DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10029

УДК 553.31.068.3(470.323)
© И.И.Никулин, 2019

Большетроицкое месторождение рыхлых мартитовых руд закарстованной палеокоры выветривания железистых кварцитов и джеспилитов Курской магнитной аномалии

И.И.НИКУЛИН (Общество с ограниченной ответственностью «Норильскгеология»; 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 11)

Рассмотрено геологическое строение и вещественные особенности железорудной палеокоры выветривания (КВ), развитой на железистых кварцитах и джеспилитах Большетроицкого месторождения в допоздневизейское время. Комплексные исследования КВ, а также продуктов её размыва в формирующуюся на то время карстовую полость позволили восстановить особенности формирования минеральных типов богатых железных руд (БЖР). Мощности Большетроицкой остаточной палеокоры выветривания наибольшие в регионе – 80–310 м. По минеральному составу выделяются 9 минеральных типов БЖР, основные из которых: мартитовые, лептогематит-мартитовые и карбонатно-гематитовые. Преобладающими минералами в КВ являются оксиды и гидроксиды Fe, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях. При формировании залежи БЖР в профиле выветривания происходило накопление железа и активный вынос кремнезёма. Последующие наложенные процессы привели к частичной цементации и разубоживанию руд, понижению в них содержаний F_2O_3, увеличению концентраций FeO и SiO_2. Анализ минерально-геохимической дифференциации вещества позволил выделить 4 основных этапа: 1) долатеритный, 2) латеритный, 3) диагенетический и 4) эпигенетический. Выяснено, что минеральный состав остаточной залежи БЖР зависит от исходного субстрата и этапа перекрытия более молодыми отложениями. Предложенная модель формирования БЖР позволяет объяснить их сложный минеральный состав и прогнозировать участки залежей рыхлых гематитовых руд.
Ключевые слова: мартит, железная слюдка, лептогематит, бертьерин, сидерит, богатая железная руда, кора выветривания, железистый кварцит, джеспилит, сланец, Курская магнитная аномалия, историко-генетический анализ, геолого-генетическая модель.

Никулин Иван Иванович
доктор геолого-минералогических наук



iinikulin@mail.com

Bol'shetroitskoye deposit of friable martite ores as karst in the paleoweathering crust of ferruginous quartzites and jespilites of the Kursk Magnetic Anomaly

I.I.NIKULIN (PLC «Norilskgeologia»)

The geological structure, mineralogical and chemistry features of the iron-bearing paleoweathering crust and developed on ferruginous quartzites and jaspilites of the Bol'shetroitskoye deposit in the pre-late Vise period are considered. As a result of the comprehensive research of iron-bearing paleoweathering crust, as well as its erosion products into the karstic cavity that was being formed at that time, found out to restore the peculiarities of the formation of mineral types of high-grade iron ores. The capacity of the paleoweathering crust of the Bol'shetroitskoye deposit is the largest in the region – 80–310 m. The mineral composition is divided into 9 mineral types of high-grade iron ores, the main of which are martite, leptohematite-martite and carbonate-hematite. The predominant minerals in paleoweathering crust are oxides and hydroxides of Fe, siderite and berthierine in various combinations. During the formation of the friable martite ores in the weathering profile, iron accumulation and active removal of silica occurred. Subsequent superimposed processes led to partial cementation and dilution of ores, a decrease in their F_2O_3 contents, and an increase in the concentrations of FeO and SiO_2. Analysis of the mineral-geochemical differentiation of substances allowed us to distinguish 4 main stages: 1) pre-lateritic, 2) lateritic, 3) diagenetic and 4) epigenetic. It was found that the mineral composition of the residual deposit of friable martite ores depends on the initial substrate and the stage of overlapping by younger sediments. The proposed model for the formation of friable martite ores allows us to explain their complex mineral composition and predict areas of deposits of high-grade ores.
Key words: martite, microplaty hematite, leptohematite, berthierine, siderite, high-grade ore, weathering crust, ferruginous quartzites, jaspilites, shale, Kursk Magnetic Anomaly, historic-genetically analysis, geologic-genetically model.

Большетроицкое месторождение расположено вблизи пос. Большетроицкое Шебекинского района Белгородской области, в 50 км к востоку от г. Белгород. При проведении поисковых работ (1960–1963 гг.) по сети 3800–5500×200–400 м 24 скважинами были вскрыты железистые кварциты Корочанско-Большетроицкой грабен-синклинали, являющейся частью Белгородского грабен-синклинория, и охарактеризовано Большетроицкое месторождение железных руд в пределах профилей IV, V и VI. Затем для выяснения бокситоносности сланцев курской серии в 1964–1965 гг. пробурены ещё 16 скважин. По результатам этих работ на государственном балансе с 1964 г. числилось 1500 млн. т запасов мартитовых и железно-слюдково-мартитовых руд по категории C_2 с содержанием $Fe_{общ.}$=61,5% (Н.И.Визирякин, В.Н.Клекль и др., 1964). Согласно уточнённым данным 1989 г., запасы составляли 2150 млн. т по категории C_2 с содержанием $Fe_{общ.}$=62,41%. В связи с положительными результатами гидродобычных работ (СГД) на Шемраевском месторождении и Южном участке Гостищевского месторождения в 1988–1998 гг. на Большетроицком месторождении в 2007 г. произведён первый пуск геолого-технологической скважины диаметром 630 мм. Методом СГД осуществляли добычу рыхлых мартитовых руд средней плотности 5,6 г/см^3 с глубины более 680 м. Добыча проводилась без применения щелочей, а в качестве источника воды для рудной пульпы в эксплуатационный цикл задействовалась вода из самого рудного горизонта. В период 2007–2012 гг. геологоразведочными работами уточнено структурное положение пород курской серии, вновь выделена верхняя сланцевая подсвита ($PR_1^1kr_4$), оконтурена залежь богатых железных руд [1], запасы увеличены на 30% (И.И.Никулин, 2011): по категориям В – 110,3, C_1 – 306,4 (при $Fe_{общ.}$=67%) и C_2 – 1980 млн. т (при $Fe_{общ.}$=62,41%).

Геологическое строение. По всему бассейну Курской магнитной аномалии (КМА) зафиксированы залежи БЖР (рис. 1), которые являются остаточными корами выветривания, развитыми преимущественно по породам железисто-кремнисто-сланцевой формации курской серии [2]. Яковлевская, Разуменская, Гостищевская, Беленихинский участок Ольховатской, Большетроицкая и Шемраевская залежи БЖР составляют более 65% запасов всего железа Белгородского рудного района (Ф.Я.Волочаев, 1985). Рудная зона Белгородского района КМА расположена в пределах южной части Белгородско-Михайловского синклинория. Главная рудоносная структура – Белгородская синклиналь северо-западного простирания [8], в которой выделены три крупные складчатые структуры второго порядка северо-западного простирания: Яковлевская и Ольховатская синклинали, разделённые Мелихово-Гостищевской антиклиналью и осложнённые складками более высоких порядков. Корочанская синклиналь северо-восточного простирания расположена на борту Курско-Корочанского антиклинория и отделяется от Белгородской синклинали Алексеевско-Лодеевской блоковой антиклиналью. Корочанская синклиналь к югу сменяется Большетроицкой, которая резко меняет простирание с северо-западного на юго-западное. Складчатые рудоносные структуры железисто-кремнисто-сланцевой формации Большетроицкой синклинали залегают на глубинах свыше 500 м и разбиты системой крупных продольных и поперечных разломов, которые выявлены по геофизическим и аэрокосмическим материалам геологоразведочных экспедиций. Мелкие разрывные нарушения установлены в ходе буровых работ по материалам керна скважин.

