

На правах рукописи

НИКУЛИН Иван Иванович

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ГИПЕРГЕННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД
(НА ПРИМЕРЕ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ)**

Специальность 25.00.11 – геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедре исторической геологии и палеонтологии Воронежского государственного университета (ВГУ)

Научный консультант Савко Аркадий Дмитриевич,
доктор геолого-минералогических, профессор

Официальные оппоненты: Пирогов Борис Иванович,
доктор геолого-минералогических, профессор
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»), главный научный сотрудник

Новиков Владимир Михайлович,
доктор геолого-минералогических наук
Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии Наук (ИГЕМ РАН), ведущий научный сотрудник

Бергман Иван Андреевич,
доктор геолого-минералогических наук

Ведущая организация: Белгородский государственный национальный исследовательский университет (ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»)

Защита состоится «2» июня 2017 года в 14-30 час. в ауд. 415 на заседании диссертационного совета Д 501.001.62 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в читальном зале отдела диссертаций Фундаментальной библиотеки (Ломоносовский проспект, 27, сектор А, 8 этаж, к. 812).

Автореферат разослан «28» апреля 2017 года.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 501.001.62
доктор геолого-минералогических наук

 Н.Г. Зиновьева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Большое количество залежей богатых железных руд Курской магнитной аномалии (КМА) остаётся невостребованным из-за сложных геологических условий. Возрастающие темпы потребления железа на месторождениях, разрабатываемых традиционными способами, а также сокращение минерально-сырьевой базы, определяют необходимость дальнейшего изучения имеющихся месторождений для их освоения нетрадиционными методами – более экологическими, технологичными и экономичными.

В связи с планированием промышленного освоения месторождений богатых железных руд (БЖР) КМА в ближайшее десятилетие нетрадиционными методами добычи весьма актуальной является задача технологического ранжирования, установления закономерностей распространения порообразующих и второстепенных минералов, влияющих на технологические схемы добычи, в зависимости от условий их образования и последующего захоронения под осадочным чехлом.

Не менее актуальной является задача обобщения опыта прогноза и поисков погребённых месторождений БЖР на территории Восточно-Европейской платформы, в частности, связанных с визейским гипергенным рудогенезом. Целью такого обобщения является установление возможности открытия новых месторождений рыхлых БЖР.

Изучение раннефанерозойского железорудного элювиального комплекса на основе системного подхода имеет принципиальное методологическое значение и представляется в настоящее время актуальной задачей. Выяснение закономерностей строения и распространения железорудного элювиального комплекса в зависимости от конкретных структурно-тектонических и ландшафтных условий; установление закономерностей распространения литолого-минералогических и промышленно-генетических рыхлых типов внутри комплекса БЖР, которые имеют большое практическое значение.

Цель работы и решаемые задачи. Изучить распространение, вещественный состав, генезис богатых железных руд в полигенетической системе палеозойского осадочно-элювиального комплекса КМА для практического использования полученных результатов в инновационных технологиях скважинной гидродобычи (СГД). Для достижения поставленной цели необходимо было решение следующих задач:

1. Определить методологию исследований древних латеритных покровов на примере КМА, в которую должны входить: анализ данных предыдущих исследований, вычленение объектов исследования.
2. На основании анализа данных предыдущих исследований и новых данных геологоразведочных и поисковых работ установить особенности распространения и морфологию месторождений гипергенных железных руд КМА.
3. Выделить генетические типы железорудных образований кор выветривания и связанных с ними осадочных отложений.
4. С помощью прецизионных методов исследований изучить минеральные особенности железорудных кор выветривания бассейна КМА.
5. Выявить геохимические особенности поведения порообразующих и малораспространённых элементов в железорудных корах выветривания с использованием, как собственных данных, так и имеющихся в фондовых источниках.

6. Уточнить основные типы гипергенных железных руд на месторождениях КМА и условия их формирования.

7. Оценить основные факторы формирования залежей богатых железных руд, в том числе климатического, тектонического, геоморфологического, стратиграфического, палеоландшафтного, эволюционного, а также минеральный состав материнского субстрата.

8. Определить черты сходства и различия гипергенных железных руд КМА и Криворожского бассейна в связи с определением направления стадийного анализа.

9. Провести стадийный анализ и установить особенности генезиса богатых железных руд КМА.

10. Установить зависимость технологических свойств богатых железных руд от их вещественного состава и по полученным результатам дать рекомендации для проектирования поисково-оценочных, геологоразведочных и технологических работ.

Научная новизна. Детально изучен, впервые обобщён и систематизирован весь фонд информации по литологии, минеральному и химическому составу раннефанерозойских железорудных кор выветривания (КВ), развитых на породах железисто-кремнисто-сланцевой формации КМА. Особенностью диссертационной работы является рассмотрение БЖР, как единого осадочно-элювиального генетического комплекса. На основе этого решен вопрос одного из научных направлений литологии – генетическая минералогия железорудных комплексов фанерозойского гипергенеза с элементами стадийного (историко-генетического) анализа. В результате стадийного анализа разработана литолого-генетическая модель формирования БЖР – продуктов фанерозойского выделены четыре основных этапа формирования гипергенных железных руд в бассейне Курской магнитной аномалии: 1) досреднедевонский долатеритный, 2) допозднелигеритский латеритный, 3) среднелигеритский диагенетический и 4) постлигеритский эпигенетический (постлигеритский).

Автором впервые получены следующие результаты:

1. На породах кристаллического фундамента Воронежской антеклизы унаследованы зоны длительного развития рудогенных гипергенных процессов в раннем фанерозое, связанных с повышенной трещиноватостью и разрывной тектоникой.

2. Выделены четыре элювиальных и четыре осадочных морфогенетических типа залежей БЖР, которые захоронены под девонскими, каменноугольными и юрскими отложениями.

3. Выделен и обоснован новый промышленный тип месторождений богатых железных руд – карстовый.

4. Литологические особенности БЖР обусловлены разновидностями гематита, которые являются индикаторами различного соотношения факторов гипергенеза.

5. Впервые в гипергенных железных рудах охарактеризован бертьерин, который из слоистых силикатов наиболее широко распространён в железорудной КВ.

6. Морфологические разновидности бертьерина отражают интенсивность генезиса и условия захоронения железорудных гипергенных образований.

7. Образование БЖР по железистым кварцитам КМА началось в рифее, с перерывами продолжалось в палеозое, а затем резко усилилось в раннелигеритское время в результате латеритного выветривания.

8. Останцовые карстовые формы и интенсивное погружение юго-западного блока КМА в визейское время явились главными факторами сохранности мощных залежей БЖР.

9. Проведен стадийный анализ железорудных КВ, в результате которого разработана геолого-генетическая модель формирования гипергенных железорудных месторождений КМА.

Фактический материал и методика исследований. В основу работы положен большой фактический материал, собранный в течение 14 лет, включающий керн горных пород из скважин Гостищевского, Большетроицкого, Коробковского и Разуменского месторождений (более 27 000 пог. м), каменный материал Яковлевского и Шемраевского месторождений (более ста образцов), карьеров Михайловского и Лебединского месторождений, шахт и шурфов Стойленского и Коробковского (десятки образцов). Прецизионная аналитика проводилась в лабораториях Воронежского государственного университета (г. Воронеж), Наносцентра НИУ БелГУ (г. Белгород), НИГП АЛРОСА (г. Мирный Республики Саха), ИФТТ РАН (г. Черноголовка Московской области). Аналитика сплошного геохимического опробования керна выполнялась в лабораториях «Белгородгеология» и «Воронежгеология». Изготовлено и изучено более 100 шлифов, выполнены анализы пород, концентратов и монофракций минералов: более 1200 силикатных анализов, около 500 полных химических и 500 спектральных, более 200 рентгенографических и 200 электронно-микроскопических, более 2000 гранулометрических, около 2000 определений объёмного и удельного веса, около 100 физико-механических анализов. Проанализировано более сотни источников фондовых материалов по поисково-оценочным и разведочным работам с 1950-х по 1990-е годы.

В диссертации изложена методика изучения КВ на докембрийских метаморфических породах с выделением специфических признаков для интерпретации генезиса БЖР, а затем формулировки критериев для их практического использования. Работы проводились поэтапно: анализ предыдущих исследований по фондовым материалам (отчёты и описания керна скважин) и публикациям; сведение воедино фактического материала предыдущих работ с новыми данными автора диссертации; макроскопическое изучение пород; типизация их по выделенным признакам; диагностика минерального состава БЖР, в том числе тонкодисперсных, с использованием современных прецизионных методов; геохимическая интерпретация имеющихся данных; установление этапности формирования БЖР; выдача практических рекомендаций для геологоразведочных и технологических работ. Предлагаемый в работе подход и выработанный комплекс исследований по данным геологоразведочных и поисковых работ обеспечил получение достоверных сведений для геологической интерпретации истории формирования БЖР, а также решения различных проблем при добычных работах. Разработанные автором рекомендации применялись на опытно-экспериментальных рудниках Большетроицкого и Хохловского участка Гостищевского месторождений.

Практическое значение:

1. Установлена сингенетичная минерагения как КВ, так и всего комплекса БЖР, сформированных за счёт гипергенного преобразования пород железисто-кремнисто-сланцевой формации.

2. Разработаны минеральные и литологические критерии формирования и сохранения раннефанерозойских КВ с целью прогноза гипергенных полезных ископаемых, главным образом, БЖР.

3. Критерии выделения карстовых форм, сложенных БЖР, позволяют переоценить ресурсы КМА, с ранжированием по своей пригодности для нетрадиционных методов разработки (добычи).

4. Результаты детального изучения вещественного состава и выделение на их основе промышленно-генетических и геолого-технологических типов БЖР могут быть использованы в проектировании технологической переработки на обогатительных фабриках.

