

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ EARTH SCIENCES

УДК 553.31:622.7

DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-131-141

## ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ КМА

### MATERIAL COMPOSITION OF RICH IRON ORE DEPOSITS OF KMA

Т.Н. Гзогян, С.Р. Гзогян  
T.N. Gzogyan, S.R. Gzogyan

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

The National Research University “Belgorod State University”, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

E-mail: mehanobr1@yandex.ru

#### Аннотация

В работе рассмотрен минералогический состав богатых железных руд месторождений Курской магнитной аномалии с целью потенциальной возможности получения высококачественной железорудной продукции как сырья для металлзации. Отмечено, что богатые железные руды КМА имеют сложное геолого-минералогическое строение. Проведенными исследованиями установлено, что разнообразие минеральных типов богатых железных руд месторождений КМА обусловлено различным минеральным составом материнских пород (железистые кварциты) и проявлением вторичных процессов (карбонатизация, хлоритизация). Показана значительная неоднородность богатых руд по составу, свойствам и качеству.

#### Abstract

The paper discusses mineral composition of rich iron ore deposits of Kursk magnetic anomaly with the aim of the potential for high-quality iron ore products as raw material for metallization. For the first time on deposits the complete mineral analysis is executed and distinctive features of structure and properties of the basic minerals are allocated. Noted that the rich iron ore KMA have complex mineralogical structure. Studies found that a variety of mineral types of rich iron ore deposits of KMA due to different mineral composition of the parent rocks (ferruginous quartzites) and the manifestation of secondary processes (carbonization, chloritization). Found that iron ore minerals composing the residual ore, are martite and hematite (iron sludge), carbonates (siderite, calcite), magnetite (rare), in addition there are a significant number of hydrohematite, goethite and hydrogoethite and loose and polonijnych varieties zheleznorudnogo-martite ore mass fraction martita significantly higher than in ores of rock and semi. The performed complex of researches on studying of features of structure and properties of rich iron ores of KMA deposits showed considerable their heterogeneity both on physical and chemical properties, and granulometric and mineral structure. In addition, there is a significant difference in the quality of rock and loose varieties of ores.

**Ключевые слова:** богатая железная руда, Курская магнитная аномалия, химический состав, минералогическая разновидность, мартит, гематит, гидрогематит, гетит, гидрогетит, карбонатизация, хлоритизация.



**Key words:** rich iron ore, Kursk Magnetic Anomaly, chemical composition, mineralogical species, martite, hematite, hydrohematite, goethite, hydrogoethite, carbonization, chloritization.

### Введение

В качестве основного стратегического направления освоения железорудных богатств КМА в начале 60-х годов ставка была сделана на добычу и переработку бедных железных руд – железистых кварцитов. Дальнейшее развитие КМА должно быть сориентировано на добычу и переработку богатых железных руд, запасы которых исчисляются млрд т и которые могут стать потенциальным источником получения высококачественного металлургического сырья многоцелевого назначения. С развитием производства металлизированного сырья потребность в высококачественном железорудном сырье будет только расти. Аналоги производства высококачественного сырья для металлизации из гематитовых руд в России отсутствуют. В мировой практике (Австралия, Бразилия) промышленная переработка гематитовых руд различного минерального состава получила широкое распространение.

Таблица 1  
Table 1

Месторождения богатых железных руд Белгородского железорудного района  
Deposits of rich iron ores of the Belgorod iron ore district

| Участок месторождения        | Запасы (ресурсы по категориям), млн т |       |      | Массовая доля оксидов, % |                  |                                |           | Глубина залегания, м | Соотношение мартитовых и железослюдково-мартитовых руд в общих запасах*, % |
|------------------------------|---------------------------------------|-------|------|--------------------------|------------------|--------------------------------|-----------|----------------------|--|
|                              | B+C1                                  | C2    | P1   | Fe <sub>общ</sub>        | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | п.п.п. ** |                      |  |
| Яковлевское месторождение    |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
| Центральный                  | 1621                                  | –     | –    | 60.58                    | 4.95             | 2.13                           | 4.89      | 525                  | 60 (30)  |
| Сморodinский                 | –                                     | 1384  | –    | 60.60                    | 5.08             | 1.86                           | 5.72      | 540                  | 70 (30)  |
| Гостищевское месторождение   |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
| Крюковско-Гостищевский       | 2594                                  | 995   | –    | 60.8                     | 3.5              | 2.89                           | 4.14      | 487                  | 85 (50)  |
| Хохлово-Дальнеигуменский     | –                                     | 7042  | –    | 63.6                     | 3.3              | 2.25                           | 2.84      | 483                  | 85 (50)  |
| Лучкинский                   | –                                     | 2046  | –    | 61.4                     | 3.9              | 2.61                           | 4.50      | 454                  | 60(30)   |
| Висловское месторождение     |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
| Висловский                   | 1078                                  | 1929  | 147  | 60.39                    | 4.15             | 1.84                           | 6.41      | 577                  | 43 (24)  |
| Белгородский                 | –                                     | 571   | 369  | 61.70                    | 3.65             | 2.63                           | 5.01      | 669                  | 72 (24)  |
| Разуменское месторождение    |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
|                              | –                                     | 13684 | 1000 | 61.02                    | 4.72             | 2.00                           | 4.98      | 678                  | 75 (30)  |
| Ольховатское месторождение   |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
| Малиновский                  | –                                     | 2779  | 545  | 59.74                    | 4.70             | 3.56                           | 5.16      | 435                  | 65 (8)   |
| Большетроицкое месторождение |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
|                              | –                                     | 2150  | –    | 62.41                    | 3.08             | 1.27                           | 4.44      | 440                  | 78 (18)  |
| Шемраевское месторождение    |                                       |       |      |                          |                  |                                |           |                      |  |
|                              | 419                                   | 618   | 390  | 63.59                    | 3.88             | 1.51                           | 2.64      | 445                  | 93 (56)  |

