



УДК 553.068.36; 553.31

**НАНО-СТРУКТУРЫ В БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУДАХ КУРСКОЙ  
МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ****NANO-STRUCTURES OF RICH-IRON ORES OF THE KURSK MAGNETIC  
ANOMALY****И.И. Никулин****I.I. Nikulin***ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий», Россия, 404352, Волгоградская обл., г. Котельниково, ул. Ленина, 7  
EuroChem-VolgaKaliy Company Ltd. Lenin St, Kotelnikovo, Volgograd region, 404352 7, Russia**E-mail: iinikulin@gmail.com**Ключевые слова:* КМА, гематит, гидрогематит, бертьерин, руда, рентгенография, РЭМ.*Key words:* KMA, hematite, hydrohematite, berthierine, ores, X-ray, SEM.

*Аннотация.* Проведены минералогические исследования богатых железных руд Курской магнитной аномалии. В богатых железных рудах выделены мельчайшие минеральные представители – тонкодисперсный гематит и бертьерин. Ранее называемый предыдущими исследователями-геологами гидрогематит по результатам исследований определен, как тонкодисперсный обычный гематит. Он характеризуется размерами 100–500 нм, минимально зафиксированный размер кристалла 85 нм. Бертьерин является слоистым алюмосиликатом серпентиновой группы. Этот минерал имеет «хлопьевидные» и «стружкоподобные» образования с отдельными кристаллами размером до 120 нм.

*Resume.* Mineralogical studies of rich-iron ores of the Kursk magnetic anomaly are conducted. Analytical methods include: scanning electron microscopy (SEM), microprobe study of thin and x-ray mineralogical analytics. In the rich-iron ores fine-grained minerals are determined – fine-grained hematite and berthierine. Earlier usually fine-grained hematite was called hydrohematite. Fine-grained hematite crystals have the size of 100–500 nm, the minimum size of crystals – 85 nm. Fine-grained hematite has three generation. Firstly, his formed in the voids leaching of quartz – bright red hematite rock. Secondary, his formed by silicates; it is formed may be in chloritic schists. Thirdly, his core is formed by cracks, and found at all depths, a small capacity (up to 1 cm) – as joints; observed bands of hematite with schistose texture – spots or thin strands. Berthierine – a layered aluminosilicate of serpentine group. In early studies, when the instrument had not high resolutions, all forms of berthierine called chamosites. Modern analytical methods make it possible to determine exactly the composition of rich-iron ores. It turns out that berthierine has a major role among the silicates in the rich-iron ores. Berthierine has two generations. Firstly, interlayers hematite (up to 10 mm) saturated with impregnated berthierine. Secondary, strong cemented iron-ores by carbonate minerals are composed of berthierine. Berthierine crystal is shaped as flakes or shavings, individual crystals of up to 120 nm. Thus, fine-grained hematite and berthierine are the smallest minerals of rich-iron ores.

**Введение**

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.

Главными рудообразующими минералами на КМА являются: мартит, железная слюдка, карбонаты (сидерит и кальцит), гётит, магнетит (редко) и гидрогематит. Помимо них, в подчинённом 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, бёмит, гиббсит, пирит, марказит, в виде единичных зёрен галенит и халькопирит.

В данной работе проводились исследования наиболее мелких минеральных представителей БЖР – гидрогематита и бертьерина.

**Материал и методы**

Аналитические исследования образцов горных пород проводились в лабораториях Национального исследовательского Белгородского государственного университета и

Воронежского государственного университета. Электронная микроскопия проводилась на растровых электронных микроскопах Jeol 6380 LV и SUPRA 50 VP. Для получения изображений использовался детектор вторичных электронов. Определение состава минералов в шлифах проводилось при помощи энергодисперсионного анализатора Inka-250. Рентгеновская дифрактометрия выполнялась на рентгеновских дифрактометрах Shimadzu и Siemens D-500 с использованием  $\text{Co K-}\alpha$  излучения.

Локальный рентгеноспектральный анализ элементного состава проводился с помощью системы OXFORD INS. Измерения осуществлялись в разных точках каждого из препарированных образцов, а также в шлифах.