5. Обоснованы стратиграфический, структурно-тектонический и литолого-фациальный критерии, на основе которых выделены 12 месторождений, наиболее благоприятных для экологически щадящих эксплуатационных работ методом скважинной гидродобычи в густонаселённых районах, общей массой запасов и прогнозных ресурсов 2,3 миллиарда тонн.

Реализация полученных результатов. Результаты разработанной системы прогнозирования рудоконтролирующих факторов реализованы в сложных геологических условиях, не подходящих для открытых и шахтных методов добычи на Гостищевском и Большетроицком месторождениях. А методические указания по проектированию поисково-оценочных, геологоразведочных и добычных работ на гипергенные БЖР доложены на Секции твёрдых полезных ископаемых Экспертно-технического Совета ФБУ "Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых" (Протокол от 31.10.2011 г.).

Защищаемые положения.

1. В пределах бассейна КМА выделено 21 месторождение гипергенных железных руд, которые слагают среднепалеозойские площадные, контактово-площадные, линейные и закарстованные коры выветривания железистых кварцитов курской серии. В допоздневизейское время они подвергались частичному размыву, сформировав на палеорельефе делювиальные, пролювиальные, озёрно-болотные и прибрежно-морские железорудные отложения. Основная масса руд захоронена под раннекаменноугольными отложениями и сосредоточена в линейных и впервые выделенных на месторождениях закарстованных корях выветривания.

2. Литологические особенности и минеральный состав всех разновидностей железных руд кор выветривания обусловлены неоднократно возобновлявшимися гипергенными процессами, последующим диагенезом в условиях гидроморфного режима и эпигенезом после захоронения их раннекаменноугольными отложениями. Преобладающими минералами являются оксиды и гидроксиды железа, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях. Осадочные железные руды наследуют минеральный состав среднепалеозойского элювия и имеют примесь кварца и силикатов метаморфических пород.

3. При формировании коры выветривания по железистым кварцитам курской серии происходили накопление полуторных оксидов железа и алюминия и активный вынос кремнезема. Последующие наложенные процессы привели к частичной цементации и разубоживанию руд, понижению в них содержания F_2O_3 и Al_2O_3 , увеличению концентраций FeO и SiO_2 , а также привнесу Sr , Zr , Va и As . Распределение

малых элементов подчеркивает вертикальную зональность в рудных залежах, наличие в них прослоев выветрелых сланцев и зоны тектонических нарушений.

4. Богатые железные руды представляют сложный полигенетический комплекс, сформированный в четыре основных этапа: 1 – долатеритный (досреднедевонская кора выветривания), 2 – латеритный (допоздневизейское), 3 – диагенетический (средневизейское (послеобриковское)) и 4 – эпигенетический (поствизейское). На каждом из этапов факторы рудогенеза нашли своё отражение в их минерально-геохимических особенностях и физико-механических свойствах.

5. На основе разработанной геолого-генетической модели формирования богатых железных руд КМА применены стратиграфический, структурно-тектонический и литолого-фациальный критерии, которые позволили выделить 12 месторождений, наиболее благоприятных для экологически щадящих эксплуатационных работ методом скважинной гидродобычи в густонаселённых районах, общей массой запасов и прогнозных ресурсов 2,3 миллиарда тонн.

Апробация работы. Результаты исследований, отдельные положения и главы диссертации неоднократно докладывались на совещания, конференциях и съездах: XXI Международная научная конференция «Фундаментальные проблемы геологии полезных ископаемых и металлогении» (МГУ, г. Москва, 2010 г.); XI Всероссийское петрографическое совещание «Магматизм и метаморфизм в истории Земли» (УГГУ, г. Екатеринбург, 2010 г.); XIV Международное совещание по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ–2010) (ФГУП СНИИГиМС, г. Новосибирск, 2010 г.); Всероссийское совещание с международным участием по теме «Минеральные индикаторы литогенеза» (ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, 2011 г.); Научно-практическая конференция "Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых — состояние и перспективы" (ФГУП ЦНИГРИ, г. Москва, 2011 г.); I Российской рабочеё совещание "Глины, глинистые минералы и слоистые материалы", посвященное 90-летию со дня рождения Б.Б. Звягина (ИГЕМ РАН, г. Москва, 2011 г.); XVII Международное совещание по кристаллохимии, рентгенографии и спектроскопии минералов (НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, 2011 г.); VI Всероссийское литологическое совещание "Концептуальные проблемы литологических исследований в России" (г. Казань, 2011 г.); VII Всероссийская научная школа «Математические исследования в естественных науках» (Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты, 2011 г.); 11-й международный симпозиум по вопросам осушения, геологии и геоинформатики, горных работ, геомеханики, промышленной гидротехники и обогащения (ОАО «ВИОГЕМ» г. Белгород, 2011 г.); Международная конференция по геологии месторождений полезных ископаемых (Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, 2012 г.); III международная конференция «Кристаллогенезис и минералогия» (ННЦ, г. Новосибирск, 2013 г.); VII Всероссийское литологическое совещание «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории» (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск, 2013 г.); 12-й международный симпозиум «Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях» (ОАО «ВИОГЕМ» г. Белгород, 2011 г.); Российское совещание с международным участием по теме «Геохимия литогенеза» (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, 2014 г.); XVIII Международное совещание по кристаллохимии, рентгенографии и спектро-

скопии минералов (Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, 2014 г.); Международное совещание по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ–2015) (ПГНИУ, г. Пермь, 2015 г.); "Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования" (ИГЕМ, г. Москва, 2015 г.); «Актуальные проблемы динамической геологии при исследовании платформенных областей» (МГУ, г. Москва, 2016); Международ. конф. «Федоровская сессия - 2016» (НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, 2016); Международной науч. конф., посвящ. 300-летию Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН (Минер. музей им. А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, 2016).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 26 печатных работах, в том числе 15 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 монографии (в соавторстве).

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из одной книги: введения, девяти глав и заключения общим объёмом 412 страниц. Обоснование первого защищаемого положения приведено в четвертой главе, второго – в 5 и 6 главах, третьего – в 7 главе, четвертого – в 8 главе, пятого – в 9 главе. Текст дополняют 173 рисунка, 26 таблиц и список литературы из 357 наименований, в том числе 33 фондовых и 10 электронных ресурсов.

Благодарности. Диссертант глубоко признателен за искреннюю поддержку и активное участие А.Г. Балашова и коллег кафедры исторической геологии и палеонтологии Воронежского государственного университета в изучении БЖР, за конструктивные замечания и рекомендации по ходу всей работы проф. П.А. Игнатова (МГРИ–РГГРУ им. С. Орджоникидзе), проф. К.А. Савко (ВГУ), проф. Г.А. Сидоренко (ВИМС), проф. В.И. Сиротин (ВГУ). Постоянное содействие в работе автора по исследованию месторождений богатых железных руд осуществляли коллеги из ООО «Белгородская ГДК» А.П. Атанов, М.М. Безуглый, Ю.В. Дровников, А.С. Малий и И.Ф. Плужников (ООО "Белгородгеология"), И.А. Погорельцев («Белгороднедра»), а также тов. О.Е. Ковальчук (НИГП ПАО «АЛРОСА»). При сборе фактического материала значительную помощь оказали студенты кафедры инженерной и прикладной геологии НИУ «БелГУ». Всех перечисленных лиц автор искренне благодарит.

Особая признательность моему учителю и научному консультанту профессору А.Д. Савко, который в течение всего времени уделял этой работе постоянное внимание, идейно направлял и искренне способствовал её совершенствованию.

ОБОСНОВАНИЯ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. В пределах бассейна КМА выделено 21 месторождение гипергенных железных руд, которые слагают среднепалеозойские площадные, контактово-площадные, линейные и закарстованные коры выветривания железистых кварцитов курской серии. В допоздневизейское время они подвергались частичному размыву, сформировав на палеорельефе делювиальные, пролювиальные, озёрно-болотные и прибрежно-морские железорудные отложения. Основная масса руд захоронена под раннекаменноугольными отложениями и сосредоточена в линейных и впервые выделенных на месторождениях закарстованных корях выветривания. В результате доверхневизейской (C_{1v}) эпохи корообразования (Додевонские коры выветривания Русской платформы, 1969; Додатко, 1979; Савко,

1979) на обнажившихся породах железисто-кремнисто-сланцевой формации докембрия в пределах КМА образовались мощные залежи БЖР.

Железородные КВ и связанные с ними древние отложения КМА чрезвычайно разнообразны по морфологии, мощностям и условиям образования. Они развиты на месторождениях Оскольского, Белгородского и Михайловского рудных районов и Курском металлогеническом районе.

Плащеобразные КВ развиты на железистых кварцитах в Оскольском (Стойленское, Приоскольское, Салтыковское, Панковское, Осколецкое и Огибнянское месторождения), Белгородском (Яковлевское и Разуменское) и Михайловском (Курбакинское, Новоялтинское, Дичнянско-Реутецкое месторождения) рудных районах, а также на Истобнянском участке Курского металлогенического района. Они протягиваются на значительные расстояния, существенно не меняя своего строения. В породах КВ отчётливо сохраняются текстурные и структурные особенности слоистых железистых кварцитов (джеспилитов) и лишь в кровле появляются массивные текстуры в пёстрых охристых образованиях.

В Оскольском рудном районе главными рудоносными складчатыми структурами являются Тим-Ястребовская и Волотовская грабен-синклинали северо-западного простирания, по которым субпараллельно и симметрично залегают прерывистые, преимущественно площадные рудоносные КВ со средней мощностью около 43 м (Голивкин и др., 1967) в виде дырявого полотна прослеживается на разрозненных участках шириной, редко превышающей 1000 м.