\* в скобках – в т. ч. рыхлых разностей

\*\*п.п.п. – потери при прокаливании



Белгородский железорудный район является крупнейшим в мире бассейном богатых железных руд (до глубины 1200 м) с суммарными запасами и прогнозными ресурсами в 82 млрд т при средней массовой доле железа более 60 % и незначительным количеством вредных примесей (диоксида кремния, серы, фосфора), месторождения относятся к разряду крупных и уникальных. Общие балансовые запасы оцениваются 26.1 млрд т. Разведаны Яковлевское, Гостищевское, Висловское, Шемраевское месторождения. Предварительно оценены запасы руд по категории С<sub>2</sub> Разуменского, Олимпийского, Мелихово-Шебекинского, Ольховатского, Большетроицкого месторождений, установлено несколько проявлений богатых железных руд, часть из которых является комплексными железорудно-бокситовыми рудами (см. табл. 1).

Наиболее полно изучены богатые железные руды Яковлевского, Большетроицкого, Гостищевского, Шемраевского и Ольховатского месторождений, которые составляют более 50 % запасов [Русинович, 1964; Булгакова, 1971; Орлов, 1998; Феллер, 2014].

Богатые железные руды месторождений Белгородского железорудного района сложены довольно однообразными геолого-минералогическими типами, среди которых, в зависимости от наличия и количественного соотношения рудообразующих минералов и вторичных наложенных процессов, в основном выделены запасы: маритовые и железнослюдково-маритовые; гидрогематито-маритовые и мартино-гидрогетитовые; гетито-гидрогематитовые и гетитовые; карбонатизированные; переотложенные [Русинович, 1964; Булгакова, 1971; Никулин, 2016]. В таблице 2 приведен химический состав основных типов богатых железных руд перспективных месторождений Белгородского железорудного района.

Разнообразие минеральных типов богатых железных руд месторождений Белгородского железорудного района обусловлено различным минеральным составом материнских пород (железистые кварциты) и проявлением вторичных процессов (карбонатизация, хлоритизация).

Таблица 2

Table 2

Химический состав основных типов богатых железных руд Белгородского железорудного района

The chemical composition of the main types of rich iron ore Belgorod iron ore district

| Компоненты и оксиды            | Массовая доля компонента в минералогической разновидности месторождений, % |  |                                       |  |                                       |  |                                       |  |
|--------------------------------|--|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
|                                | Яковлевское  |  | Гостищевское                          |  | Шемраевское                           |  | Висловское                            |  |
|                                | Маритовая и железнослюдково-маритовая                                      | Гидрогематито-маритовая и мартино-гидрогематитовая с гетитом | Маритовая и железнослюдково-маритовая | Гидрогематито-маритовая и мартино-гидрогематитовая с гетитом | Маритовая и железнослюдково-маритовая | Гидрогематито-маритовая и мартино-гидрогематитовая с гетитом | Маритовая и железнослюдково-маритовая | Гидрогематито-маритовая и мартино-гидрогематитовая с гетитом |
| Fe <sub>общ.</sub>             | 63.19  | 59.4   | 64.47                                 | 54.51  | 65.11                                 | 59.39  | 64.12                                 | 59.56  |
| SiO <sub>2</sub> общ.          | 4.35   | 5.66   | 2.68                                  | 5.42   | 2.54                                  | 4.89   | 3.0                                   | 4.86   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.25   | 3.94   | 1.93                                  | 6.2  | 0.98                                  | 2.94   | 1.42                                  | 2.39   |
| S <sub>общ.</sub>              | 0.014  | 0.031  | 0.032                                 | 0.064  | 0.04                                  | 0.11   | 0.06                                  | 0.09   |
| P                              | 0.11   | 0.05   | 0.08                                  | 0.17   | 0.09                                  | 0.11   | 0.08                                  | 0.09   |
| П.п.п.*                        | 3.04   | 4.62   | 2.81                                  | 8.57   | 2.21                                  | 6.54   | 3.4                                   | 6.1  |

\*П.п.п. – потери при прокаливании



Руды представлены двумя генетическими типами: элювиальным (остаточным) и переотложенным (осадочным). Среди элювиальных руд выделяют основные минеральные типы:

- железнослюdkово-мартитовые, железнослюdkовые, мартитовые;
- гидрогематит-мартитовые и мартит-гидрогематитовые;
- гидрогематит-гидрогетитовые;
- карбонатные при п.п.п. не ниже 10 % (преимущественно сидерит-железнослюdkово-мартитовые);
- хлоритизированные (хлорит-железнослюdkово-мартитовые).