### Результаты исследований и их обсуждение

Гидрогематит является второстепенным минералом в рудных залежах [Леоненко и др., 1969; Рахманов, 1962], но встречаются несколько маломощных пластов, где он доминирует над гематитом и гётитом [Никулин, 2012]. Визуально от мартита и гематита он отличается отсутствием видимых кристаллов при небольших увеличениях и землистым строением, а от гидрогётита – красным цветом. Гидрогематит слагает красные (бардовые), красно-коричневые (бурые) и буровато-красные породы (рис. 1). Породы, сложенные гидрогематитом преимущественно колломорфного строения волокнистой или землистой массы агрегатов.



Рис. 1. Разновидности БЖР с преобладанием красного тонкодисперсного гематита (гидрогематита): а) скв. 2р, гл. 492.6 м Большетроицкого месторождения; б) скв. 31р, гл. 506.4 м Большетроицкого месторождения; белесые прослойки – бертьерин

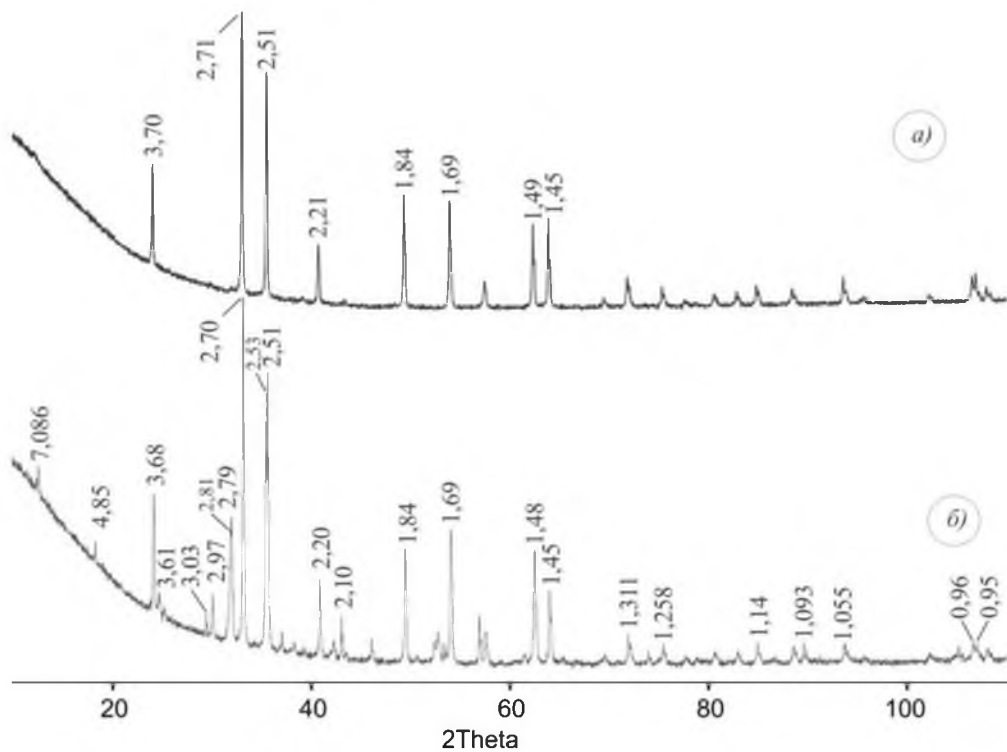
Fig. 1. Types of high-grained hematite ores: a) well 2R, depth 492.6 m; b) well 31R, depth 506.4 m; white interlayers – berthierine

Выделены несколько разновидностей гидрогематита [Никулин, 2015]:

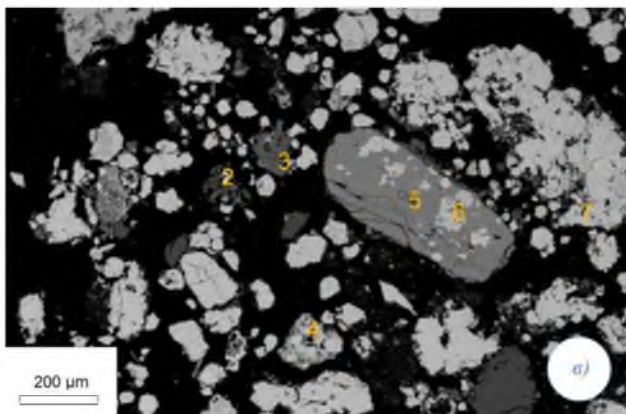
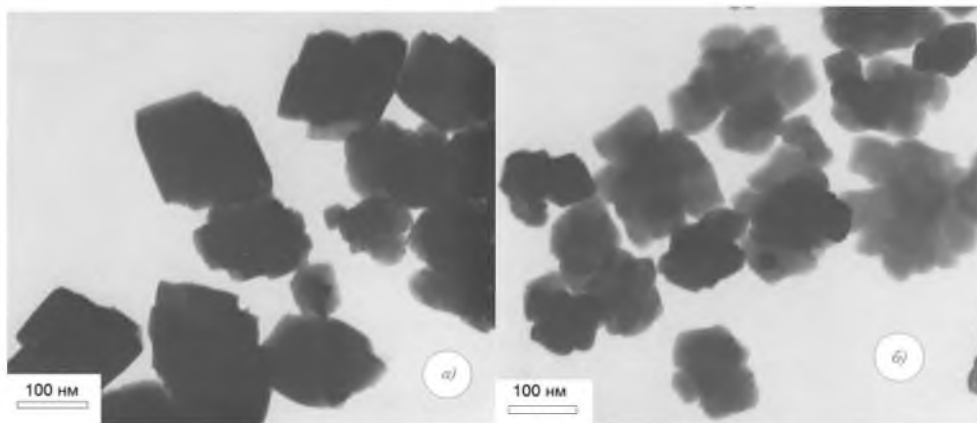
- гидрогематит, образованный в результате выполнения пустот выщелачивания кварца с образованием ярко-красных гематитовых пород;
- гидрогематит, образовавшийся за счет силикатов, возможно, в присутствии достаточного количества свободного кислорода. Его образования могут быть приурочены к хлоритовым сланцам;
- гидрогематит секущих жил (по трещинам) развит повсеместно, но образует мелкие мощности (до 1 см) в виде швов залечивания. Часто наблюдаются выделения гидрогематита на плоскостях напластования сланцев и особенно гематитовых прослоев с реликтовой сланцеватой текстурой в виде бесформенных пятнистых или жилоподобных образований.

По данным рентгенографии 53 образцов гидрогематита, он характеризуется  $d$  (Å): 3.68, 2.70, 2.52, 2.21, 1.84, 1.69, 1.49, 1.45. Интенсивность (%): 30, 100, 70, 20, 40, 50, 30, 30, соответственно (рис. 2). Подобным набором рефлексов обладает обыкновенный гематит.

На растровых электронных снимках гидрогематит имеет габитус гематита со всеми характерными гранями (рис. 3а). Данные микросонда подтверждают химический состав гематита (рис. 3б). Таким образом, термин гидрогематит, существующий в обиходе геологов, является тонкодисперсным гематитом. Размеры тонкодисперсного гематита преимущественно имеют размеры в пределах 100–500 нм. Минимально зафиксированные размеры зёрен тонкодисперсного гематита достигают 85 нм.



*Рис. 2.* Рентгенографические рефлексы тонкодисперсного гематита в богатых железных рудах Большетроицкого месторождения: а) мономинеральный гематит, скв. 19г.л. 514.2 м; б) гематит в смеси с магнетитом, карбонатами и бертьерином, скв. 1р.гл. 481.3 м  
*Fig. 2.* X-ray of high-grained hematites of rich-iron ores: a) hematite, well 19R, depth 514.2 m; b) hematite with magnetite, carbonates and berthierine, well 1R, depth 481.3 m



*Рис. 3.* Тонкодисперсный гематит в железорудной коре выветривания Большетроицкого месторождения: а) и б) РЭМ-снимок гематитовой породы, скв. 1Р гл. 635.4 м; в) точки в шлифе по данным микрозонда: 2 – кварц, 3 – кварц, 4 – гематит, 5 – кварц, 6 – гематит, 7 – гематит, скв. 25Р, гл. 714.3 м  
*Fig. 3.* A high-grained hematite of iron-ore weathering crust: a) and b) photo hematite ore, well 1R, depth 635.4 m; c) point microprobe in thin section 2 – quartz, 3 – quartz, 4 - hematite, 5 – quartz, 6 – hematite, 7 – hematite, well 25R, depth 714.3 m