В профиле КВ выделяются три зоны: 1) начального окисления (мартитизированные железистые кварциты), 2) выщелачивания (преимущественно пористые мартитовые руды); 3) выветривания (тонкодисперсные гематитовые руды). Зона выветривания и верхняя часть зоны выщелачивания подверглись карбонатизации (зона эпигенеза). Нижняя зона наследует минеральный состав материнских пород и сохраняет их текстурные особенности при частичном замещении магнетита мартитом, частичной хлоритизации силикатов и маршаллитизации кварца. Средняя зона мощностью от 1 до 30 м представлена мартитовыми, железнослюdkово-мартитовыми разновидностями руд. Повсеместно отмечено наличие примеси магнетита (0,1–15,0%). Кварц образует округло-изометричные зёрна (маршаллит). Верхняя зона представлена и тонкодисперсно-гематит-мартитовыми рудами. Её мощность ограничена первыми десятками метров (чаще всего 10–15 м). Среди пород в подчинённых количествах встречены тонкодисперсно-гематит-мартитовые, тонкодисперсно-гематитовые и железнослюdkово-мартитовые разновидности. Рыхлые породы приурочены к центральным частям профиля КВ, где отмечается её повышенная мощность. В сидерит-гематитовых разновидностях количество карбонатных минералов достигает 20–45%. Они выполняют промежутки между зёрнами рудных минералов, частично их замещая. Сильноцементированные сидеритизированные породы составляют около 70% всего объёма КВ. По межрудным сланцам образованы тонкодисперсно-гематитовые и каолинизированные прослои мощностью не более 2 м, которые составляют менее 5% всего объёма выветрелых пород.

В Белгородском рудном районе главной рудоносной структурой является Белгородская синклиналь северо-западного простирания (Щипанский, 1988). В северо-западной части района изучена остаточная плащевидная залежь шириной в среднем до 650 м. Она развита по всему простиранию выходов железистых кварцитов на

докембрийскую поверхность (Никулин, 2014). Мощность БЖР колеблется от 12 м на севере до 160 м на юге. Вкрест простираения залежи максимальная мощность КВ приурочена к её центральной части, а минимальная – к краевым частям. Абсолютная отметка кровли элювия колеблется в пределах от -280 до -330 м. Подошва гипергенных образований в большинстве случаев плавная в северной части района и весьма неровная в южной. Образования КВ иногда проникают в железистые кварциты в виде языков и карманов, а железистые кварциты в виде останцев встречаются среди БЖР. Чёткой зональности в профиле выветривания не наблюдается. Рыхлые и слабосцементированные гематитовые породы изменчивой мощности обычно сконцентрированы в центральных частях залежей и иногда переслаиваются с сильносцементированными сидеритизированными прослоями БЖР (1–2 до 12 м). Последние обычно приурочены к кровле, где постепенно сменяют рыхлые разновидности снизу-вверх по разрезу.

В Михайловском районе БЖР сосредоточены в северо-западной части КМА на своде Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и приурочены к Михайловской синклинойной структуре, ориентированной в субмеридиональном направлении (Геология, гидрогеология и железные руды..., 1970; Железорудные формации..., 1982). Гипергенные залежи БЖР фрагментарно-плащеобразно вытягиваются с юга на север по простираению выходов железистых кварцитов на древнюю поверхность шириной до 500 м (Калинин, 1960). КВ распространена на глубинах от 40 до 180 м от современной поверхности.

В пределах Веретенинского участка Михайловского района КВ в виде «дырявого полотна» прослеживается с севера на юг на 5–6 км при ширине в 2,5–3,0 км. В профиле остаточной коры выветривания выделены две зоны: 1) маритовых пород и 2) окисленных (мартитизированных) и слабовыщелоченных железистых кварцитов. Рыхлые и слабосцементированные БЖР достигают 88% от объёма КВ. Сильносцементированные с очень маленькой мощностью присутствуют в незначительном количестве в краевых частях. Мощность непостоянная и достигает 70 м, составляя в среднем по участкам 11,5 м. Проявления линейных форм выветривания отмечены на глубинах 150–200 м от кровли в виде отдельных пропластков различной мощности (от 0,3–0,4 м до 5–8 м), скважиной № 817 подсечен субвертикальный пропласт БЖР мощностью около 18 м. Из-за незначительных размеров эта морфологическая разновидность в пределах Михайловского месторождения отнесена к площадному типу коры выветривания (Рахманов, 1962).

На полосчатых метаморфических породах (джеспилитах и железистых сланцах) Лебединского, Коробковского и Огибнянского месторождений Оскольского района, Михайловском месторождении Михайловского района и Мелихово-Шебекинского месторождения Белгородского района развиты мелкие плащеобразные КВ с мощными неровными и секущими (в виде «рудных языков») по контактам разных типов материнских пород залежами БЖР, уходящими на значительную глубину. По форме они близки к линейным за счёт развития мощности гипергенной зоны больше в глубину в сравнении с шириной. Линейные формы обусловлены развитием зон повышенной трещиноватости на контакте между разными (кварцсодержащими и бескварцевыми) материнскими породами.

В Оскольском рудном районе контактово-площадная КВ условно делится на три зоны: 1 – нижняя (полуокисленных метаморфических пород коробковской сви-

ты); 2 – средняя (окисленных метаморфических пород); 3 – верхняя (полного выщелачивания, богатых железных руд). В зонах полуокисленных и окисленных железистых кварцитов сохранены их первичные текстуры. Широко проявлены: дезинтеграция материнских пород, маршаллитизация кварца и мартизация магнетита вплоть до полного его замещения. Зона 1 мощностью до 15 м представлена мартит-магнетитовой ассоциацией железистых минералов. Зона 2 (до 50 м) – мартитовой, железнослюdkово-мартитовой, тонкодисперсно-гематит-мартитовой и сидерит-мартитовой минеральными ассоциациями с малым содержанием реликтового магнетита. Зона 3 (до 100 м) сложена мартитовыми, железнослюdkово-мартитовыми; тонкодисперсно-гематит-мартитовыми; гётит- тонкодисперсно-гематитовыми; сидерито-железнослюdkовыми, сидерито-железно-слюdkово-мартитовыми, сидерито-тонкодисперсно-гематит-гётитовыми и силикатно-мартитовыми рудами.

В пределах Белгородского района контактово-площадная КВ развита на Мелихово-Шебекинском месторождении. В структурном плане месторождение приурочено к юго-западному крылу Ольховатской синклинали (Отчет о результатах поисково-оценочных работ на бокситы..., 1983), которое является одновременно северо-восточным крылом Мелиховской антиклинали, где в пределах самого месторождения установлено периклинальное замыкание этой антиклинали. Месторождение представлено тремя залежами БЖР в поле развития железистых кварцитов курской серии между разобщающими их сланцами. Рудные залежи разделены по линии сброса от южного фланга Гостищевского месторождения по геофизическим данным. Средняя мощность залежей 65-70 м. Их ширина не превышает 350 м. Породы преимущественно мартитовые и железнослюdkово-мартитовые, значительно меньше развиты тонкодисперсно-гематит-мартитовые и тонкодисперсно-гематит-гётитовые. Сильносцементированные породы приурочены к верхней зоне профиля выветривания, а рыхлые преимущественно к нижним зонам.

На джеспилитах и железистых сланцах в Западной части Яковлевского, Таволжанском участке, Висловском, Олимпийском, Гостищевском и Ольховатском месторождениях Белгородского рудного района изучены клинообразные КВ. Они являются комбинированными гипергенными образованиями с элементами площадного и линейного типов. От контактово-площадных отличаются тем, что линейные формы образованы по всей истинной мощности крупнослоистых кварц-магнетитовых джеспилитов и по сланцам со значительным содержанием кварца. Площадные залежи между линейными образуют мелкие и незначительные по мощности участки.

Гостищевское месторождение расположено в центральной части Белгородского рудного района. Железистые кварциты протягиваются в северо-западном направлении на 33 км в виде полосы шириной от 1,0 до 4,5 км (см. рис. 3). Наиболее крупными участками сохранившихся кор выветривания (КВ) железистых кварцитов и сланцев являются (Волочаев, 1987; Отчёт о результатах поисковых работ на бокситы..., 1982): Лучкинский, Крюковско-Гостищевский, Тетеревинский и Хохлово-Дальнеигуменский. КВ в центральной части месторождения образует сильновытянутую по простиранию линейную залежь, повторяя контуры выходов железистых кварцитов. Ширина зоны гипергенеза колеблется от 500 до 2500 м. Мощность изменяется в весьма широких пределах, достигая максимума 369 м (средняя 99 м). На Восточном участке она изменяется от 43,5 м в краевой части тела до 256 м в её цен-

тральной части. Глубина залегания БЖР, слагающих КВ кварцитов, составляет 380–600 м, на Восточном участке – 532–557 м. Внутреннее строение КВ довольно сложное и обусловлено наличием значительного количества прослоев межрудных сланцев мощностью от 1–20 см до 10–20 и более метров, достигающих местами до 12% объёма тела, на Восточном участке – 3,8%. Интенсивно развиты продукты эпигенетических процессов (карбонатизации, хлоритизации) с образованием зональности. Наиболее отчетливо она проявилась в маритовых и железослюдково-маритовых рудах. В других минеральных типах руд она проявляется неравномерно и менее отчетливо, что связано с их физическими свойствами (слабой проницаемостью).

Железородная КВ Ольховатского месторождения сохранилась в виде 9 залежей БЖР, вытянутых в юго-восточном направлении и отделенных друг от друга пачками сланцев шириной 100–350 м. КВ характеризуется значительной сложностью морфологии, обусловленной сложноскладчатым строением железородных полос, наличием многочисленных сланцевых прослоев, различными высотами докембрия из-за ундуляции шарниров складок и наличия отдельных блоковых поднятий. Глубины залегания поверхности КВ на Беленихинском участке меняются от 390 до 598 м. Рыхлые и слабосцементированные руды мощностью 27–150 м залегают на глубинах 495–680 м под плотными крепкими сидеритизированными и переотложенными рудами.