Поскольку за последнее время спрос на низкосортные железные руды резко сократился, вопрос производства высококачественного железорудного сырья для производства металлизированной продукции весьма актуален. В этой связи богатые железные руды могут стать в ближайшее время потенциальным источником получения такой продукции для:

- производства металлизированного сырья (окатыши, брикеты);
- для порошковой металлургии;
- для ферритного и аккумуляторного производства;
- утяжелителя при бурении глубоких нефтяных и газовых скважин и др.

Первым разведанным месторождением на территории Белгородского железорудного района является Яковлевское (1953 г.), которое наиболее полно изучено и детально разведано (1958 г.), общие запасы на нем оценены 6 млрд т по категориям В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> [Орлов, 1998; Сергеев, 2011]. В настоящее время в промышленном масштабе только на нем осуществляется добыча и переработка руды с получением агломерационного продукта с массовой долей железа около 60 %.

Среди богатых железных руд досредневицейской коры выветривания (белгородский региональный тип) по количеству руд, их вещественному составу, способу добычи, технологическому переделу, физико-механическим и металлургическим свойствам выделено четыре геолого-промышленных типа: яковлевский, шемраевский, стойленский и чернянский, ведущая роль среди которых принадлежит объектам, сложенным богатыми рудами яковлевского и шемраевского типа.

К яковлевскому типу относится основная масса высококачественных мартитовых и железнослюdkо-мартитовых руд низкой прочности, отработка которых возможна открытым или подземным способами.

Шемраевский тип объединяет рыхлые мартитовые руды с массовой долей железа 64.0–69.0 %, которые обычно залегают совместно либо в составе крупных залежей яковлевского типа. Рыхлые и полурыхлые богатые руды Шемраевского месторождения составляют шемраевский тип, пригодный для отработки методом скважинной гидродобычи. На Шемраевском месторождении выполнены опытно-методические работы (1988–1995 гг.) и методом скважинной гидродобычи было добыто около 70 000 т руды с массовой долей железа 66.5–68.5 %.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследования являются более 300 групповых геолого-технологических проб природных богатых железных руд, полученных при детальной разведке центральной части Яковлевского месторождения, которые охватывают все участки месторождения и отражают наиболее представительные текстурно-структурные и минералогические особенности кварцитов месторождения.

Изучение особенностей состава и свойств отобранных проб проводилось с применением оптической микроскопии, ЯГР-спектроскопии, высокотемпературной магнитометрии, микронзондирования, рентгеновской дифрактометрии.

Из физических, физико-механических и технологических свойств выполнено определение микротвердости минералов, магнитных и прочностных свойств.

### Результаты и их обсуждение

Богатые железные руды Яковлевского месторождения, залегающие на глубине под 600 м осадочной толщей, представляют собой элювиальные образования, связанные с формированием допалеозойской и раннепалеозойской латеритной коры выветривания. Образование руд сопровождалось выносом щелочных и щелочноземельных элементов и кремнезема, при одновременном накоплении оксидов железа и глинозема, а также протекании вторичных процессов карбонатизации и хлоритизации. На месторождении выделено несколько минералогических типов руд: мартино-железнослюдковые рыхлые и полурыхлые, мартино-гидрогематитовые, гидрогетито-гидрогематитовые, сидерит-железнослюдково-мартиновые, мартит-железнослюдковые хлоритизированные, переотложенные руды.

Среди материнских пород наиболее развиты железнослюдковые руды, на которых формировались богатые мартит-железнослюдковые гематитовые («синька»). В меньшей степени развиты силикат-магнетитовые руды, на которых шло образование богатых мартит-гидрогематитовых и гидрогетитовых руд («краски»). В связи с приуроченностью богатых железных руд к определенному типу метаморфических пород, руды наследуют их текстуры.

Железнослюдковые и мартино-железнослюдковые руды характеризуются тонкополосчатым сложением с мощностью прослоев от долей до 1–2 мм, обладают характерным синеватым цветом. В преобладающей массе они рыхлые, пористые.

Мартит-гидрогематитовые и гидрогетитовые руды имеют темно-красную, кирпично-бурую окраску. Текстура руд полосчатая, неравномерная. Рентгеновской дифрактометрией установлено, что основными рудообразующими минералами являются мартит и гидрогематит, в примеси присутствуют гидрогетит, глинистое вещество, карбонаты, хлорит, кварц (рис. 1).

Гидрогетитовые руды тесно связаны с мартино-гидрогематитовыми, образуя среди них не выдержанные по мощности прослои.

Изучение гранулометрического состава позволило сделать вывод, что богатые железные руды типа «синьки» классифицируются как алевриты, для которых характерна высокая массовая доля крупной пылеватой фракции до 79 %, минимальная массовая доля этой фракции составляет 39 %. Кроме того, отмечается незначительное присутствие тонкодисперсной фракции  $d < 0.002$  мм. «Краски» могут быть отнесены к пескам разномерным пылеватым, где массовая доля тонкодисперсной фракции может возрастать до 7 % (глинистые пески), коэффициент неоднородности в среднем составляет 11, а в отдельных случаях достигает 37–39.