Бертьерин в исследованиях автора впервые обнаружен в зонах кор выветривания железистых кварцитов Большетроицкого месторождения, а затем и на Хохловском участке Гостищевского месторождения. Особенности развития бертьериновой минерализации в породе фиксировались непосредственно в кернах, а затем наблюдались при помощи растровой электронной микроскопии. Последующее сравнение вторичных минерализаций схожих месторождений позволило определить бертьерин – *Fe-Al* минерал серпентиновой группы алюмосиликатов, как главный силикат железорудных кор выветривания КМА [Никулин, 2013].

В породах коры выветривания бертьериновая минерализация проявлена в двух формах: 1) прослойки гематита (до 10 мм), интенсивно насыщенные бертьерином (рис. 4а) и 2) в составе цементирующего карбонатного материала в скальных, сильно сцементированных разновидностях железных руд (рис. 4б).

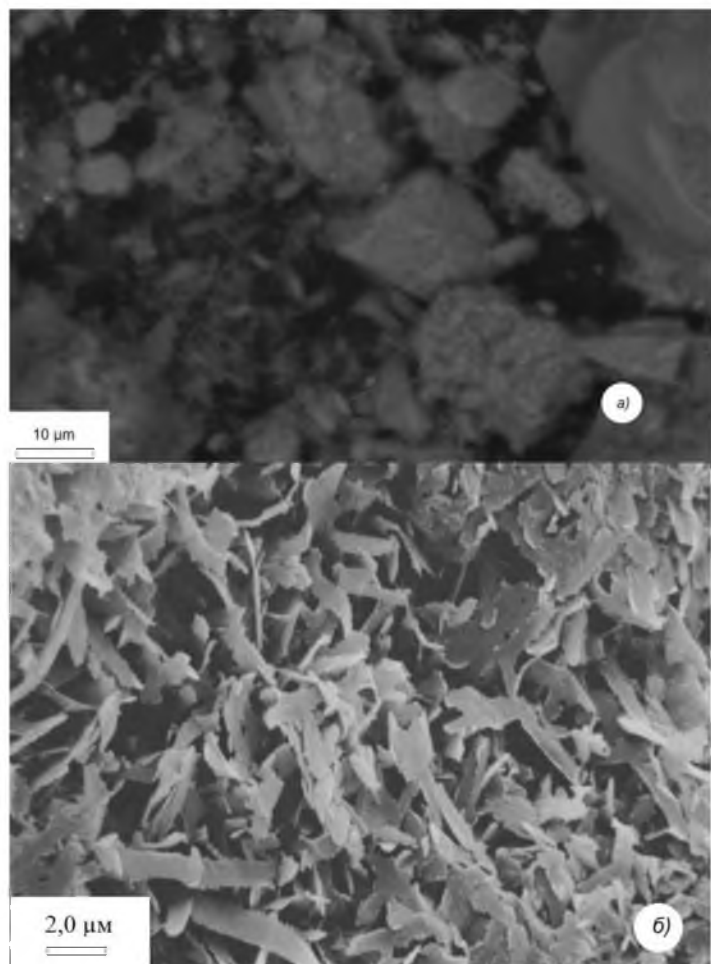


Рис. 4. Формы развития бертьерина в коре выветривания железистых кварцитов Большетроицкого месторождения: а) прослойки невыдержанной мощности в слабосцементированной мартитовой породе, скв. 6Р гл. 541.7 м и б) в цементирующей массе скальных железорудных пород, скв. 28Р гл. 485.1 м

Fig. 4. Forms of berthierine in the weathering crust of ferruginous quartzites: a) a layer of weakly cemented ore, well 6R, depth 541.7 m; b) in the cement of rich-iron ore, well 28R, depth 485.1 m

Бертьерин уверенно идентифицируются на рентгеновских дифрактограммах по рефлексам  $d_{001} \approx 7.105-7.04 \text{ \AA}$  и  $d_{002} \approx 3.547-3.53 \text{ \AA}$  (см. рис. 2б). Помимо бертьерина встречаются бертьерин-шамозитовые смешанослойные разновидности, у которых значения рефлексов на дифрактограммах несколько выше -  $d_{001} \approx 7.17-7.11 \text{ \AA}$  и  $d_{002}$  с вариациями межплоскостных расстояний в пределах  $3.577-3.551 \text{ \AA}$ . Соотношение слоёв весьма устойчиво и очень редко меняется в узких пределах.