Самым крупным телом остаточной КВ является залежь БЖР Центральная-III, которая разделена пачкой плотных скальных и полускальных руд с прослоями сланцев шириной около 100 м на два участка (Восточный шириной, не превышающей 100 м, и Западный шириной около 300 м). Она характеризуется наиболее рыхлыми и слабосцементированными разновидностями гематитовых и маритовых пород. В плане залежь напоминает прямоугольник размером 1000x1000 м и отличается от других залежей сравнительно ограниченным развитием сланцев и максимальной мощностью коры выветривания, достигающей 197 м при мощностях остальных залежей от 15 до 155 м. По минеральному составу и структурно-текстурным признакам породы, слагающие КВ Беленихинского участка, не отличаются от таковых других месторождений Белгородского рудного района. Маритовые и железослюдково-маритовые руды имеют преимущественное развитие в центральной части Беленихинского участка. В остальных частях доминируют тонкодисперсно-гематит-маритовые, гётит-тонкодисперсно-гематитовые руды.

В джеспилитах с некоторым количеством макропрослоев железистых роговиков в составе своих слоёв в Восточной части Яковлевского, на Олимпийском, Большетроицком и Шемраевском месторождениях Белгородского рудного района изучены закарстованные профили БЖР. Контролируемые разрывными нарушениями карстовые депрессии, вмещающие продукты выветривания метаморфических пород, представляют собой новый для КМА промышленный тип месторождений наиболее богатых железных руд. В них сосредоточен наибольший объём рыхлых БЖР КМА.

В плане закарстованные КВ имеют изометричную, нередко вытянутую форму север-северо-западного и реже северо-восточного простираний, согласующиеся с направлением разломов рудоконтролирующих зон. Глубина залегания подошв карстовых образований варьирует от 300 до 1100 м. Борты депрессий, как правило, имеют крутые склоны. Нижняя часть рудных карстов выполнена в виде фальшкиля.

На пониженных участках (в результате обрушения) профиль выветривания формировался в условиях заболоченной низменной равнины. Здесь слагающий его элювий в своей кровле имеет светло-серый и зеленовато-серый цвет.

Захороненные древние осадочные БЖР встречены на нескольких месторождениях КМА в краевых частях кровли КВ. Они представлены делювиальными, пролювиальными, озёрно-болотными и прибрежно-морскими отложениями, сложенными грубообломочным материалом ближнего сноса мощностью первые десятки метров. Все отложения являются высоко железистыми. БЖР неоднородны по составу и строению, в плане образуют: прерывистые пласты грубообломочных пород, веерные шлейфы конусов выноса с вершинами, достигающими противоположного, удалённого от области осадконакопления, края коры выветривания.

Делювиальные железорудные отложения, сформированы на склонах палеоводоразделов в период тектонического переформирования Воронежского кристаллического массива (ВКМ). В пределах исследуемых рудных районов они встречаются не часто. Форма их, в зависимости от очертаний питающего источника и характера склона, плащевидная или шлейфовидная. Длина достигает километра, ширина – первые сотни метров и мощность до 15 м.

Продукты выветривания, образующие делювий, имеют разнообразный состав (от глин и гематитовых песков до крупных брекчий), и характеризуются слабой сортировкой. Среди делювиальных отложений выделены два литологических типа: 1) глинистые гематитовые брекчии и 2) лимонитизированные гематитовые брекчии.

Пролювиальные отложения представлены обломками агрегатов гематита (брекчиями, щебнем, дресвой и гравием) со слабыми признаками окатанности на слабом тонкодисперсно-гематитовом или тонкодисперсно-гематит-гётитовом цементе, реже глинистыми конгломератами. На некоторых участках их развития представлены песчанистыми мелкими и крупными конгло-брекчиями. Отложения встречаются в палеоложбинах, выработанных временными водотоками. В плане имеют извилистые вытянутые формы (реже с конусом с одного конца), а в разрезе – линзы. Длина обычно превышает километр, ширина – первые сотни метров, мощность может достигать 12 м. Те же отложения, но с более широким конусом выноса и значительным количеством глинистого и органического материала, отнесены к озёрно-болотным. Формируемые кратковременными подъёмами уровня визейского моря болота представляли собой аккумулятивные пологие депрессии отложений ближнего сноса. Мощность заболоченных конусов выноса достигает 50 м.

Прибрежно-морские отложения в плане представляют собой ленточные тела, а в разрезе горизонтальный клин, на пониженных участках поверхности докембрия окаймляя преимущественно железистые кварциты. Они представлены окатанными гематитовыми и карбонатными галечниками.

Среди галечников старооскольских слоёв отмечено до шести горизонтов перетолженных БЖР (Калганов, 1955) типичных прибрежных осадочных образований. На небольшом удалении от Мелихово-Шебекинского месторождения пластообразные и линзообразные тела мощностью 2-10 м (в единичных случаях 26 и 60 м) выполняют отрицательные формы рельефа пенепленизированного кристаллического фундамента. В пределах Воронежского месторождения хорошо окатанные гальки с уплощённой формой состоят из окисленных кварцитов и рудовмещающих пород. Мощность отложений обычно составляет 0,4–1,4 м, редко увеличиваясь до 5,0 м.

Породы разноразмерные и слабоотсортированные. В отличие от этого, для пород периферических, а иногда и краевых частей конусов выноса, характерна средняя и даже хорошая сортировка. Подошва отложений представлена крупнозернистыми отложениями, которые выше сменяются более тонкими.

Таким образом, БЖР КМА являются продуктами фанерозойского выветривания докембрийских пород железисто-кремнисто-сланцевой формации. морфогенетические особенности железорудных остаточных КВ зависят от вещественного состава и структурно-тектонического строения материнских, образуя площадные, контактово-площадные, линейные и закарстованные типы. Продукты их переотложения слагают: косолинзовые, плащеобразные и лентовидные делювиальные отложения; конусы выноса пролювиальных и озёрно-болотных; плосколинзовидные прибрежно-морские отложения. Подавляющий объём БЖР сосредоточен в линейных и закарстованных КВ. Из-за малых мощностей и большого количества нерудного материала осадочные БЖР практического значения не представляют.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. Литологические особенности и минеральный состав всех разновидностей железных руд кор выветривания обусловлены неоднократно возобновлявшимися гипергенными процессами, последующим диагенезом в условиях гидроморфного режима и эпигенезом после захоронения их раннекаменноугольными отложениями. Преобладающими минералами являются оксиды и гидроксиды железа, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях. Осадочные железные руды наследуют минеральный состав среднепалеозойского элювия и имеют примесь кварца и силикатов метаморфических пород. Наиболее распространённые минералы БЖР описаны предыдущими исследователями (Геология, гидрогеология и железные руды... Т. III, 1969). Новые результаты исследований прецизионными методами позволили систематизировать знания о минералогии БЖР для их дальнейшего стадийного анализа. По последним данным главными рудообразующими минералами в железорудной КВ КМА являются (Никулин, 2012, 2014) (рис. 1): гематит (мартит, железная слюдка и лептогематит), карбонаты (сидерит и кальцит), гётит, магнетит (редко). Помимо них, в подчинённом количестве присутствуют кварц (в том числе маршаллит) и бертьерин, содержание которых в некоторых типах руд повышено. Иногда в небольшом количестве или в виде примеси присутствуют каолинит, бёмит, гиббсит, пирит, марказит в виде единичных агрегатов.

Гематит является самым распространённым минералом в железорудных КВ КМА. Он встречается в виде сплошных разнокристаллических образований (вплоть до скрытокристаллических агрегатов – мартитовых), мелких зерен неправильной и псевдошешуйчатой форм (Никулин 2015). К псевдошешуйчатой разновидности гематита отнесена железная слюдка. Отдельные его чешуйки или сложные петельчатые образования составляют прослои с неровными, часто зубчатными границами. Среднее содержание гематита (железной слюдки и мартита) 58%, максимальное – 92%. Мелкие зёрна гематита (в том числе неправильной формы) имеют размеры в пределах 100–500 нм, а минимально зафиксированные размеры тонкодисперсного гематита достигают 85 нм (Никулин, 2015); они слагают красные (бардовые), красно-коричневые (бурые) и буровато-красные породы. В связи с их чрезвычайной дисперсностью эта морфологическая разновидность гематита в нашей работе именуется лептогематитом (Никулин, 2015, 2016).