Химическая характеристика минеральных типов руд приведена в таблице 3. Из редких элементов наибольший интерес представляет германий, содержание которого колеблется от 2 до 42 г/т и в среднем составляет 9.1 г/т, наиболее богаты германием руды всякого бока залежи, где содержание германия составляет 12 г/т.

По прочностным свойствам, руды в зависимости от величины временного сопротивления сжатию подразделены на 5 классов (табл. 4):

- скальные относительно крепкие  $\sigma_{сж} > 600$  кгс/см<sup>2</sup>;
- скальные  $\sigma_{сж} = 300–600$  кгс/см<sup>2</sup>;
- полускальные  $\sigma_{сж} = 100–300$  кгс/см<sup>2</sup>;
- полурыхлые  $\sigma_{сж} = 20–100$  кгс/см<sup>2</sup>;
- рыхлые  $\sigma_{сж} = 0–20$  кгс/см<sup>2</sup>.

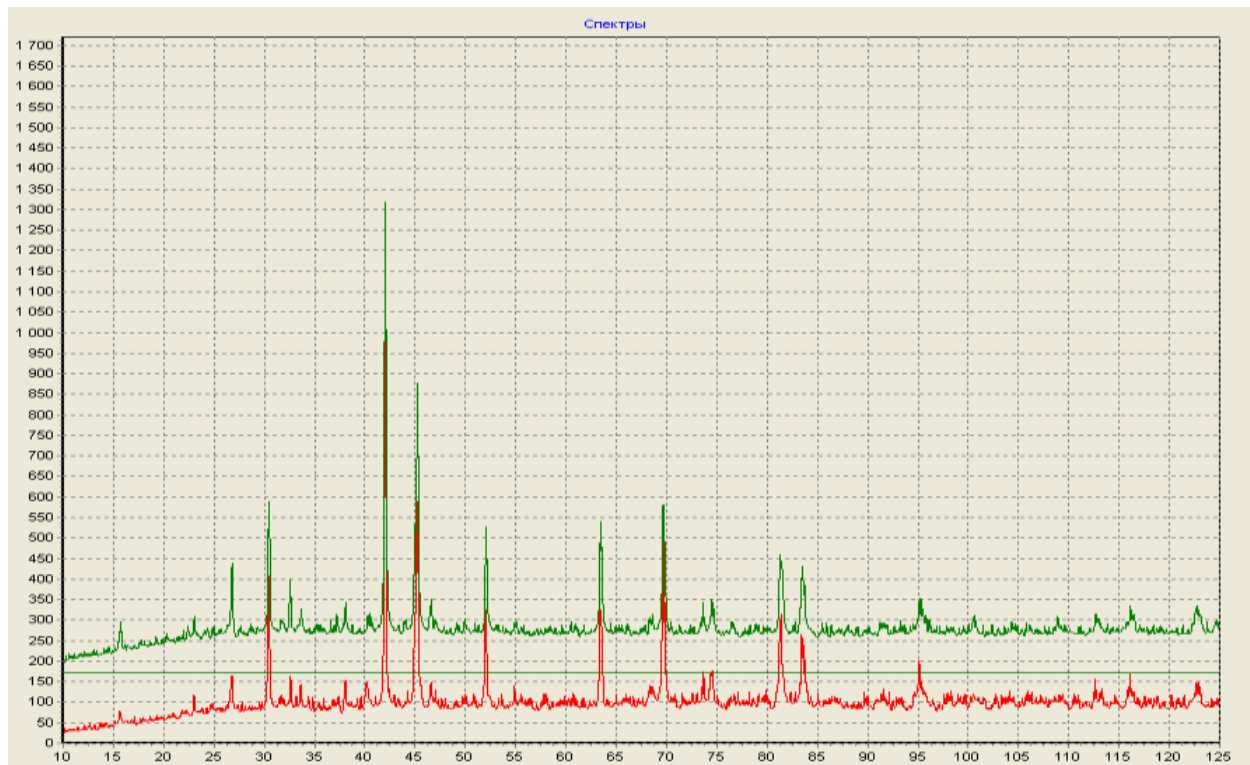


Рис. 1. Рентгенограммы мартит-железослюдковой и гидрогематит-мартитовой руды  
 Fig. 1. Radiographs martite-zheleznorudnogo and hydrohematite-particulary ore

