских пород

Материнские породы	Железородная кора выветривания	Преобладающие процессы, приведшие к окончательному облику
Железисто-кварцевые роговики и джеспелитоподобные образования (магнетитовые, магнетито-гематитовые и гематито-мартитовые)	Мартитовые, гематито-мартитовые	Мартитизация. Выщелачивание кварца, частичное замещение тонкодисперсным гематитом
Железисто-силикатно-кварцевые роговики (магнетито-амфиболовые, магнетито-хлоритовые и гематито-магнетито-силикатные)	Мартито-тонкодисперсно-гематитовые	Мартитизация. Выщелачивание кварца из кварцевых прослоев и частичное замещение его тонкодисперсным гематитом; окисление и разложение железистых силикатов до гидрогематита или гидрогетита; уплотнение и складчатость
Силикатно-кварцевые роговико-подобные (амфиболовые, хлоритовые и хлорито-биотитовые)	Пестрые тонкодисперсные (гетитовые, лимонитовые, тонкодисперсно-гематитовые)	Разложение и окисление силикатов до гидроокислов железа (гидрогематита, гидрогетита); локальное выщелачивание кварца и кварцевых прослоев, уплотнение и частичное замещение кварца тонкодисперсным гематитом
Железисто-силикатные сланцы с редкими прослоями безрудного роговика (хлоритовые, биотито-хлоритовые и хлорито-серицитовые)	Пестрые тонкодисперсные (гетитовые, лимонитовые, тонкодисперсно-гематитовые); маложелезистые гидрогематитовые (глиноземистые или гидрогематитизированные сланцеподобные)	Преимущественное разложение и окисление силикатов до гидрогематита и гидрогетита; частичный вынос кварца и замещение его тонкодисперсным гематитом

тита в железную слюдку либо крупнокристаллический гематит, а затем гематита в мушкетовит;

2) количество остаточного магнетита с глубиной увеличивается, и ассоциируется с уменьшением пористости пород. В боковых зонах кор выветривания его количество возрастает интенсивнее;

3) железистые силикаты, разлагаясь в зоне окисления, превращаются в гидроокислы железа либо глинистые минералы. Железо, присутствующее в силикатах, из двухвалентного переходит в трехвалентное и, гидратируясь, адсорбируется глинистым веществом, образуя комплексные пестроцветные

породы, состоящие из гетита и тонкодисперсного гематита;

4) интенсивность распространения гидрогематитовых и гетитовых прослоев с глубиной уменьшается, а в дислоцированных зонах прослеживается выклинивание;

5) гидроокислы железа, образованные в результате выполнения пустот выщелачивания кварца роговиковых прослоев в железистых кварцитах, темно-стального или кирпично-красного, почти черного окраса, плотные, с раковистым изломом, без блеска или с полуметаллическим блеском. Под микроскопом наблюдается сплошная, реже неориентированная петельчатая

структура. Отмеченные в корях выветривания зоны подобного развития гидроокислов повторяют размеры роговиковых проявлений в железистых кварцитах;

б) гидроокислы железа, образованные в результате разложения хлорита или роговой обманки в межрудных сланцах, макроскопически слагают собой кирпично-красные или темно-красные коровые образования с хорошо выраженной сланцеватостью. Блеск жирный или шелковистый, излом неровный, землистый, обычно мягкий и

жирный на ошупь. Под биноклем наблюдается петельчатая структура с вытянутыми петлями вдоль слоистости. В слабо выветрелых породах видны реликты силикатов – хлорита, биотита и амфибола, вокруг которых каемки гидроокислов железа.

7) наибольшая пористость проявлена в маритовых породах, наименьшая в пестроцветных породах с преобладанием гидроокислов железа.

8) повышенное количество сидерита в толщах железорудных кор выветривания тяготеет к кровле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савко К.А., Кальмуцкая Н.Ю. Фазовые равновесия и условия метаморфизма раннепротерозойских метапелитов Приоскольской структуры, Воронежский кристаллический массив // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 102–119.

2. Савко К.А. Метаморфизм палеопротерозойской железисто-кремнистой формации Курской магнитной аномалии / Труды НИИ геологии Воронежского государственного университета. Вып. 45. – Воронеж: Изд.-полиграф. центр ВГУ, 2007. – 183 с.

3. Романов И.И. Белгородский рудный район // Железные руды КМА / Н.И. Голикин, Н.Д. Кононов, В.П. Орлов (ред.) – М.: Геоинформмарк, 2001. – С. 293–438.

4. Никулин И.И., Савко А.Д. Железорудные коры выветривания Белгородского района Курской магнитной аномалии / Труды научно-исследовательского института гео-

логии Воронежского государственного университета. Вып. 85. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2015. – 102 с.

5. Савко А.Д., Хожаинов Н.П. Этапы формирования кор выветривания в верхнем протерозое и палеозое Воронежской антеклизы / Литогенез в докембрии и фанерозое Воронежской антеклизы. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1975. – С. 49–59.

6. Никулин И.И. Морфология и условия формирования железорудных кор выветривания Белгородского района КМА // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2014. – № 3. – С. 64–73.