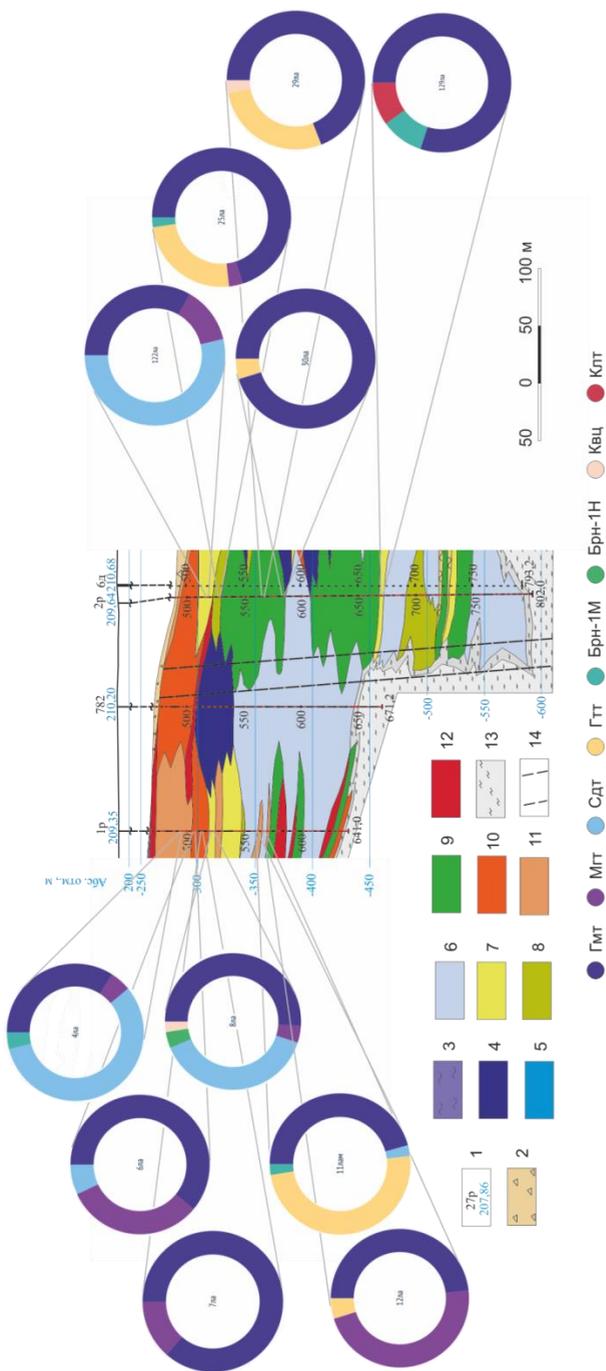


Рис. 1. Распределение минеральных ассоциаций в разрезе ядра скважин. 1 – номер скв./абс.отм., м; 2 – осадочная железзурудная порода; 3 – бокситоносный латерит; 4 – рыхлая существенно маргитовая с бертьерином; 5 – слоистая из разносоемментированных маргитовых прослоев; 6 – сильносоемментированная маргитовая с магнетитом и лептогематитом; 7 – рыхлая существенно лептогематитовая с гётитом; 8 – слоистая из разносоемментированных лептогематитовых прослоев с гётитом на карбонатном цементе; 9 – сильносоемментированная маргитовая с магнетитом и лептогематитом на частично карбонатном цементе; 10 – рыхлая лимонитовая с гематитом; 11 – слоистая из разносоемментированных гётитовых прослоев с бертьерином на частично карбонатном цементе; 12 – сильносоемментированная гётит-маргитовая, сидеритизированная, с магнетитом и лептогематитом; 13 – окисленные кварциты; 14 – тектоническое нарушение; ГМт – гематит, МГт – магнетит, Брн – сидерит, Сдт – гётит, Брн-1М – бертьерин-1М, Брн-1Н – бертьерин-1Н, Квц – Кварц, Клт – каолинит.

Гётит в мономинеральном виде встречается редко. К минеральным образованиям гидроокислов железа жёлтых и светло-коричневых окрасок с содержанием гётита не менее 50% применяется в нашей работе термин – лимонит. Возможно, в лимонитах коричневых окрасок присутствует ферригидрит, который в отличие от гётита имеет содержание воды в своей кристаллической решётке более 25% (Russell, 1979), но в наших исследованиях чётко определить его не удалось. Агрегаты гётита под микроскопом имеют поперечно-волоконистое сложение. Среднее содержание гётита в БЖР 19%, максимальное – 45%.

Магнетит встречается единичными зёрнами и имеет реликтовый характер внутри агрегатов мартита. По характеристикам ничем не отличается от магнетитов, описанных в геологической литературе по метаморфическим породам КМА. В редких случаях (преимущественно в верхних зонах КВ) этот минерал образует псевдоморфозы по гематиту (мушкетовит – эпигенетический магнетит). Мушкетовит развивается по широким плоскостям пластинок и чешуек гематита, а также замещает зерна мартита, образуя характерные формы замещения. В отличие от месторождений Оскольского и Курского районов в Белгородском районе мушкетовитизация слабо проявлена (по В.П. Рахманову, 1962 и И.Е. Куренкиной, 1973). Вероятно, существует сингенетичность мушкетовита с сидеритом: резко восстановительная обстановка, существовавшая на поверхности рудных залежей во время процессов карбонатизации, была причиной восстановления чешуйчатого гематита и мартита в магнетит.

Вторичная минерализация в некоторых профилях КВ привела к образованию новых типов руд, в которых ведущую роль играет сидерит (рис. 2). Карбонаты в БЖР распространены преимущественно в эпигенетических образованиях, которые обычно приурочены к верхним частям КВ, реже переслаиваются с рыхлыми разновидностями ниже по профилю. Среднее содержание карбонатов в эпигенетических БЖР 22%, максимальное – 58%. Возникновение карбонатов в частности, сидерита связано с инфильтрационными процессами (Никулин, Савко, 2015).

Кварц распространён в весьма ограниченном количестве. Под влиянием растворов агрегаты кварца материнских пород испытывали замещение или растворение, что наблюдается в коррозионных внутрирудных прослоях. Резкая смена вертикального профиля содержания кварца обусловлена гидродинамическим приповерхностным режимом. Иного генезиса представляют собой рыхлые прослои минеральных агрегатов из тонких мельчайших зёрен кварца – маршаллита.

Выделены следующие разновидности кварца:

- тонко- мелкозернистый (0,025–0,01 мм), находящийся в гематитовых рудах в незначительном количестве, обычно загрязнённый тонкой рудной пылью;
- мелкозернистый (до 0,1 мм) перекристаллизованный (часто маршаллитизированный), чистый, выполняющий пустоты и поры в гематитовых и бертьерингематитовых рудах;
- жильный.

Слоистые силикаты в погребенной железорудной КВ КМА слабо распространены (по А.П. Никитиной, 1974). В БЖР слоистые силикаты в заметном количестве представлены бертьерином, шамозитом, гораздо реже встречаются каолинит, хлорит-14Å и гидрослюда (Никулин, 2011, 2013, 2014, 2015).

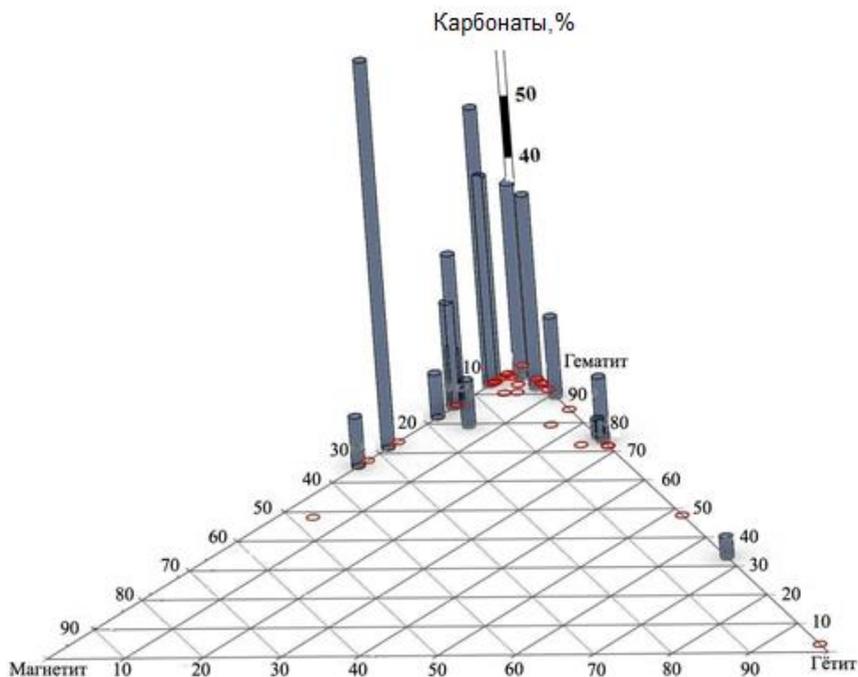


Рис. 2. Содержание карбонатных минералов в Большетроицкой коре выветривания (50 образцов). Вертикальные столбцы – содержание карбонатов в масштабе шкалы треугольной диаграммы (массовые доли процентов).

Хлориты встречается в корях выветривания редко, образуя плотные скопления тёмно-зелёного, реже голубовато-зелёного цвета, а также псевдозёрна хлоритового ядра в шамозите размером 3х3 мм. Скопления хлорита приурочены к верхним горизонтам остаточной КВ часто в ассоциации с сидеритом и кальцитом и в самых нижних переходных, слабоокисленных зонах железистых кварцитов. В лептогематитовых породах хлорит образует изометричные агрегаты размером до 7 мм. В мартитовых породах хлорит выполняет интерстиции между мартитовыми или железнослюдковыми зёрнами. Хлорит в железорудной КВ представлен агрегатами из мельчайших удлинённых чешуек.

Шамозиты, распространённые в БЖР до исследований, проведенных А.П. Никитиной с коллегами (Никитина, 1968, 1983), в большинстве случаев рассматривались как обычные хлориты (Клекль, 1979). В ходе наших исследований уточнено (Никулин, 2012), что так называемые «хлориты» в большинстве случаев в железорудных КВ КМА – это скрытокристаллические шамозиты с $d_{001} \approx 7 \text{ \AA}$. Хлопьевидные агрегаты тонкодисперсного шамозита выполняют поры и реже цемент. Их размеры не превышают 15 микрон. Идентифицируются по основным базальным рентгенографическим рефлексам $d_{001} < 7,026$, $d_{002} \approx 3,510-3,56$ и $d_{001} \approx 1,54-1,56 \text{ \AA}$. Вариации по рентгенографическим рефлексам в кристаллической решётке, по всей видимости, зависит от количественного соотношения между 1Н и 1М модификациями (Hayes, 1970). По данным рентгеновского микронзонда состав шамозитов варьирует

в узких пределах: $MgO=3,0-5,1\%$, $Al_2O_3=9,0-16,0\%$, $SiO_2=25,5-29,9\%$, $Fe_{общ.}=40,2-41,8\%$. Развитие тонкодисперсных шамозитов на Лебединском, Стойленском и Большетроицком месторождениях ассоциируется с сидеритом (Камел, 1963; Меркушова, Никулин, 2015). Особенно тесно выделения шамозита связаны со сферолитами карбонатов, где между ними этот минерал иногда образует самостоятельные прожилки.