На палеоповерхность под мезозой-кайнозойским осадочным чехлом Большетроицкого месторождения выходят породы михайловской и курской серий, слагающие одноимённую синклиналь, на сложноскладчатом шарнире которой развита кора выветривания, сложенная БЖР и бокситами (рис. 2). Михайловская серия (AR_2mh) представлена александровской свитой (амфиболиты и сланцы различного состава с прослоями метапесчаников). Курская серия (PR_1kr) – стойленской (метапесчаники с прослоями метаалевролитов, алевролитов и кварц-мусковитовых, кварц-биотит-мусковитовых и кварц-серицитовых с углистым веществом сланцев) и коробковской (нижняя сланцево-железорудная, средняя сланцевая, верхняя железорудная и верхняя сланцевая подсвиты ($PR_1^1kr_{1-4}$)) свитами [3].

Пологая моноклиналь пород курской серии, интенсивно гофрированная только на уровне мелкой складчатости, осложнена рудоконтролирующими разрывными структурами – малоамплитудными зонами дробления западно-северо-западного и северо-северо-восточного простираний, вдоль которых мощность БЖР резко возрастает в 1,5–3 раза. Абсолютные отметки кровли залежи БЖР меняются от –200 до –370 м (рис. 3). Остаточные мощности КВ варьируют: 1) БЖР от 80 м на джеспилитах и до 310 м на железистых кварцитах верхней надсвиты коробковской свиты ($PR_1^1kr_3$) и 2) бокситов и железо-глиноземистых руд до 50–70 м на сланцах верхней надсвиты коробковской свиты ($PR_1^1kr_4$).

Кора выветривания плащеобразной морфологии с соотношением своей длинной оси к мощности около 1:6 (рис. 4, А) осложнена развитием зон повышенной трещиноватости на контактах между разнотипными (кварцсодержащими и бескварцевыми) материнскими породами. За счёт этого мощность увеличивается в 1,5–2,0 раза, что в целом характеризует её как контактово-площадную КВ [6]. Центральная часть коры выветривания сильно закарстована собственно БЖР с незначительным количеством прослоев джеспилитов (см. рис. 4, Б). Вдоль двух осей тектонических нарушений северо-восточного и северо-западного направлений подошва залежи БЖР приобретает черты «фальшкиля» с увеличением мощности в 1,5–3 раза: от 100–150 до 200–300 м по профилям V и V+400 и от 50–60 до 150 м по профилю V-400.

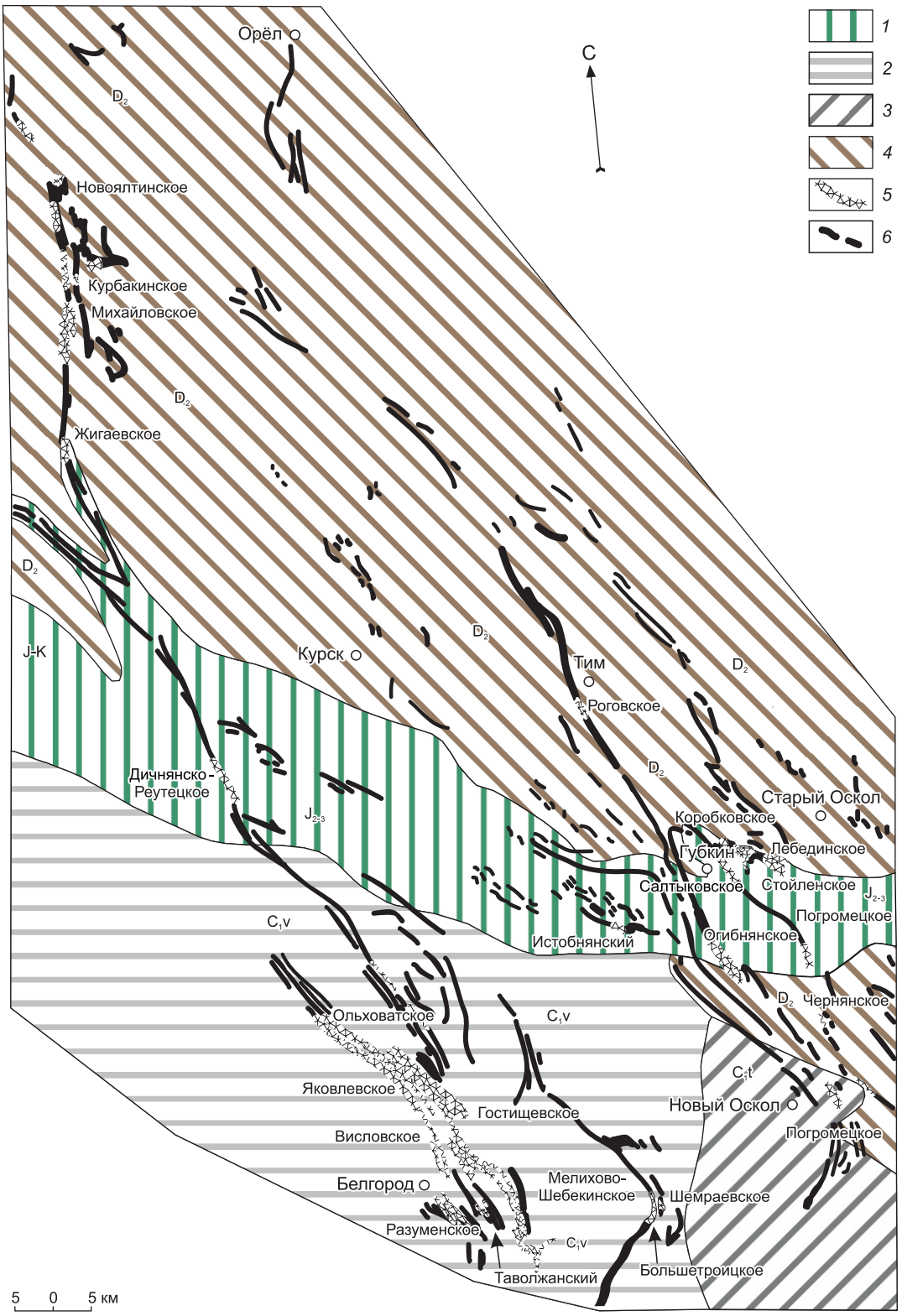


Рис. 1. Схема распространения железорудных кор выветривания в пределах бассейна Курской магнитной аномалии:

1–4 – осадочный чехол: *1* – глины, J_{2-3} и K, *2* – известняки и доломиты, C_1v, *3* – глинистые известняки, C_1t, *4* – глины, глинистые известняки, D_2; железорудная формация: *5* – залежи БЖР, *6* – железистые кварциты и сланцы курской серии, PR_1kr