Таблица 3  
 Table 3

Химическая характеристика минеральных типов руд  
 Chemical characterization of mineral ores

| Компоненты<br>и оксиды         | Массовая доля оксидов и компонентов в минеральных типах, % |                             |                                  |   |   |                |
|--------------------------------|--|-----------------------------|----------------------------------|---|---|----------------|
|                                | мартит-железо-<br>слюдковая<br>рыхлая                      | мартит-<br>гидрогематитовая | гидрогемати-<br>гидрогематитовая | сидерит-<br>железослюдково-<br>мартитовая | мартит-<br>железослюдковая<br>хлоритизированная | переотложенная |
| Fe <sub>общ.</sub>             | 67.57  | 62.74                       | 58.43                            | 57.35                                     | 65.9-63.3                                       | 56.36          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 95.17  | 86.57                       | 73.15                            | 55.2                                      | 89.3-81.0                                       | 69.28          |
| FeO                            | 1.22   | 3.35                        | 9.37                             | 24.18                                     | 4.38-8.55                                       | 10.68          |
| SiO <sub>2общ.</sub>           | 0.92   | 3.5                         | 5.93                             | 0.85                                      | 3.08-4.34                                       | 7.57           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.55   | 2.54                        | 5.24                             | 0.23                                      | 1.43-3.48                                       | 5.15           |
| CaO                            | 0.45   | 0.65                        | 0.1                              | 1.12                                      | 0.69-0.8  | 0.8            |
| MgO                            | 0.1  | 0.49                        | 0.45                             | 2.12                                      | не опред.                                       | 0.72           |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.08   | 0.18                        | 0.47                             | 0.06                                      | 0.1   | 0.24           |
| П.п.п.*                        | 0.4  | 3.15                        | 4.65                             | 15.9                                      | 0.69-1.44                                       | 5.64           |
| S <sub>общ.</sub>              | 0.03   | 0.02                        | 0.01                             | 0.27                                      | 0.18-0.04                                       | 0.06           |
| P                              | 0.02   | 0.06                        | 0.06                             | 0.03                                      | 0.06-0.01                                       | 0.06           |
| Сумма                          | 99.21  | 100.4                       | 99.42                            | 99.69                                     | 100.1   | 100.14         |
| Долевое участие                | 59.5   | 26.2                        |                                  | 10.0                                      |   | 3.3            |

\*П.п.п. – потери при прокаливании



Таблица 4  
Table 4

Качественная характеристика основных типов богатых железных руд  
Qualitative characteristics of the main types of rich iron ores

| Типы руд                                     | Категория прочности       | Предел прочности при одноосном сжатии, кгс/см <sup>2</sup> | Массовая доля оксидов, % |                  |                                |
|--|---------------------------|--|--------------------------|------------------|--------------------------------|
|  |                           |  | Fe <sub>общ.</sub>       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Железнослюдково-мартитовые                   | Скальные                  | 300–600  | 57.0–59.0                | 5.5–10.0         | 1.5–2.3                        |
|  | Полускальные              | 100–300  |                          |                  |                                |
|  | Полурыхлые                | 20–100   | 66.0–68.5                | 0.8–2.5          | 0.7–0.8                        |
|  | Рыхлые                    | 20   |                          |                  |                                |
| Мартито-гидрогематитовые                     | Полурыхлые                | 20–100   | 59.0–61.0                | 4.0–5.5          | 2.1–2.4                        |
|  | Рыхлые                    | 20   |                          |                  |                                |
| Гидрогематито-гидрогематитовые («красковые») | Глиноподобные, пластичные | –  | 55.0–58.0                | 5.0–7.0          | 3.9–4.3                        |

Доля рыхлых и полурыхлых руд по железорудным месторождениям Белгородского железорудного района колеблется от 36 до 60 %. На Яковлевском месторождении по центральному участку, подлежащему первоочередной отработке, доля рыхлых и полурыхлых руд составляет 53.7 %. Железнослюдково-мартитовые руды в зависимости от степени цементации хлоритом представлены скальными, полускальными, полурыхлыми и рыхлыми разновидностями. Мартито-гидрогематитовые и гидрогематитовые руды представлены только рыхлыми и полурыхлыми, а карбонатизированные – только скальными и полускальными разновидностями.

Основное различие между ними – это массовая доля железа общего, оксида железа и кристаллизационной воды.

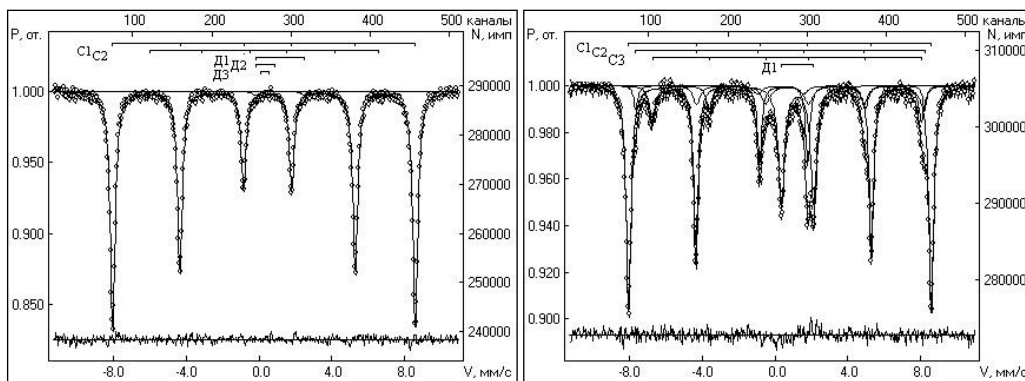
Железнослюдково-мартитовые руды характеризуются высокой массовой долей железа общего (66.24–68.26 %), оксида железа (91.48–93.7 %) и низкой массовой долей кристаллизационной воды (0.41–1.2 %). Мартито-гидрогематитовые и мартито-гематитовые руды имеют более низкую массовую долю железа общего (53.33–62.25 %), оксида железа (70.56–83.34 %) и повышенную массовую долю кристаллизационной воды (4.83–13.0 %).