Согласно решению Международной номенклатурной комиссии (1980) при AIPEA Beiley, 1980), за 7Å -шамозитом (с составом в пределах, проценты: Al_2O_3 12–28; SiO_2 19–27; FeO 32–37 и в очень маленьких пропорциях Fe_2O_3 и MgO) утверждено название «бертьерин» $((Fe^{+2}, Fe^{+3}, Al)_3(Si, Al)_2O_5(OH)_4)$ в отличие от 7Å -шамозита, который отнесён к хлоритам. В настоящее время по международной классификации номенклатурному названию минерала бертьерин является синоним K-type Chamosite (Baur, 1985; Brindley, 1982; Bertoldi, 2005). В большинстве предыдущих работ (1950–1980 годов) по КМА в обиходе использовались термины – шамозит, диагенетический хлорит, железистый хлорит, и указывались физико-химические характеристики, присущие бертьерину.

Бертьерин в наших исследованиях впервые обнаружен в профиле КВ железистых кварцитов Большетроицкого месторождения (Никулин, 2011), а затем и на Хохловском участке Гостищевского месторождения. Особенности развития бертьериновой минерализации в породах фиксировались непосредственно в керне, а затем наблюдались при помощи РЭМ. Последующее сравнение вторичных минерализаций схожих месторождений позволило определить бертьерин – Fe-Al минерал серпентиновой группы алюмосиликатов, как главный силикат железорудных КВ КМА (Никулин, 2013). Этот минерал встречается совместно с мартитом, карбонатами, шамозитом и кварцем. Физический признак определения бертьерина – это базальные рентгенографические рефлексы кратные $7,1 \text{ Å}$, которые несколько выше рефлексов шамозита и ниже каолинита. Рассчитанные значения кристаллической решётки бертьерина-1Н: $a(\text{Å})=5,407775$, $b(\text{Å})=5,407775$, $c(\text{Å})=7,104508$; $a(\text{Å})=5,391657$, $b(\text{Å})=5,391657$, $c(\text{Å})=7,098030$; $a(\text{Å})=5,416327$, $b(\text{Å})=5,416327$, $c(\text{Å})=7,141777$. Рассчитанные значения кристаллической решётки бертьерина-1М: $a(\text{Å})=5,423426$, $b(\text{Å})=9,353154$, $c(\text{Å})=7,298067$; $a(\text{Å})=5,424096$, $b(\text{Å})=9,354311$, $c(\text{Å})=7,298969$.

Каолинит является конечным продуктом выветривания метаморфогенных слюд и чаще всего встречается в остаточных профилях выветривания в виде чешуйчатых агрегатов, выполняющих отдельные трещинки и поры в верхних горизонтах остаточных профилей выветривания. В лептогематитовых БЖР образован за счёт хлоритов. Зафиксирован в нижней части профиля карста Большетроицкого месторождения (скв. 7Р) и спорадически среди БЖР Курбакинского месторождения в виде налётов, тонких прожилков (до 0,3 мм) и выделений по трещинам (скв. 2050). Количество каолинита в несколько раз увеличивается вверх по разрезу в вышележащих переотложенных железных рудах, которые представлены аллювиальными и озёрно-болотными фациями.

Сульфиды железа (пирит и марказит в 99% случаев) на месторождениях КМА имеют инфильтрационное происхождение и распространены как в рудной зоне, так и в перекрывающих породах осадочной толщи, среди отложений юры, карбона и девона. В рудных залежах КВ они наибольшим распространением поль-

зуются вблизи кровли, где образуют зерна, их сростки, секущие прожилки и сплошные массы, цементирующие зерна мартита и железной слюдки. Породы профилей выветривания Михайловского и Оскольского районов, перекрытые девонскими и юрскими отложениями, пиритизированны более интенсивно, чем в Белгородском районе, где в кровле рудных залежей залегают каменноугольные отложения. В Оскольском районе сульфидная минерализация хорошо изучена на Лебединском месторождении (Двойнин, Воевода, 1993).

Осадочные железные руды образовались в результате размыва БЖР КВ и их переноса на небольшие расстояния. Почти 90% переотложенных БЖР сидеритизированы. Минеральный состав распределён неравномерно, и набор минералов изменяется в весьма широких пределах.

По результатам выше приведенного анализа выяснено, что формирование БЖР обусловлено неоднократными процессами корообразования (Сиротин, 1988), затем их диагенеза в условиях гидроморфного режима и последующего эпигенеза после перекрытия элювиального комплекса каменноугольными отложениями. В остаточных КВ Белгородского района КМА распространены 7 минеральных разновидностей БЖР (Никулин, Савко, 2015); в КВ Оскольского района выделяются 5 разновидностей; в Михайловском районе КВ сложены 3 разновидностями БЖР ((Геология, гидрогеология и железные руды... Т. III, 1969); Никитина, 1973, 1975). Соотношение основных минеральных компонентов в рудах варьируется в узких пределах. В целом остаточные КВ КМА характеризуются следующими главными минеральными разновидностями БЖР: 1) мартит-гематитовые; 2) гётит-гематитовые; 3) гематит-гётитовые, лептогематит-гётитовые; 4) карбонат-гематитовые, магнетит-карбонатно-гематитовые, бертьерин-карбонатно-гематитовые; 5) бертьерин-гематитовые; 6) магнетит-гематитовые; 7) глинистые гётито-лептогематитовые. Разнообразие осадочных БЖР, сложенных переотложенными преимущественно продуктами выветривания докембрийских пород, очень велико. Их облик зависит от фациальных условий образования, а минеральный состав от источника сноса.

Таким образом, минеральный состав БЖР зависит от состава материнских пород, условий образования КВ и её переотложения. В коре выветривания выделены два парагенетических ряда формирования минералов: 1) в окислительной среде с последующим выщелачиванием кварца образованы мартит и железная слюдка; 2) в восстановительной – сидерит, бертьерин и хлорит (шамозит), магнетит. Парагенетическая ассоциация хлорита с сидеритом, кальцитом, пиритом и марказитом связана с наложенными на КВ процессами в средах, недосыщенных кислородом. Морфологические разновидности бертьерина и гематита позволяют судить о фациальных условиях образования КВ и их дальнейших преобразований.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. При формировании коры выветривания по железистым кварцитам курской серии происходили накопление полуторных оксидов железа и алюминия и активный вынос кремнезема. Последующие наложенные процессы привели к частичной цементации и разубоживанию руд, понижению в них содержания F_2O_3 и Al_2O_3 , увеличению концентраций FeO и SiO_2 , а также привнесу Sr , Zr , Ba и As . Распределение малых элементов подчеркивает вертикальную зональность в рудных залежах, наличие в них прослоев выветрелых сланцев и зоны тектонических нарушений. По данным химических анализов в КВ

железистых кварцитов курской серии, кроме железа, содержатся: глинозем, кремнезем, летучие компоненты, сера, фосфор, кальций, магний, магний и щелочные металлы. Их поведение изучено во всех морфологических типах КВ КМА. При формировании латеритной КВ главные петрогенные окислы ведут себя следующим образом (рис. 3).

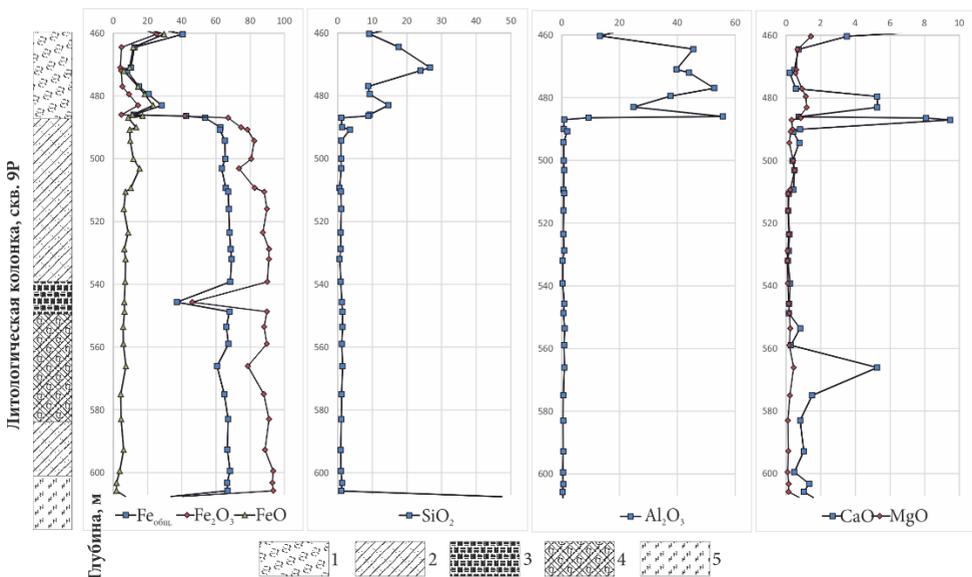


Рис. 3. Сводный геохимический профиль коры выветривания Большетроицкого месторождения. 1 – бокситоносный сильновыветрелый филлитовидный сланец; 2 – гематит-мартитовая порода; 3 – гётит-лептогематитовая; 4 – шамозитизированная мартитовая; 5 – слабоокисленный кварцит.