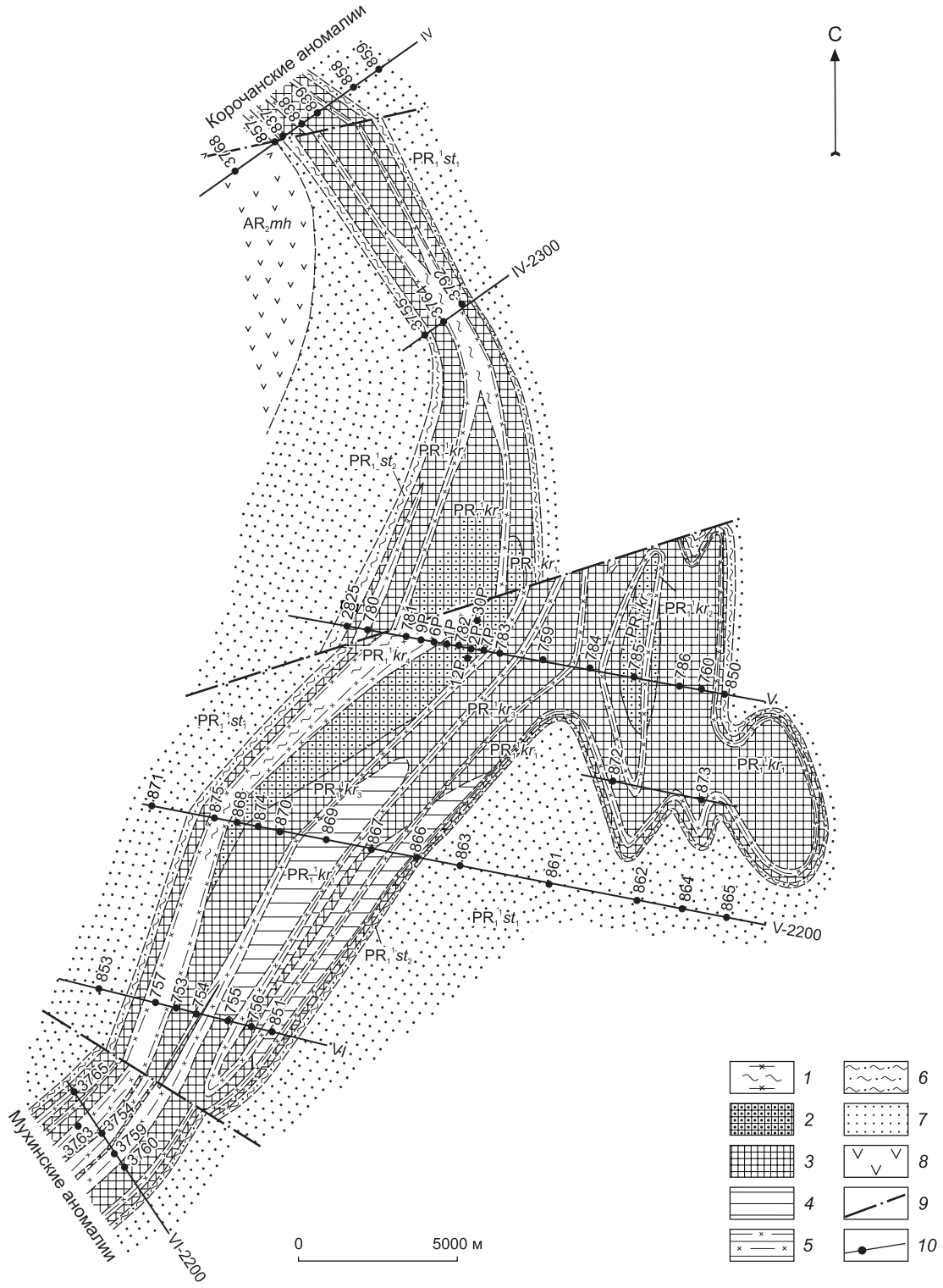


Рис. 2. Геологическая схема Большетроицкого железорудного месторождения. *По [8], с изменениями и дополнениями:*

1 – бокситы и аллиты; *2* – железорудная палеокора выветривания; *3* – железистые кварциты курской серии (коробковская свита: верхняя, $PR_1^1kr_3$ и нижняя, $PR_1^1kr_1$ железистые подсвиты); *4* – кварциты со сланцами (нерасчленённые); *5* – сланцы курской серии (коробковская свита: верхняя, $PR_1^1kr_4$ и нижняя, $PR_1^1kr_2$ сланцевые подсвиты); *6* – сланцы углеродистые двуслюдяные курской серии (стойленская свита, $PR_1^1st_2$); 7 – метапесчаники кварцевые, аркозовые, метаалевролиты, алеврофиллиты курской серии (стойленская свита, $PR_1^1st_1$); *8* – амфиболиты, ортосланцы михайловской серии, AR_2mh; *9* – тектонические нарушения; *10* – скважины и геологоразведочные профили

В северо-западной части месторождения в породах михайловской серии зафиксированы граниты атаманского комплекса.

Осадочный комплекс на Большетроицком месторождении имеет мощность 389–550 м при среднем значении 495 м. Как и на всей территории Белгородского рудного района КМА он сложен каменноугольными отложениями палеозоя, юрскими и меловыми отложениями мезозоя, палеогеновыми и четвертичными отложениями кайнозоя.

Каменноугольные отложения в связи со значительными колебаниями абсолютных отметок кристаллического фундамента характеризуются весьма изменчивой мощностью – от 141 м до их полного выклинивания в профиле V-2000, при среднем значении 64 м. Они сложены серыми органогенно-детритовыми, нередко гранулированными и перекристаллизованными известняками с желваками чёрных камней и прослоями тёмно-серых и серых глин мощностью до 4 м михайловского и веневского горизонтов визейского яруса, а также белых и светло-серых кремнистых, перекристаллизованных, закарстованных известняков стешевского и тарусского горизонтов серпуховского яруса. В основании каменноугольных отложений залегают переотложнные железные руды, бокситовые породы мощностью 0–14 м.

Средне- и верхнеюрские отложения (пески и глины апта и альб-сеномана, мела турон-коньяка и мергели сантон-компана) имеют среднюю мощность 242 м, а меловые кампан-маастрихтского яруса и палеогеновые отложения сохранились лишь на водоразделах, где мощность достигает, соответственно, 28 и 22 м. Мощность четвертичных отложений около 12 м.

Особенности железорудной палеокоры выветривания. В разрезе незакарстованной части КВ (рис. 5) выделяются пять зон (снизу вверх): 1) мартитизированные железистые кварциты (начального окисления), 2) пористые мартитовые руды (выщелачивания), 3) лептогематит-гётитовые руды (выветривания). Верхняя половина зоны 2 подверглась бертьеринизации (зона диагенеза – 4 зона), а зона 1 и верхняя часть зоны 2 – карбонатизации (зона эпигенеза – 5 зона). В закарстованном профиле коры выветривания залегание БЖР обусловлено многократными провалами пород в карстующиеся железистые кварциты.

Мартитизированные железистые кварциты нижней зоны мощностью до 9 м встречаются преимущественно в восточной части месторождения, подстилая рыхлые и слабосцементированные БЖР. От железистых кварцитов они отличаются чётко выраженной мартитизацией магнетита и повышением содержаний Fe_2O_3 в профиле. По куммингтонит-магнетитовым кварцитам развит ферроселадонит.

Зона выщелачивания со средней мощностью 76 м представлена пористыми мартитовыми БЖР, которые условно делятся на верхнюю и нижнюю подзоны. Нижняя подзона характеризуется рыхлыми мартитовыми рудами. Верхняя подзона выделяется наличием в ней прожилков шамозитов различной ориентации и слоистой вкрапленности бертьерина. Нижняя граница бертьеринизации находится в пределе одной абсолютной отметки. БЖР представлены [4, 5, 7] следующими разновидностями: 1) рыхлые-полурыхлые существенно мартитовые серовато-синие до тёмно-синих, 2) слоистые мартитовые серовато-синие из уплотнённых рыхлых, слабо- и сильносцементированных, 3) слабо- и сильносцементированные мартитовые с магнетитом и лептогематитом, 4) рыхлые-полурыхлые существенно лептогематитовые и лимонитизированные, красноватые и буровато-жёлтые.