При небольших увеличениях (до  $\times 80$ ) бертьерин подобен гелевым образованиям, заполняющим поры, порой создавая пятнистую текстуру. На растровых электронных снимках этот минерал имеет «хлопьевидные» и «стружкоподобные» образования (рис. 5), не превышающие по размерам 120 нм.



*Рис. 5.* Растровые электронные снимки образований бертьерина: а) хлопьевидный бертьерин в мартитовой породе, скв. 6Р гл. 541.7 м Большетроицкого месторождения; б) стружкоподобный бертьерин в железослюдковой породе, образец из обнажения в шахте, линия 33 Яковлевского месторождения

*Fig. 5.* Scanning electron images of berthierines: a) flakes of berthierines, well 6R, depth 541.7 m; b) shavings of berthierines, a sample from the mine, the line 33

Таким образом, минералогические исследования богатых железных руд Курской магнитной аномалии позволили определить наиболее мелкие минералы. Один из них это оксид железа – тонкодисперсный гематит – продукт выветривания железистых кварцитов. Его минимальные размеры достигают 85 нм. Другой мельчайший минерал – бертьерин, который является слоистым алюмосиликатом серпентиновой группы, образованный за счёт эпигенетических изменений богатых железных руд. Отдельные кристаллы достигают максимальных размеров до 120 нм.

### Список литературы References

1. Леоненко И.Н., Русинович И.А., Чайкин С.И. 1969. Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т. III. Железные руды. М., Недра, 394.  
Leonenko Iv.N., Rusinovich Il.An. Chaikin S.I.I. 1969. Geologija, gidrogeologija i zheleznye rudy bassejna Kurskoj magnitnoj anomalii. T. III. Zheleznye rudy [Geology, Hydrogeology and iron ore basin of the Kursk Magnetic Anomaly. Vol. III. Iron ore]. Moscow, Nedra, 394. (in Russian)
2. Никулин И.И. 2012. Характеристика минерального состава богатых железных руд Большетроицкого месторождения КМА. Вестник ВГУ. Геология, (1): 144–154.  
Nikulin Iv.Iv. 2012. Characteristics of the mineral composition of rich iron ore deposits KMA Bolshetroitskogo. Vestnik VGU. Geologija [Proceedings of Voronezh State University. Geology], (1): 144–154. (in Russian)
3. Никулин И.И. 2013. Бертьерин – главный силикат месторождений богатых железных руд КМА. Вестник ВГУ. Геология, (1): 89–97.  
Nikulin Iv.Iv. 2013. Berterin – the main silicate deposits of rich iron ore KMA. Vestnik Vestnik VGU. Geologija [Proceedings of Voronezh State University. Geology], (1): 89–97. (in Russian)



4. Никулин И.И., Савко А.Д. 2015. Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета. Вып. 85. Железорудные коры выветривания Белгородского района Курской магнитной аномалии. Воронеж, ВГУ, 102.

Nikulin I.I., Savko A.D. 2015. Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Vyp. 85. Zhelezorudnye kory vyvetrivaniya Belgorodskogo rajona Kurskoj magnitnoj anomalii [Proceedings of the Research Institute of Geology, Voronezh State University. Vol. 85. Iron ore weathering crust of the Belgorod region of the Kursk magnetic anomaly]. Voronezh, Voronezhskiy universitet, 102. (in Russian)

5. Рахманов В.П. 1962. Богатые железные руды коры выветривания Курской магнитной аномалии. М., Изд-во АН СССР, 198.

Rakhmanov V.P. 1962. Bogatye gelezhnye rudy kory vivetrivaniya Kurskoj magnitnoj anomalii [The rich iron ore weathering crust of the Kursk Magnetic Anomaly]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 198. (in Russian)