Оксид железа в рудах связан главным образом с мартитом и железной слюдкой, реже с гидроксидами железа, что подтверждается мессбауэровской спектроскопией (рис. 2). Закись железа входит в состав хлорита, сидерита, остаточного магнетита и пирита. Массовая доля диоксида кремния колеблется от 0.97 до 9.54 %, что связано с реликтовым и прожилковым кварцем, хлоритом и, в меньшей степени, с гидрослюдами и каолинитом.

Количество оксида алюминия колеблется от 0.55 до 2.74 % и тесно связано с проявлениями хлорита и, в незначительном количестве, с гидрослюдами, каолинитом, гиббситом и бенитом. Массовая доля оксида кальция в рудах колеблется от 0.19 до 1.5 %, что обусловлено наличием в них кальцита.

Повышенная массовая доля кристаллизационной воды обусловлена повышенной массовой долей гидрогематита, гематита и гидрогематита и изменяется от 4.83 до 13.0%.

Основными рудными минералами, слагающими остаточные руды, являются мартит и гематит (железная слюдка), карбонаты (сидерит, кальцит), магнетит (редко), кроме того имеется значительное количество гидрогематита, гематита и гидрогематита, а в рыхлых и полурыхлых разновидностях железнослюдково-мартитовых руд массовая доля мартита значительно выше, чем в скальных и полускальных рудах.



а) б)

Рис. 2. Мессбауэровский спектр железослюдково-мартитовой руды: рыхлая и полурыхлая (а) и скальная и полускальная (б)

Fig. 2. A Mossbauer spectrum hematite-martite ore: friable and half-friable (a) and rocky and half-rocky (b)

В некоторых типах руд принимают существенное участие кварц маршалитизированный и хлорит типа шамозита, присутствующие в подчиненном количестве. Иногда в виде примесей наблюдается метаморфогенный кварц, лепидокрокит, пирит, марказит, бемит, гиббсит, в виде единичных зерен халькопирит и галенит.

**Гематит** (железная слюдка) является наиболее распространенным минералом в рудной толще и ярким представителем богатых железных руд. Кривые дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) гематита показали, что во всех выделенных фракциях проявляется гематит  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с температурой Кюри  $675.8^\circ\text{C}$ , и даже присутствие еще более высокотемпературной фазы, вероятно, железа ( $\theta = 775^\circ\text{C}$ ), также установлено влияние мартита с температурой Кюри  $578^\circ\text{C}$  (рис. 3).

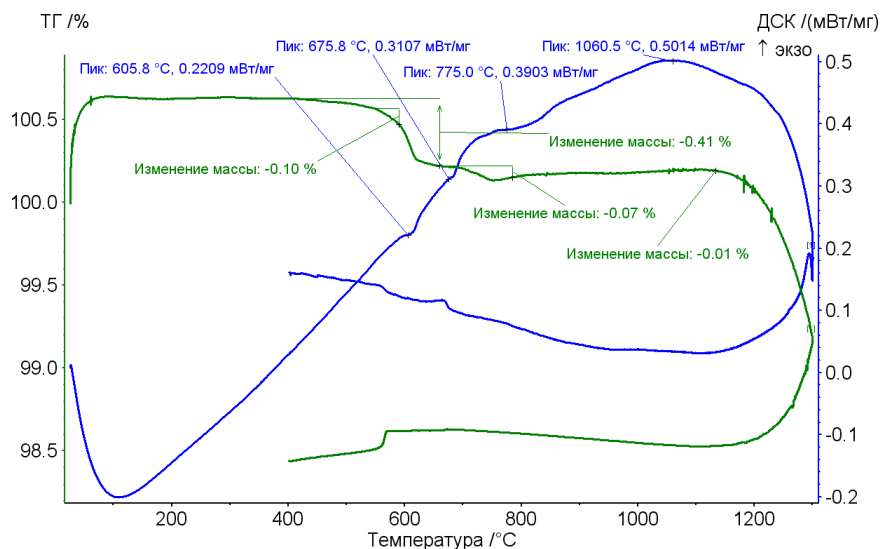


Рис. 3. Кривые дифференциально сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТМГ) мономинеральной фракции гематита

Fig. 3. Curves of differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry (TMG) monomineral fractions of hematite

Встречается в виде зонально-колломорфных образований (вплоть до скрытокристаллических агрегатов) и мелких зерен неправильной, псевдочешуйчатой и пластинчатой формы. Его отдельные чешуйки или сложные петельчатые образования составляют прослои с неровными, часто зазубренными границами. Цвет кристаллов и



плотных масс от серо-стального до тускло-серо-черного, у рыхлых разностей – красно-бурый; блеск полуметаллический; непрозрачен. Диагностируется рентгенографическим методом по ряду рефлексов.