Зона выветривания в виде маломощного латерита сложена преимущественно гидроксидами железа и лептогематитом по джеспилитам в самой западной части месторождения. По всей зоне развита бертьеринизация. Породы пестроцветные в нижней части, сменяются к верху более светлыми и голубоватыми окрасками за счёт большей интенсивности сидеритизации БЖР. Последние представлены следующими разновидностями: 1) слоистые уплотнённые рыхлые, хорошо- и сильносцементированные лептогематитовые, лимонитизированные, на сидеритовом цементе серые, красноватые и буровато-жёлтые, 2) хорошо- и сильносцементированные мартитовые с магнетитом и лептогематитом на частично сидеритовом цементе серые и буровато-красноватые, 3) рыхлые и уплотнённо-рыхлые существенно лимонитовые с гематитом и мартитом от бурых до ярко-жёлтых, 4) слоистые уплотнённые рыхлые, хорошо- и сильносцементированные существенно лимонитизированные со слоистыми силикатами на частичном сидеритовом цементе, 5) хорошо- и сильносцементированные мартитовые существенно лимонитизированные, сидеритизированные с магнетитом и лептогематитом, бурые и светло-красные.

Бертьеринизация проявлена в двух формах – в виде вкрапленных прослойков (до 10 мм) в БЖР невыдержанной мощности и в рассеянном виде в составе цементирующего карбонатного материла в хорошо- и сильносцементированных БЖР. Бертьерин характеризуется скрытокристаллической массой оливково-зелёного и травяно-зелёного цветов. Общее затухание зоны бертьеринизации с глубиной предполагает наиболее существенное развитие этого процесса в верхних частях рудных тел. Однако в действительности ни один исследователь это не наблюдал. Бертьерин встречен и в подошве Большетроицкой КВ под 280-метровой толщей БЖР, и в её прикровельной части.

Зона сидеритизации придаёт БЖР массивный облик, плавно сменяясь вверх по разрезу полным замещением БЖР сидеритом, а затем визейскими известняками. Здесь наблюдается более позднее окисление сидерита, сопровождающееся замещением по спаянности и граням зёрен гидроксидами железа, за счёт чего первый

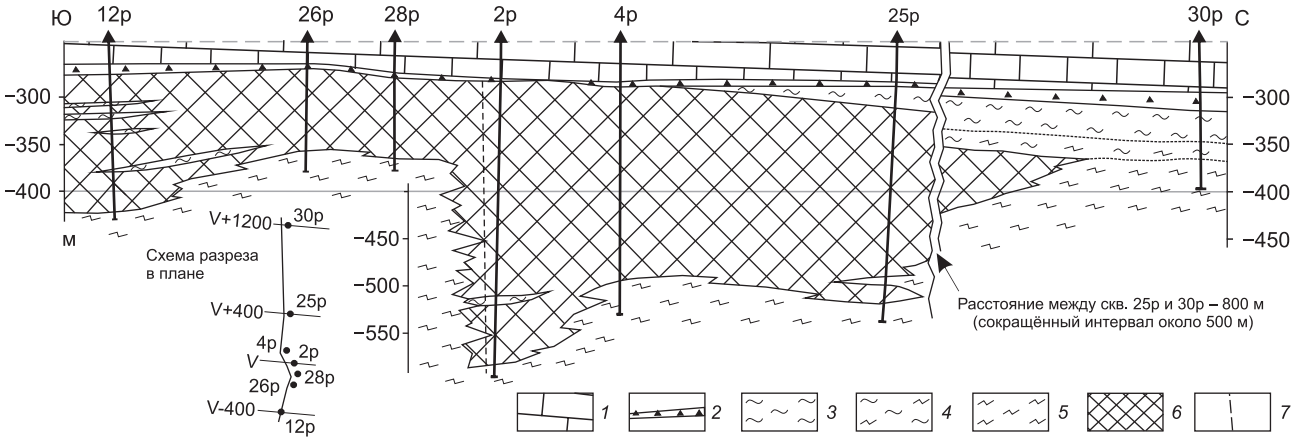


Рис. 3. Схематический геологический разрез вдоль рудной залежи Большетроицкого месторождения:

1 – визейские известняки и сидериты, C_1v; *2* – нижнекаменноугольные рудные конгломерато-брекчии; *3* – выветрелые филлитовидные сланцы, бокситы, Fe-Al-породы, $PR_1^1kr_4$ и прослои сланцев среди Fe-кварцитов, $kr_{2–3}$; *4* – толща, переходная от сланцев к Fe-кварцитам; *5* – Fe-кварциты, $kr_{2–3}$ и kr_1; *6* – БЖР по $kr_{2–3}$; *7* – предполагаемая ось зоны дробления

приобретает желтовато-бурую окраску. В лимонитизированных кавернах на стенках пустот часто развиты щётки более поздних карбонатов. Нередко мелкие пустоты заполнены рыхлым силикатным минералом. Карбонатный минерал в этих генерациях образует более крупнозернистые агрегаты.

Очень часто в прослойках карбонатов встречаются реликты кварца. В смешанном сидерито-кальцитовом цементе сидерит обычно расположен между кальцитом и мартитом, образуя рубашки вокруг зёрен последнего.

Закарстованные БЖР залегают в виде пластов и линзообразных прослоев, нижние пласты имеют более крутое падение, верхние постепенно выполаживаются. В средней части провал не фиксируется, встречаются пёстрые тонкодисперсно-гематитовые прослои, включающие фрагменты слабосцементированных мартитовых пород. В коррозионно-просадочной части закарстованной коры выветривания БЖР залегают слоями в нижней части примерно параллельно рельефу депрессии. Это указывает на постепенное проседание заполняющих железорудных пород по мере углубления воронки за счёт выноса кремнезёма из роговиков. В верхней части закарстованной коры выветривания слои выполаживаются и едва отражают рельеф депрессий. В коррозионно-провальной части КВ стенки обрывистые, со следами обрушения материнских пород. По границе депрессий устанавливаются тектонические нарушения, выраженные маршаллитовой мукой. Наличие провала фиксируется по нагромождению хлоритовых глин и глыб сланцев. Проявление обвальных смещений после заполнения карстовой воронки выражается наклонным положением слоёв рыхлых мартитовых или железнослюдковых пород депрессии. Горизонтальное залегание выполняющих отложений, с резким несогласием упирающихся в крутые, почти отвесные стенки воронки, указывает на то, что провал происходил в ранее существующие полости. В целом выделяются следующие литогенетические группы (снизу вверх):

1. Карстовые провально-оползневые брекчии и глыбы материнских метаморфических пород с гнёздами рыхлого мартитового материала. Мощность провально-оползневого обломочно-глыбового горизонта варьирует от 5 до 50 м. В разрезах преобладают крупноглыбовые образования, которые сложены неизменёнными (или со слабыми следами окисления) метаморфическими породами. Крупные обломки имеют размеры от 0,5 до 5,0 м. В обрушенных и сползших глыбах джеспилитов или сланцев слоистость ориентирована под углом 50°. В непрочном тонкодисперсном цементе присутствуют примеси мартита, железной слюдки и маршаллита. Последний выполняет пустоты выщелачивания и трещины в обломках, реже образует межблочные гнёзда мощностью до 3 мм. Состав разноминеральный. Мелкие обломки метаморфических пород представлены материнскими кремнями, гематитовыми и магнетитовыми сростками.

В отдельных интервалах керна скважин обильно представлены визуально видимые хлоритовые продукты размыва метаморфических пород. На дне карстовой воронки мартитовый рыхлый материал локализован под глыбами (до 5 м) сланцев или тонкослоистых джеспилитов. Тонкодисперсный гематит расслаивается косослоистыми образованиями и аргиллитоподобной

ленточной слоистостью. В составе тонкодисперсно-гематитовых красных прослоев с примесью более крупной гематитовой фракции встречаются редкие бобовины гидроксидов железа жёлтой окраски.