7. Леоненко И.Н., Русинович И.А., Чайкин С.И. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т. III. Железные руды. – М.: Недра, 1969. – 394 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Никулин Иван Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, главный специалист, ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», e-mail: iinikulin@gmail.com.

UDC 622.244.49

THE FEEDBACK OF IRON-RICH ORES WITH THE METAMORPHIC ROCKS (BIF) OF THE KURSK MAGNETIC ANOMALY

Nikulin I.I., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Specialist, EuroChem-VolgaKaliy Company Ltd., Kotel'nikovo, Russia, e-mail: iinikulin@gmail.com.

Rich-iron ores of the Kursk magnetic anomaly are high-grade products of weathering of banded metamorphic rocks (BIF). They form linear-areal and linear iron ore – residual forms of weathering crusts. Linear weathering crusts preserve indigenous textural features of BIFs. Relationships between metamorphic minerals and supergene minerals available: magnetite in to martite, martite in to micaceous hematite or high-grained hematite and then hematite in to mushketovite. Linear-areal weathering crusts not have transition zones after

of the underlying metamorphic rocks. Sizes of ores deposits and distributions of mineral associations controlled by the intensity of the development of karst processes.

Key words: iron, ores, BIF, weathering, morphology, martite, hematite, goethite.

REFERENCES

1. Savko K.A., Kal'mutskaya N.Yu. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geologiya*. 2000, no 3(9), pp. 102–119.
2. Savko K.A. *Trudy NII geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*. Vyp. 45 (Transactions of the Research Institute of Geology, Voronezh State University, issue 45), Voronezh, Izd.-poligraf. tsentr VGU, 2007, 183 p.
3. Romanov I.I. *Zheleznye rudy KMA*. N.I. Golivkin, N.D. Kononov, V.P. Orlov (red.) (Iron ore of the Kursk Magnetic Anomaly. Golivkin N.I., Kononov N.D., Orlov V.P. (Eds.)), Moscow, Geoinformmark, 2001, pp. 293–438.
4. Nikulin I.I., Savko A.D. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*. Vyp. 85 (Transactions of the Research Institute of Geology, Voronezh State University, issue 85), Voronezh, Izd-vo VGU, 2015, 102 p.
5. Savko A.D., Khozhainov N.P. *Litogenez v dokembrii i fanerozoie Voronezhskoi anteklizy* (Precambrian and Phanerozoie lithogenesis of Voronezh anticline), Voronezh, Izd-vo VGU, 1975, pp. 49–59.
6. Nikulin I.I. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geologiya*. 2014, no 3, pp. 64–73.
7. Leonenko I.N., Rusinovich I.A., Chaikin S.I. *Geologiya, gidrogeologiya i zheleznye rudy basseina Kurskoi magnitnoi anomalii. T. III. Zheleznye rudy* (Geology, hydrogeology and iron ores in the Kursk Magnetic Anomaly, vol. III. Iron ores), Moscow, Nedra, 1969, 394 p.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ГИДРОЦИКЛОНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПУЛЬПЫ

Першина Анастасия Викторовна – аспирант, e-mail: fadina2101@rambler.ru,

Ромашев Артем Олегович – кандидат технических наук, ассистент,

e-mail: romashevao@yandex.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Представлены результаты исследования по влиянию изменения свойств исходного питания на параметры разделения в гидроциклоне. В ходе анализа экспериментальных данных установлено, что крупность граничного зерна d_{50} пропорциональна показателю вязкости пульпы в степени 0,44. Было установлено, что большее содержание твердого приводит к уменьшению скоростей радиального движения твердых частиц, таким образом, законы свободного центробежного осаждения меняются на законы стесненного осаждения. Вблизи песковой насадки образуется более высокая и плотная постель из крупных зерен твердой фазы. Вследствие этого крупные зерна попадают в слив, и крупность граничного зерна d_{50} увеличивается.

Ключевые слова: гидроциклон, граничное зерно, вязкость пульпы, песковая насадка, моделирование, железная руда.

THE INTENSIFICATION OF THE PROCESS HYDROCYCLONING IRON-ORE PULP

Pershina A.V., Graduate Student, e-mail: fadina2101@rambler.ru,

Romashev A.O., Candidate of Technical Sciences, Assistant, e-mail: romashevao@yandex.ru,

National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Presents the results of research on the impact of changes in the properties of the source power on the parameters of the separation in the hydrocyclone. In the analysis of experimental data revealed that the grain size boundary granule d_{50} is proportional to the viscosity of the pulp to the extent of 0.44. It was found that increasing the solid content leads to the decrease of velocity RA-fellowship of solid particles, thus, the laws of free centrifugal sedimentation change in the laws of the constrained deposition. Near the sand nozzle is formed higher in a thick bed of coarse grains of the solid phase. As a consequence, large grains fall into the drain, and the fineness of the grain boundary d_{50} increases.

Key words: hydrocyclone, grain boundary, the viscosity of the pulp, sand nozzle, modeling, iron ore.