Содержания общего железа в профиле выветривания растёт от неизменных (до 32-35%) и слабоокисленных кварцитов (35-45%) к сильно выветрелым (52-57%) и выщелоченным рыхлым (свыше 62%), увеличиваясь в целом примерно вдвое. В самой верхней части оно уменьшается за счет процессов сидеритизации и бертьернизации.

Содержание окисного железа в коре выветривания изменяется от 36% в гематито-магнетитовых кварцитах до 95% в мартитовых БЖР, несколько оно ниже (Fe_2O_3 80-85%) в лептогематито-мартитовых, силикатно-мартитовых и гематито-мартитовых разновидностях.

Количество закиси железа в гематитово-магнетитовых кварцитах в среднем составляет 11,5%, в силикатно-магнетитовых кварцитах 20%. В гематито-магнетитовых кварцитах FeO почти все связано в магнетите. Попадая в зону окисления, магнетит начинает замещаться мартитом. Содержание FeO в зоне интенсивного выщелачивания окисления приближается к 1,5%. Весь магнетит здесь по существу замещен мартитом. В рыхлых тонкодисперсных породах, образовавшихся в результате выветривания силикатно-магнетитовых кварцитов, содержание несколько выше (4,0-6,0%), что является следствием содержания в них продуктов выветривания хлорита. В рудах, подвергавшихся цементации, количество FeO возрастает до

15–20%. На всех профилях чётко отображено снижение количества FeO с верхней части профиля выветривания к его подошве и снова резкое увеличение в слабоизменённых материнских породах. Оно при наложенных процессах в основном входит в состав цементирующих минералов, главным образом сидерита.

Особенности поведения кремнезёма заключаются в постепенном уменьшении его содержания от 40% в гематито-магнетитовых железистых кварцитах до 0,5% в остаточных корах выветривания, что чётко видно на всех графиках. То есть наблюдается тенденция, противоположная поведению железа. Вверху профиля выветривания отмечается некоторое увеличение содержаний SiO₂ за счет наложенных силикатов, но не всегда. Возрастание количества кремнезёма в отдельных интервалах профиле выветривания объясняется наличием прослоев безрудного кварцита.

Количество глинозёма в неизменных процессах выветривания гематито-магнетитовых кварцитах составляет в среднем около 0,5%. Содержание Al₂O₃ в мартитизированных кварцитах уменьшается до 0,35–0,4%. В рыхлых мартитовых разновидностях БЖР оно увеличивается до 1,5%, возрастая до 4,0% и более в самой верхней зоне остаточного профиля коры выветривания. Это связано с вторичными процессами, которые привели к частичной цементации верхних горизонтов коры выветривания эпигенетическими минералами – слоистыми силикатами сидеритом.

Среднее содержание двуокиси углерода для различных пород колеблется от 0,29% до 4,0%. Для сцементированных пород, обогащенных сидеритом и бертьеринном, количество CO₂ на 2,0–4,0% выше, чем для рыхлых, где эти минералы присутствуют в значительно меньших количествах. При этом содержание двуокиси углерода в лептогематито-мартитовых, силикатно-мартитовых и совсем тонкодисперсных разновидностях всегда несколько выше, чем в мартитовых и железнослюдково-мартитовых. На Стойленском месторождении содержание летучих (CO₂+H₂O) компонентов в наиболее сидеритизированных разновидностях БЖР достигает 27%. Сверху вниз по разрезам КВ происходит постепенное уменьшение двуокиси углерода. Наиболее отчетливо это выражается на первых метрах от поверхности коры выветривания Большетроицкого месторождения, то есть в зоне наиболее интенсивной циркуляции инфильтрационных растворов.

Комплексные геохимические исследования проводились по восьми разновидностям пород КВ Большетроицкого месторождения (с учетом выветрелых железистых сланцев). Средние содержания химических элементов в КВ следующие, средн. мас. проценты: Fe_{общ.} = 62,4, SiO₂ = 3,1, Al₂O₃ = 1,3, CaO = 1,4, MgO = 0,5, S = 0,21, P = 0,03, п.п.п. = 4,4.

Наиболее высоким содержанием железа характеризуются мартитовые разновидности. Разновидности с содержанием железа менее 60% составляют около 17% от всей КВ.

Источником поступления в зону гипергенеза малых элементов были темноцветные минералы (оливин, пироксены, амфиболы и ряд аксессуариев (циркон, гранаты и др.) (Шатров, 2001); лёгкие лантаноиды поступали за счёт разрушения полевых шпатов и аксессуарных минералов. Распределение малых элементов в породах довизейской КВ, развитой по железистым кварцитам и филлитовидным сланцам Большетроицкого месторождения следующее (Никулин, 2014): Sr, Zr и Ba с примесями As в БЖР, и U-Th – в выветрелых бокситоносных филлитовидных сланцах.

В железорудных разновидностях пород содержание Sr до 0,000078 ppm, Zr до 0,000326 ppm и Ba до 0,00033 ppm. В бокситах Sr до 0,00046 ppm, Zr до 0,00625 ppm и Ba до 0,00182 ppm. Генезис аномальных примесей As (до 0,00028 ppm), U (до 0,000055 ppm) и Th (до 0,000043 ppm) не выяснен и требует дальнейших исследований. Содержание редких и редкоземельных элементов в лептогематитовых бордовых, рыхлых и слабосцементированных разновидностях БЖР довольно постоянное. Выделена As-Pb-Sr-Zr-Ba ассоциация. Лимонитовые БЖР с преобладанием гётита характеризуются Nb-Y-Sr-Zr-Ba ассоциацией.

Карбонатно-мартит-гематитовые БЖР, сложенные преимущественно гематитом на карбонатном цементе с примесью мартита, имеют Nb-Sr-Zr-Ba ассоциацию с некоторыми вариациями содержания бария. Гематит-мартитовые имеют Nb-Sr-Zr-Ba ассоциацию с редким присутствием мышьяка до 0,00001 ppm. Сильносцементированные полосчатые магнетит-гематит-мартитовые разновидности, сложенные преимущественно мартитом с незначительной примесью собственно гематита, магнетита и окисленного хлорита, имеют неравнозначное соотношение редкоземельных элементов с резким преобладанием стронция или бария. Наличие хлорита в образце ассоциируется с уменьшением количества бария до 0,000075 ppm. Заметное увеличение содержания гематита влияет на уменьшение количества циркониевой составляющей. Прослой выветрелых филлитовидных сланцев имеют постоянную Ba-Zr-Sr-ассоциацию. Редко отмечаются повышенные содержания мышьяка и тория. Наличие весьма тонкодисперсного гематита (лептогематита) в образцах ассоциируется с уменьшением количества циркония до 0,000083 ppm.

Силикатные бокситоносные выветрелые надрудные филлитовидные сланцы, сложенные преимущественно бёмитом и гиббситом нередко со значительной примесью слоистых силикатов (бертьерин, каолинит) представлены Zr-Ba-ассоциацией. Отмечаются повышенные содержания As и Th. Наличие «алюминиевой пудры» в образце ассоциируется с увеличением количества циркония до 0,00625 ppm.

В распределении малых элементов отмечены только две зависимости: наличие зоны тектонического нарушения и присутствие в толще КВ, сложенной БЖР, прослоев сланцев и их выветрелых разностей. Степень выветрелости пород отмечается только заметным общим уменьшением количества малых элементов, что позволяет считать своего рода стерильными от них мартитовые породы. Генезис U и Th в бокситоносных выветрелых породах, развитых по филлитовидным сланцам, до конца не выяснен и остаётся открытым для дальнейших исследований.

Вторичные минералы в БЖР (бертьерин, шамозит) вносят вариации в содержании Zr и Ba, в выветрелых породах, развитых по сланцам. Общая по всем образцам (141 образец) As-Zr-Ba-аномалия прослежена в приповерхностной части железорудной коры выветривания (под осадочными железозоносными брекчиями и карбонатно-гематитовым панцирем) и ассоциируется с зоной дробления и повышенной трещиноватости северо-западного простирания.

В целом гипергенная геохимия малых и редких элементов в коре выветривания КМА подтверждается с таковой у бокситов (Куренкина, 1973) и находится в противоречии с поведением этих элементов в гидротермальном процессе (Разумова, 1977).

Породообразующие химические компоненты Большетроицкой коры выветривания разделены на две литохимические группы (Никулин, Кетрис, Юдович,

2015): 1) породы, сопутствующие и переходные к БЖР, с содержанием $Fe_{общ.}$ менее 50%; 2) собственно БЖР с содержанием $Fe_{общ.}$ более 50%. Первая группа соответствует железистым сланцам, аллитам и бокситам. Для них использована модульная диаграмма в координатах «АМ (алюмокремниевый модуль) – ЖМ (железный модуль)» (рис. 4): $AM = Al_2O_3/SiO_2$; $ЖМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO)/(TiO_2 + Al_2O_3)$ (Юдович, 2000).