Гематит находится в тесных текстурно-структурных сочетаниях с мартитом. Массовая доля железа в мартите варьирует от 66.6 до 69.9 %, составляя в среднем 68.12 %, в тонкодисперсном – от 66.4 до 67.7 %, в среднем – 66.9 %.

Выделено три генерации гематита:

первая генерация – гематит кристаллический, образованный как псевдоморфоза за счет замещения первичного минерала - мартита с сохранением его формы;

вторая генерация – гематит ксеноморфный или агрегаты ксеноморфного и кристаллического гематита, образованные как псевдоморфозы за счет замещения мартита (магнетита);

третья генерация – гематит игольчатый, образованный за счет процессов растворения и переотложения железосодержащих минералов, продукт высокотемпературной гидротермальной деятельности.

**Мартит** является главным минералом богатых руд, наблюдается в виде отдельных изометричных зерен, а также в виде полигональных агрегатных сростков. Представляет собой псевдоморфозы гематита по магнетиту в виде ромбододекаэдрических или октаэдрических кристаллов (сросшихся зерен и редко выделяется в виде отдельных кристаллов). Мартит обладает серым или серо-синим цветом, в проходящем свете – черный, в отраженном – белый. В отдельных зернах мартита наблюдаются часто светлорозовые (отраженный свет) реликты магнетита. Реликты магнетита представлены плоскостями кристаллов и двойников кристаллов, наблюдается характерное замещение мартитом магнетита по кристаллографическим направлениям.

В свою очередь мартит часто замещается гидроксидами железа с неясным колломорфным строением. Местами зерна мартита подверглись гидратации, в результате чего по нему образуется землистый гидрогематит. Гидратация зерен мартита чаще всего начинается с краевых частей зерна, обрамляет зерна мартита, а также заполняет микротрещины и промежутки между зернами. Массовая доля железа в мартите варьирует от 67.6 до 69.9 %, составляя в среднем 69.0 %.

**Гидрогематит** является второстепенным рудообразующим минералом, но местами встречаются прослой, где он доминирует над гематитом и гетитом и представлен дисперсной рыхлой разновидностью. Гидрогематит развивается по мартиту в виде гнезд, каемок, образуя коррозионную структуру. Местами гидрогетит является продуктом разрыхления биотита, содержащегося в небольшом количестве в кварцитах и межрудных сланцах. Гидрогематит характеризуется дисперсным строением и придает прослоям кирпично-красную окраску, встречается во всех разновидностях, а в гидрогематит-гидрогетитовых является одним из основных минералов.

Выделено три генерации гидрогематита:

первая генерация – гидрогематит, образованный за счет выполнения пустот выщелачивания кварца, имеет исключительное значение при рудообразовании красковых и гематит-красковых руд;

вторая генерация – гидрогематит, образованный за счет хлорита, по всей вероятности, в присутствии достаточного количества кислорода. Генетически его образование может быть приурочено к материнским сланцам (хлоритовым);

третья генерация – гидрогематит секущих жил (по трещинам). Разлит повсеместно в виде швов залечивания с образованием мелких слоек (до 1.0 см). Выделения гидрогематита часто наблюдаются на плоскостях напластования сланцев и особенно гематитовых прослоев с реликтовой сланцевой текстурой в виде бесформенных пятнистых или жилоподобных образований.

Кроме того, встречаются красные (бардовые), красно-коричневые (бурые) и бурокрасные гидрооксиды железа преимущественно колломорфного строения волокнистой или землистой массы агрегатов.



**Гетит**, как и **гидрогетит**, наблюдается в виде рыхлой, землистой охристой массы, местами глиноподобной темно-бурого цвета и являются в основном продуктами разложения железосодержащих амфиболов и карбонатов. В чистом виде почти не встречается, имеет поперечно-волокнистое строение. Гетит имеет постепенные переходы в гидрогетит и другие гидрооксиды железа, что отражается в сдвоенных диагностических признаках. Химический состав по [Никулин, 2016] составляет железа общего от 63.89 до 68.83 %, диоксида кремния от 2.4 до 2.63 %.

**Магнетит** встречается в виде реликтовых зерен в мартите и образует единичные зерна. Магнетит сильно подвержен мартитизации, в редких случаях образует псевдоморфозы по гематиту (мушкетовит – эпигенетический магнетит). Разлит магнетит по широким плоскостям пластинок и чешуек гематита, замещает зерна мартита, образуя характерные формы замещения. Массовая доля железа в магнетите варьирует от 69.6 до 72.2 %, составляя в среднем около 71.0 %.

**Сульфиды** железа представлены в основном пиритом и сравнительно реже – марказитом. Пирит распределен в виде мелкой рассеянной вкрапленности, мелких агрегатов и секущих прожилков.

**Силикатные минералы** представлены, в основном, хлоритом типа шамозит и, в незначительном количестве, гидрослюдой и оксидами и гидрооксидами алюминия. Хлорит наблюдается в виде пятен, гнезд, сплошных аморфных или скрытокристаллических масс, концентрирующихся послойно. Хлорит, заполняя пространство между рудными зернами и агрегатами, является цементирующим материалом.