2. Просадочно-оползневой горизонт – пёстроцветные глинисто (тонкодисперсно)-алевритовые и алеврито-глинистые с щебнем железистых роговиков неслоистые разногенетические породы со следами сплывов, гравитационного скольжения (зеркала скольжения) и пластических деформаций, с многочисленными бобовинами и оолитами гидроксидов железа, с подчинённой ролью тонкодисперсно-гематит-мартитовых линзовидных тел и мелкообломочных брекчий сланцев.

Преобладающие в керновых разрезах железная слюдка с щебнем материнских пород представляют собой сильно глинистые плотные неслоистые породы с кусковатой отдельностью, серой, кирпично- и вишнёво-красной, жёлтой, розовой и ярко-зелёной окраски. Содержание щебнистых обломков светло-серых окремнелых кварцитов размером 2–5 см составляет 10–30%. В небольшом количестве до 10% отмечены оолиты и бобовины гидроксидов железа размером от 15 мм. В верхней части горизонта в центральной части воронки нередко залегают линзы крупных вторичных брекчий мощностью до 3 м.

Это разнообломочные брекчии вишнёво-красной и светло-фиолетовой окраски, содержащие до 20% щебнистых обломков мучнистых желтовато-белых маршаллитизированных пород размером 1–4 см. Нередко встречаются крупные до 30 см обломки железистых роговиков и реже сланцев. Прослой щебенчатых железнослюдковых пород мощностью от 15 до 30 м в отдельных случаях составляет основную массу горизонта.

3. В прикровельной осевой части депрессионной полости залегает крупная прогнутая линза рыхлых мартитовых или железнослюдковых руд мощностью до 40 м, пестроцветных каолинит-тонкодисперсно-гематитовых аргиллитов с обугленными растительными остатками. Эта линза сложена озёрно-болотными и пролювиально-озёрными отложениями в просадочно-оползневом залегании. Озёрные фации представлены просевшими отложениями тёмно-серой, розовой, лиловой, бурой, коричневой и зеленоватой окрасок с постоянной незначительной примесью песчаного кварцевого материала. Границы слоёв расплывчатые, с обилием поверхностей скольжения. Постоянны включения бобовин гидроксидов железа.

Факторы формирования закарстованной контактово-площадной КВ. Анализ всей имеющейся геологической и минералогической информации позволяет сделать вывод о том, что обогащение железистых кварцитов в экзогенных условиях и образование БЖР были обусловлены рядом факторов. Среди них важнейшими [5] выделены: тектонический, петрохимический, климатический и биотический.

Тектонический фактор, действуя через рельеф, определил ослабленные зоны по материнским породам для образования элювия. Контрастность рельефа, в котором железистые кварциты возвышались над участками развития гранитогнейсов, способствовала выносу растворимых компонентов из пород профиля выветривания.

Петрохимический фактор определён восприимчивостью к выветриванию исходных горных пород, вышедших на дневную поверхность.

Климатический фактор связан с благоприятными условиями для развития поверхностных гипергенных процессов (высокие температуры, обильные атмосферные осадки). Воздействие атмосферы (аэрация исходного субстрата) проявлено преимущественно на начальном этапе развития, формируя окислительные условия и, как следствие, образование латеритной КВ. Многократная смена уровня и интенсивности промывного режима определила вертикальную зональность профиля КВ. Температура во многом определяет циркуляцию атмосферных вод, которые вкупе с подземными водами формируют пористость выветриваемых пород.

Биотический фактор вызван обширным развитием растительности в раннем карбоне и в связи с этим интенсификацией процессов гипергенного рудообразования. Поэтому КВ, перекрытые девонскими породами, имеют гораздо меньшие мощность и проработанность экзогенными процессами по сравнению с раннекаменноугольными. Роль биологического фактора в формировании КВ осуществляется при воздействии химических и физических процессов атмосферы. По многочисленным данным геохимиков понятно, что выветривание под влиянием органического вещества усложняется и ускоряется, а сами изменения касаются не качества, а количества за счёт темпа деструкции. Поэтому необходимо ставить акцент на состав и свойства главных агентов выветривания – атмосферу и гидросферу, которые коренным образом трансформированы деятельностью «живого вещества» планеты (по В.В.Вернадскому) – резкое увеличение содержания кислорода за счёт фотосинтеза, когда «жизнь» вышла на сушу.

На минеральный состав БЖР при их дальнейшем сохранении повлияли диагенетические и эпигенетические процессы. Все перечисленные процессы через геохимическую дифференциацию минерального вещества, изоморфных замещений и кислотно-щелочного равновесия привели к естественному минеральному отбору и его некоторой диссимметризации.

Стадии образования контактово-площадной КВ. Таким образом, структурно-морфологическая особенность, закономерность перехода между породами, подчёркивающая пористость и слоистость материнских пород, общий геохимический профиль, указывающий на окислительные условия и вынос кремнезёма без привноса новых химических элементов и их соединений, а также вертикальную зональность, отражающую смену фациальных условий с некоторыми особенностями,