**Оксиды и гидрооксиды алюминия** встречаются в незначительном количестве в виде рыхлых образований и чаще всего приурочены к прослоям сложенным преимущественно гидрооксидами железа, представлены в рудах, в основном каолинитом, гиббситом и бенитом.

**Карбонаты** представлены в основном сидеритом и кальцитом и встречаются повсеместно, менее распространены сидероплезит и доломит. Сидерит часто играет роль одного из главных рудообразующих минералов, от его количества, в основном, зависит агрегатное состояние и крепость руд. Сидерит является основным цементирующим минералом в богатых железных рудах, он заполняет в рудах поры, пустоты, образуя прожилки и гнездообразные скопления. Цементирующая масса сидерита образована зернами разной величины и формы, размером от 0.01 до 0.40 мм. Сидерит-цемент находится в тесной связи с мартитом и иногда реакционно замещает его. Сидерит кристаллический, неравномернoзернистый.

**Кальцит** встречается меньше, чем сидерит. Он образует послойные и секущие прожилки, гнезда в трещинах и пустотах, часто формирует натечные колломорфные образования.

**Кварц** является главным образом реликтовым минералом, обычно маршалитизирован, представлен зернами с неровными краями, корродированными сидеритом и гидрооксидами железа, кроме того встречается крупнокристаллический кварц в виде секущих прожилков различной мощности. Реликтовые прослои кварца представляют собой рыхлые минеральные агрегаты их субмикронных зерен кварца – маршалита. Выделены три разновидности кварца:

первая – тонко-мелкозернистый (0.025 – 0.01 мм), обычно загрязнен тонкой рудной пылью, представлен в незначительном количестве в гематитовых рудах;

вторая – среднезернистый (до 0.1 мм) перекристаллизованный (часто маршалитизирован), чистый, выполняющий пустоты и поры в гематитовых и бартьерит-гематитовых рудах;

третья – жильный.

## Выводы

Установлено, что разнообразие минеральных типов богатых железных руд обусловлено различным минеральным составом материнских пород и проявлением вторичных процессов карбонатизации и хлоритизации.

Выполненный комплекс исследований по изучению особенностей вещественного состава богатых железных руд показал значительную неоднородность руд по физическим и химическим свойствам, гранулометрическому и минеральному составу. Отмечается существенная разница в качестве скальных и рыхлых разновидностей руд.

## Список литературы References

1. Русинович И.А., Небосенко В.Ф. 1964. Гостищевское железорудное месторождение. Воронеж, Центрально-Черноземное книжное издательство, 81.  
Rusinovich I.A., Nebosenco V.F. 1964. Gostishhevskoe zhelezorudnoe mestorozhdenie [Gostischevskoye iron ore Deposit]. Voronezh, Centralno-Chernozemnoe knizhnoe izdatelstvo, 81. (in Russian).
2. Булгакова А.П. 1971. Эпигенетические преобразования богатых железных руд Курской магнитной аномалии. Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Воронеж, 19.  
Bulgakova, A. P. 1971. Epigenetic transformation of the rich iron ores of the Kursk magnetic anomaly. Abstract. dis ... cand. geol.- min. sciences. Voronezh, 19. (in Russian).
3. Орлов В.П., Веригин М.И., Голивкин Н.И. 1998. Железорудная база России. Геоинформмарк. М., 842.  
Orlov V. P., Verigin M.I., Golivkin N.I. 1998. Zhelezorudnaja baza Rossii [Iron ore base of Russia]. Geoinformmark. Moscow, 842. (in Russian)
4. Феллер Е.Н. 2014. Прогнозирование изменения инженерно-геологических условий при ведении очистных работ на Яковлевском руднике (Яковлевское месторождение богатых железных руд КМА). Автореф дис... канд геол.-мин. наук. С.-Петербург, 20.  
Feller E. N. 2014. The forecast of changes engineering geological conditions for mining at the Yakovlevskiy mine (Yakovlevsky mine of rich iron ore KMA). Abstract dis....cand. geol.- min. sciences. S.-Petersburg, 20. (in Russian).
5. Никулин И.И. 2016. Об условиях образования богатых железных руд Курской магнитной аномалии. Научные ведомости БелГУ. Естественные науки, 11 (35): 158–164.  
Nikulin I.I. 2016. On the conditions of formation of rich iron ores of Kursk magnetic anomaly. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 11 (35): 158–164. (in Russian).
6. Сергеев С.В., Лябах А.И., Зайцев Д.А. 2011. Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА. Научные ведомости БелГУ. Естественные науки, 3 (14): 200–208.  
Sergeev S.V., Lyabakh A.I., Zaitsev D.A. 2011. Experience developing rich iron ore deposits of the Yakovlevskaya KMA. Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences, 3 (14): 200–208. (in Russian)

## Ссылка для цитирования статьи

Гзогян Т.Н., Гзогян С.Р. Особенности вещественного состава богатых железных руд месторождений КМА // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 131–141. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-131-141

Gzogyan T.N., Gzogyan S.R. Material Composition of Rich Iron Ore Deposits of KMA // Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences series. 2018. V. 42, № 2. P. 131–141. doi: 10.18413/2075-4671-2018-42-2-131-141