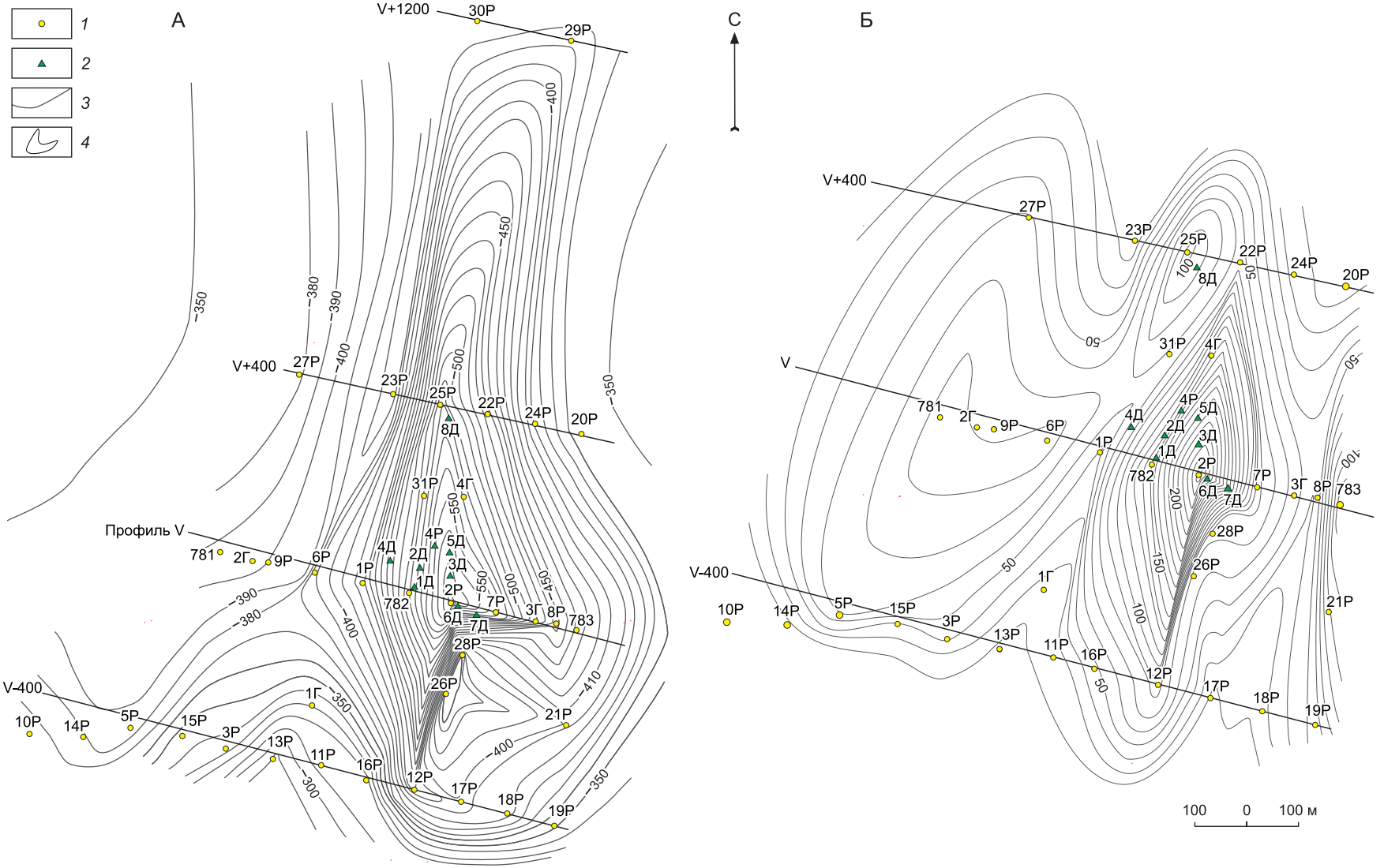


Рис. 4. Морфология залежи БЖР центральной части Большетроицкого месторождения:

А – рельеф подошвы и Б – изолинии мощностей БЖР; скважины: *1* – геологоразведочные и *2* – технологические (добычные); изолинии: *3* – абсолютных отметок подошвы, м и *4* – мощностей, м

позволяют выделить как минимум 4 этапа формирования БЖР.

1. На начальном этапе выветривания (долатеритный этап выветривания – додевонское время) на сложной системе складок железистых кварцитов и джеспилитов небольшой и средней мощности сформировались преимущественно красноцветные маломощные БЖР, по трещинам в магнетитовых роговиках – мартитовые, а на межрудных сланцах – гидрослюдисто-каолинитовый профиль выветривания. Из-за многократных тектонических деструкций и выветривания в джеспилитах произошла дезинтеграция метаморфического гематита до железной слюдки и тонкодисперсного гематита (лептогематита), а по силикатам сланцев образовался каолинит.

В условиях пониженного содержания кислорода в атмосфере окисление магнетита было малозначительным. Мартитизация связана преимущественно с выносом части ионов двухвалентного железа (Н.А.Корнилов, 1968, 1970):

$3Fe_3O_4$(тв.)$=4Fe_2O_3$(тв.)$+Fe^{2+}$(в водн. раств.)$+2e$, при $Eh=-0{,}032+0{,}0295\lg[Fe^{2+}]$ (Р.М.Гаррелс, 1962).

Это подтверждается наличием пористости в магнетитовых кварцитах, затронутых процессами мартитизации, в самых нижних частях профиля выветривания. Окисление магнетита контролировалось концентрацией углекислоты, образовывавшейся в результате разложения карбонатов, которые в разных количествах находятся в неокисленных железистых кварцитах.

Растворение карбонатов при ничтожном содержании кислорода сопровождалось образованием лептогематита (ярко-красных БЖР) (Н.А.Корнилов, 1970): $2FeCO_3+2H_2O$(жидк.)$+0{,}5O$(газ)$\rightarrow Fe_2O_3+2H_2CO_3$(водн.), при $\lg PO_2=4\lg[H_2CO_3]-58{,}06$.

Те же процессы наблюдаются в работах исследователей БЖР Кривбасса (В.С.Федорченко, 1955, 1956; Г.Г.Бура, 1957 и др.).

2. Данные палеоландшафтного анализа визейского века позволяют судить о елховско-бобриковском времени как об основном в стадии латеризации (допоздневизейская стадия), наложенной на более древние КВ [10]. В раннем визе зона гумидного климата фиксируется вытянутой полосой через Воронежский свод и Днепровско-Донецкий прогиб с широким распространением угленосных формаций на востоке и в центре Русской платформы.

В профилях выветривания с глубокими горизонтами по ослабленным проницаемым зонам по магнетиту образовывался преимущественно мартит, а по гематиту – железная слюдка. Реакции окисления в зависимости от Eh и pH следующие (Р.М.Гаррелс, 1960):

$$2Fe_3O_{4\ крист.}+0{,}5O_{2\ газ.}=3FeO_{3\ крист.},$$

$$\frac{H_2O_{жидк.}=2H^+_{в\ водн.раств.}+0{,}5O_{2\ газ.}+2e}{2Fe_2O_{4\ крист.}+H_2O_{жидк.}=3Fe_2O_{3крист.}+2H^+_{в\ водн.раств.}+2e}$$

следовательно,

$$3\Delta F^o_{f\,Fe_2O_3}+2\Delta F^o_{f\,H^+}-2\Delta F^o_{f\,Fe_3O_4}-\Delta F^o_{f\,H_2O}=\Delta F^o_{реакции}$$

$(3\times-177{,}1)+(2\times0)-(2\times242{,}4)-(-56{,}69)=+10{,}2$ ккал.

$$E^o=\frac{+10{,}2}{2\times23{,}06}=0{,}221v;\ Eh=0{,}221+\frac{0{,}059}{2}\log\frac{[Fe_2O_3]^2[H^+]^2}{[Fe_2O_3]^3[H_2O]};$$

$$Eh=0{,}221+\frac{0{,}059}{2}\log[H^+]^2$$

$Eh=0{,}221-0{,}059pH$.

Этот расчёт по предложенной реакции показывает, что минимальный окислительно-восстановительный потенциал для процесса окисления железистых минералов меньше, чем 0,221v, и уменьшается с повышением pH. Поэтому на глубине могло происходить окисление магнетита при этих условиях со значением $Eh=-0{,}232v$ и даже меньше.

3. Диагенетический этап (средневизейский, послебобриковский) характеризуется сменой тектонического режима, заключающейся в погружении БЖР, развитых по железистым кварцитам и джеспилитам, создании гидроморфных условий и начала диагенетических преобразований латеритного покрова, выраженных в бертьеринизации, шамозитизации и сидеритизации их в зоне цементации перед перекрытием её осадками. Исследования отложений тульского времени позволяют считать его рубежом между латеритизацией и диагенетическим преобразованием продуктов выветривания метаморфического комплекса КМА [11].

Индикаторными минералами, помимо сохранившихся от второго этапа, являются бертьерин-1М, шамозит, а также сидерит первой генерации, развитые в верхних частях профилей. Бертьерин-1М является преобладающим минералом среди слоистых силикатов. Он мог образоваться за счёт гидролиза и смены pH-условий при инфильтрации щелочных растворов из вышеформирующихся осадков [14]:

$Al_2Si_2O_5(OH)_4+2FeCO_3\rightarrow Fe_2Al_2Si_2O_5(OH)_4SiO_2+2CO_2$.

Эта реакция подтверждается в экспериментальных работах [16, 17]. При глубинном метасоматозе дальнейшее увеличение температуры приводит к преобразованию каолинита в шамозит [13].

В образовании сидеритов на стадии диагенеза принимала участие углекислота морского бассейна [12]. Эта реакция могла протекать в две стадии [9]:

$2Fe^{2+}+1{,}5O_2+3H_2O\rightarrow 2Fe(OH)_3$,

а затем $4Fe(OH)_3+C+3CO_2\rightarrow 4FeCO_3+6H_2O$.

4. Этап эпигенеза и формирования современного облика БЖР связан с образованием юго-западного склона палеозойской Воронежской антеклизы. После визейского времени вся территория КМА претерпела погружение. В позднем карбоне, перми, триасе, ранней юре рассматриваемая территория тектоническими процессами была приподнята, а каменноугольные отложения размывались, особенно на севере Белгородского района, вплоть до кристаллического фундамента. Начиная со средней юры и вплоть до неогена территория была погружена под морским бассейном, трансгрессирующим из Днепровско-Донецкой впадины. В неогене

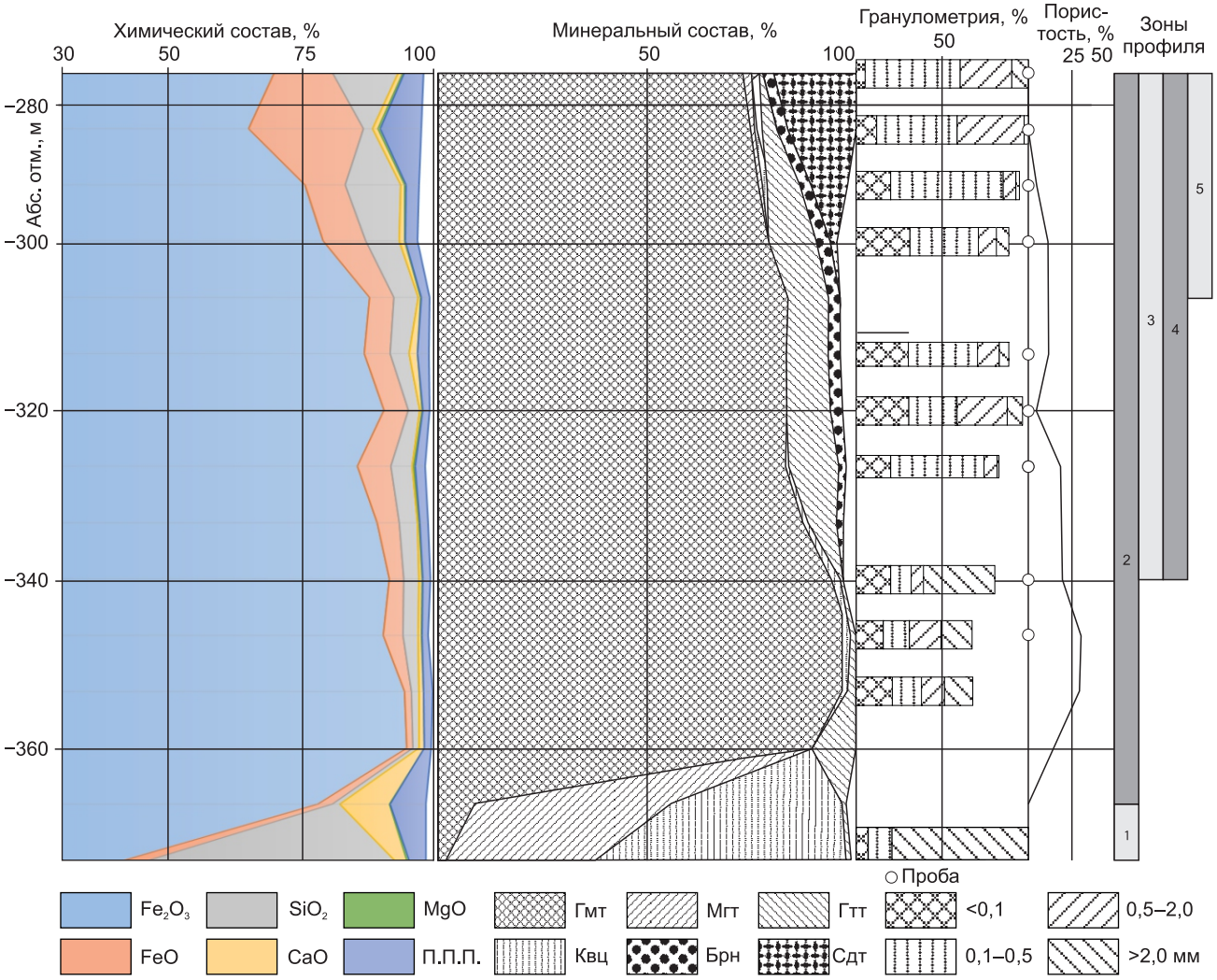


Рис. 5. Диаграмма вещественного состава разреза контактово-площадной части залежи БЖР Большетроицкого месторождения:

минеральный состав: Гмт – гематит, Мгт – магнетит, Гтт – гётит, Квц – кварц, Брн – бертьерин, Сдт – сидерит; зоны профиля: 1 – начального окисления (мартитизированные железистые кварциты), 2 – выщелачивания (пористые мартитовые руды), 3 – выветривания (тонкодисперно-гематит-гётитовые руды), 4 – бертьеринизации (зона диагенеза), 5 – сидеритизации (зона эпигенеза)

регион КМА вновь стал сушей. Всё это время продолжалась трансформация минерального и химического составов руд, слагающих КВ их структурно-текстурного облика.

Обширное затопление железорудной КВ образовало окисно-карбонатный геохимический барьер в верхней части профиля, где происходило частичное преобразование гематита в магнетит (мушкетовит). Образование гипергенного магнетита, по-видимому, происходило из поверхностных растворов в условиях низких температур и давления в слабокислой и восстановительной водной среде при взаимодействии сульфатных и бикарбонатных соединений железа с сероводородом и углекислым газом:

$Fe_2(SO_4)_3+H_2S+Fe(HCO_3)_2+4H_2O \rightarrow FeO \times Fe_2O_3+4H_2SO_4+2H_2CO_3$.

В итоге БЖР приобрели новые текстуры (за счёт сидеритизации), в том числе полосчатые и паутинообразные за счёт бертьеринизации [15]. По трещинам и сколам происходили сульфидизация и кальцитизация. Бертьерин занял главенствующую роль среди силикатов. Руды в зависимости от слагающих их минералов приобрели различную плотность в результате неравномерной цементации в верхних частях профилей.

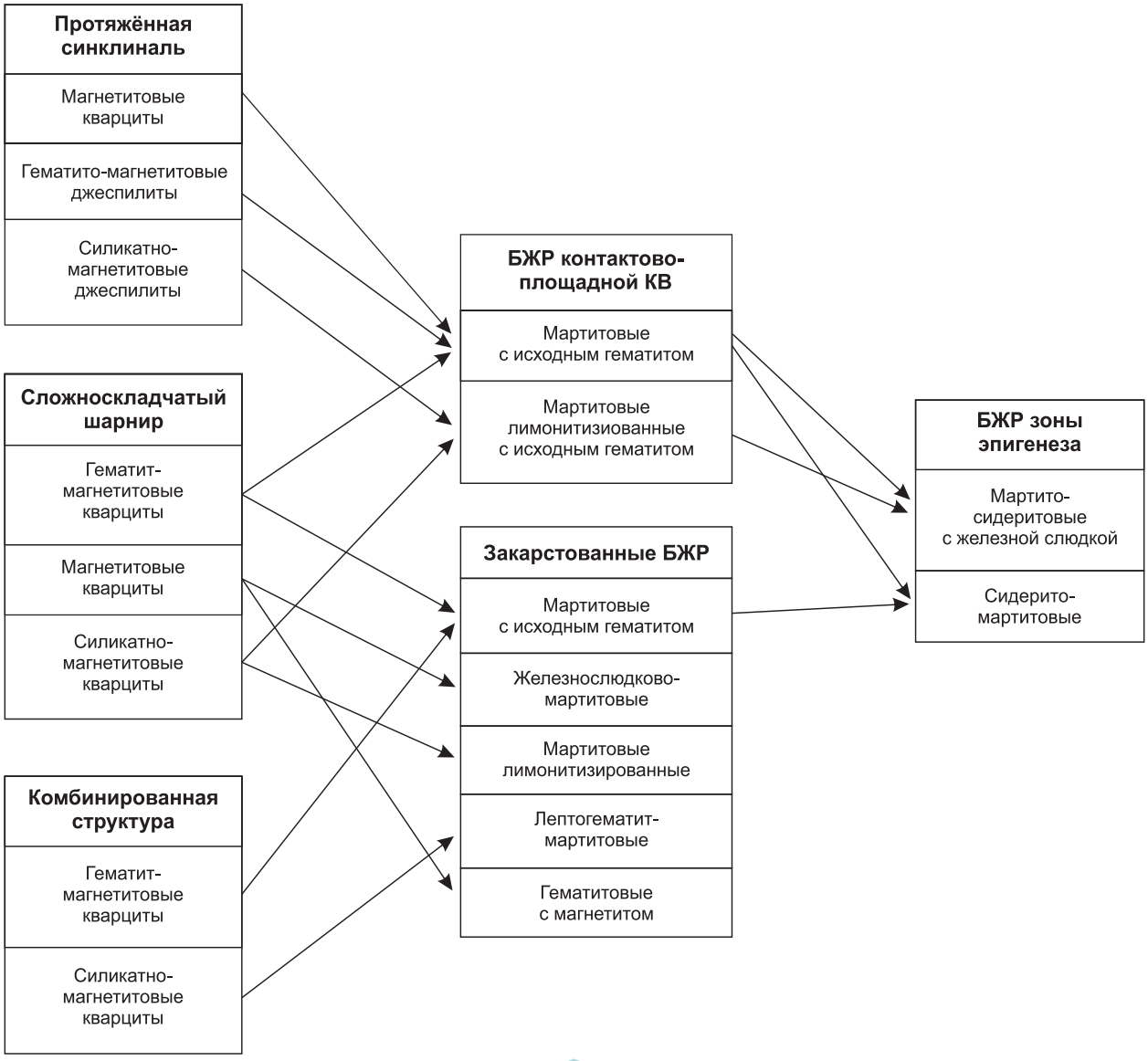


Рис. 6. Геолого-генетическая схема формирования остаточного профиля выветривания Большетроицкого железорудного месторождения

Результаты из вышеприведённого историко-генетического анализа позволяют составить геолого-генетическую схему для универсального понимания механизмов геологических процессов формирования БЖР. Модельными объектами выбраны литологические и минеральные признаки БЖР (рис. 6), относящиеся к определённым структурам материнских пород, удовлетворяющие большинству требований при решении генетической задачи и обеспечивающие большую способность дальнейшего анализа.

По изложенным материалам можно сделать следующие выводы. При формировании контактово-площадной КВ по железистым кварцитам и джеспилитам Большетроицкого месторождения происходили накопление железа и вынос кремнезёма. Преобладающими минералами в КВ являются его оксиды и гидроксиды, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях. Последующие наложенные процессы привели к частичной цементации и разубоживанию руд, понижению в них содержаний Fe_2O_3, увеличению концентраций FeO и SiO_2.

Месторождением мартитовая залежь стала на стадии латеритизации, когда произошёл максимальный вынос нерудных минералов из кварцитов, в особенности кварца. Субвертикальные слои джеспилитов разрыхлились за счёт дезинтеграции гематита до железной слюдки. Обширное карстование позволило законсервировать

большой объём богатых железных руд и сохранить на последующих этапах размыва.

Результаты системного историко-генетического анализа позволили составить представление о геологических процессах на разных этапах формирования железорудной контактово-площадной КВ. Предложенная модель формирования БЖР позволяет объяснить их сложный минеральный состав и прогнозировать участки залежей богатых железных руд, образованных в результате латеритизации железистых кварцитов и джеспилитов.

Рекомендуется провести рекогносцировочный анализ структур железисто-кремнисто-сланцевой формации КМА с целью выявления закарстованных палеокор выветривания, который позволит прирастить запасы высококачественных железных руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безуглый М.М., Никулин И.И.* Новые сведения о геологическом строении и характере рудоносности Большетроицкого месторождения (Белгородский район КМА) // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2010. № 2. С. 171–179.
2. *Железные руды* КМА / Под ред. В.П.Орлова, И.А.Шевырева, Н.А.Соколова. – М.: Геоинформмарк, 2001.
3. *Клекль В.Н.* Большетроицкое месторождение // Геология, гидрогеология и железные руды бассейна Курской магнитной аномалии. Т. III. Железные руды. – М.: Недра, 1969. С. 181–191.
4. *Никулин И.И.* Бертьерин – главный силикат месторождений богатых железных руд КМА // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2013. № 1. С. 89–97.
5. *Никулин И.И., Савко А.Д.* Железорудные коры выветривания Белгородского района Курской магнитной аномалии // Труды НИИ геологии Воронежского государственного ун-та. 2015. Вып. 85. С. 102.
6. *Никулин И.И.* Морфология и условия формирования железорудных кор выветривания Белгородского района КМА // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2014. № 3. С. 64–73.
7. *Никулин И.И.* Характеристика минерального состава богатых железных руд Большетроицкого месторождения КМА // Вестник ВГУ. Сер. геология. 2012. № 1. С. 144–154.
8. *Романов И.И.* Белгородский рудный район // Железные руды КМА. – М.: Геоинформмарк, 2001. С. 293–438.
9. *Савченко Л.Т., Жуков Ф.И.* Исследование вариаций изотопов серы, углерода и кислорода в железисто-кремнистых формациях докембрия Европейской части СССР // Геология рудных месторождений. 1987. № 6. С. 26–37.
10. *Сиротин В.И.* Закономерности визейского бокситообразования (на примере КМА и других провинций Русской платформы) // Автореф. дис. … д-ра геол.-минер. наук. – Воронеж, 1988. Т. 1.
11. *Сиротин В.И.* О диагенезе и эпигенезе латеритной коры выветривания и общей схеме эволюции бокситового вещества КМА // Литология терригенных толщ фанерозоя Воронежской антеклизы. – Воронеж, 1979. С. 53–58.
12. *Berthierine-like* mineral formation and stability during the interaction of kaolinite with metallic iron at 90° C under anoxic and oxic conditions / C.Rivard, M.Pelletier, N.Michau et al. http://dx.doi.org/10.2138/am.2013.4073
13. *Carroll S.A., Walther J.V.* Kaolinite dissolution at 25°, 60° and 80°C // American Journal of Science. 1990. № 290. P. 797–810.
14. *Effects* of temperature, pH, and iron-clay and liquid-clay ratios on experimental conversion of dioctahedral smectite to berthierine, chlorite, vermiculite, or saponite / R.Mosser-Ruck, M.Cathelineau, D.Guillaume et al. // Clays and Clay Miner. 2010. № 58. P. 280–291.
15. *Iijima A.* Berthierine and Chamosite in Coal Measures of Japan. Clays and Clay Minerals 30. 1982. P. 264–274.
16. *Matsumoto R., Iijima A.* Origin and diagenetic evolution of Ca-Mg-Fe carbonates in some coalfields of Japan // Sedimentology. 1981. Vol. 28. P. 239–259.
17. *Millimeter-Scale* variations of stable isotope abundances in carbonates from iron–formations in the Hamersley group of Western Australia / M.E.Baur, G.M.Hayes, S.Q.Studley et al. // Economic geology. 1985. Vol.80. № 2. P. 270–282.

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию по тел. +7 (495)315-28-47, E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1