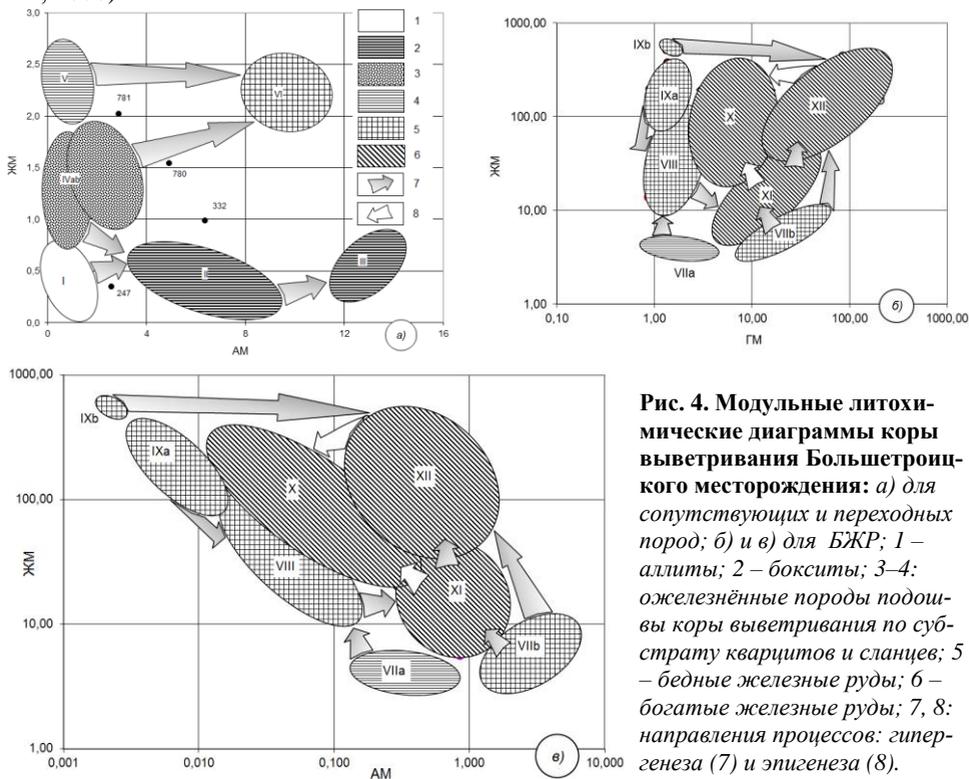


Рис. 4. Модульные литохимические диаграммы коры выветривания Большетроицкого месторождения: а) для сопутствующих и переходных пород; б) и в) для БЖР; 1 – аллиты; 2 – бокситы; 3–4: железистые породы подошвы коры выветривания по субстрату кварцитов и сланцев; 5 – бедные железные руды; 6 – богатые железные руды; 7, 8: направления процессов: гипергенеза (7) и эпигенеза (8).

Ввиду убогих содержаний марганца и низких – титана, модули определяются соотношениями только трёх компонентов – кремнезема, глинозёма и оксидов железа. Вследствие незначительных вариаций АМ (0,1–14) и ЖМ (0,3–2,6), для осей диаграммы использован нормальный масштаб величин. В данной группе выделены 6 кластеров: I – железистые аллиты, II – железистые бокситоносные, III – железистые бокситы, IV – слабо железистые (мартитизированные) метаморфические породы, V – хлоритовые железистые сланцы с карбонатами, VI – железистые брекчированные сланцы с карбонатами. Для кластеризации пород второй группы использованы две модульные диаграммы: 1) АМ–ЖМ и 2) ГМ–ЖМ, где ГМ – гидролизатный модуль: $ГМ = (TiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 + FeO + MnO)/SiO_2$. Вследствие огромных вариаций АМ (0,002–4,5), ЖМ (3–600) и ГМ (0,8–230), для осей обеих диаграмм использован логарифмический масштаб величин. Между модулями ГМ и ЖМ нет никакой связи, тогда как между АМ и ЖМ выделен тренд: значения АМ растут по мере убывания ЖМ. Тренд обусловлен составом субстрата железных руд: по мере убывания в нем доли джеспилитов – возрастает доля сланцев. Породы второй группы разде-

ляются на 6 кластеров: VII – переотложенные руды, кварциты и ожелезнённые (гемаитовые) сланцы, VIII – окисленные кварциты, IX – слабо окисленные кварциты с карбонатами, X – сидеритизированные БЖР, XI – переходные БЖР, XII – собственно БЖР с незначительной примесью силикатов и карбонатов. Два процесса, протекавшие в коре выветривания – формирование первичной (остаточной) по докембрийскому субстрату и поздняя эпигенетическая цементация карбонатами и бертьерином показаны двумя видами стрелок.

Таким образом, глубокая степень окисления рудных минералов является очень важной особенностью КВ КМА. Распределения основных петрогенных элементов в коре выветривания железо-кремнисто-сланцевой формации показали накопление полоторных окислов железа при интенсивном выносе остальных компонентов, особенно кремнезёма. Литохимический анализ позволил выделить большую сложность (многоэтапность) процессов формирования железорудных литотипов. Аномальные концентрации FeO, MgO и CO₂ связаны с эпигенетической цементацией пород силикатами и карбонатами.

ЧЕТВЁРТОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. Богатые железные руды представляют сложный полигенетический комплекс, сформированный в четыре основных этапа: 1 – долатеритный (досреднедевонская кора выветривания), 2 – латеритный (допоздневизейское), 3 – диагенетический (средневизейское (послебобриковское)) и 4 – эпигенетический (поствизейское). На каждом из этапов факторы рудогенеза нашли своё отражение в их минерально-геохимических особенностях и физико-механических свойствах. БЖР КМА имеют полигенное происхождение, поскольку представлены породами КВ и осадочными образованиями, которые подверглись качественным изменениям за счёт наложенных процессов диагенеза и эпигенеза. БЖР перекрывались более молодыми отложениями неодновременно и в неодинаковых условиях: в Михайловском рудном районе среднедевонскими и юрско-меловыми отложениями, в Оскольском – среднедевонскими, раннекаменноугольными и юрско-меловыми, а в Белгородском – раннекаменноугольными визейскими отложениями, что определило наличие различных типов руд.

Вариации в строении и составе КВ КМА зависят от нескольких факторов. В современных представлениях (по В.И. Сиротину, 1988) к началу довизейского-ранневизейского времени исследуемая территория представляла собой приподнятую холмистую равнину с жарким климатом и сезонными атмосферными осадками. В допоздневизейское время на КМА господствовали континентальные условия. Главными факторами выветривания были атмосфера и её водные осадки. Наряду с температурным режимом, химической составляющей самой атмосферы, количеством и сезонностью атмосферных осадков, а также интенсивностью испарений, существенную роль играли рельеф местности, степень возвышенности выветривающихся пород, состав приповерхностных и грунтовых вод, а также газов, жизнедеятельность микроорганизмов, состав продуктов распада растительных и животных организмов и прочее. Фактор воздействия атмосферы (фактор аэрации исходного субстрата) проявлен преимущественно на начальном этапе развития, формируя окислительные условия (Чайкин, 1991) и, как следствие, латеритную кору выветривания. Многократная смена уровня и интенсивности промывного режима (фактор интенсивности промывного режима) определил вертикальную зональность профиля КВ (Гинзбург, 1963). Завершение эпохи выветривания знаменуется начальным эта-

пом трансгрессии моря, формируя за счёт приморских озёр и болот восстановительные условия, что выразилось в обогащении приповерхностных вод CO_2 и обуславливающих сидеритизацию верхних частей профилей выветривания.

Последующее влияние инфильтрационного гидроморфного режима на образовавшуюся КВ сменило режим литогенеза на восстановительный в верхних горизонтах профиля. Кольматирование, цементация, и в свою очередь заполнение пор и трещин взвешенным веществом временных водоёмов, а также химическими осадками, что создало условия для выделения вторичных минеральных ассоциаций.

Все факторы, повлиявшие на формирование БЖР, находят свое выражение в фациальных обстановках, возникающих на конкретных участках рельефа земной поверхности. Процессы выветривания, свойственные той или иной фациальной обстановке, приводят к формированию определенного фациального типа КВ (Михайлов, 1977), характеризующегося той или иной степенью подвижности химических элементов и своими минералами.

В северной части КМА развиты преимущественно маломощные площадные КВ, в центральной части преобладают линейно-площадные (контактово-площадные и линейные), а в южной части продуктами выветривания выполнены карстовые формы с наиболее мощными залежами богатых железных руд. Площадные КВ образовались преимущественно на холмистых палеоравнинах в пределах выходов «прокинутых» складчатых структур железистых кварцитов (рис. 5). Их развитие было обусловлено широким диапазоном перепадов температур, содержанием кислорода и углекислого газа в условиях аэробной окислительной среды со слабым промывным режимом. КВ протягиваются на значительные расстояния, существенно не меняя своего строения. Породы профиля выветривания слоистых железистых кварцитов джеспилитов отчётливо сохранили свои текстурные и структурные особенности. В кровле реликтовые текстуры БЖР частично нарушены, и они представлены массивными пёстрыми породами. Наиболее широко развиты тонкозернистые БЖР – гётитовые и лептогематитовые разновидности, но в некоторых случаях с незначительным преобладанием над ними железнослюдковых руд в центральной части профиля выветривания.

Площадная КВ имеет неровную, но плавную подошву. В зонах дробления гипергенные процессы за счёт дренажа просачивающихся вод прорабатывали материнский субстрат несколько глубже, чем на остальной площади выветривания. Здесь БЖР в виде субвертикальных маломощных «клиньев» могут залегать среди материнских пород.

На полосчатых крутозалегающих метаморфических породах (джеспилитах и железистых сланцах) образовывались два типа линейно-площадных форм КВ с неровными и секущими (в виде «рудных языков») подошвами, уходящими на большую глубину в материнские породы. Один тип кор развивался по контактам наиболее проницаемых, а второй – по всей горизонтальной мощности субвертикальных слоёв материнских пород.

Контактово-площадные КВ образовались по полосчатым метаморфическим породам в результате среза замковой части и обнажения крутозалегающих разнотипных (кварцсодержащих и бескварцевых) материнских пород. Процессы, связанные с этим типом выветривания, происходили на периферии профиля. В условиях интенсивного выщелачивания кварца развивались зоны повышенной пористости.

При достаточно расчленённом палеорельефе выветрелые породы в нижней части объединялись с образованием внутри разреза останцов межрудных сланцев, не затронутых гипергенными процессами. На контакте пород происходило формирование «рудных язычков», выклинивающихся с глубиной. В разрезе залежи БЖР имеют ассиметричное строение с увеличением своего развития в сторону более кварцевых материнских пород.

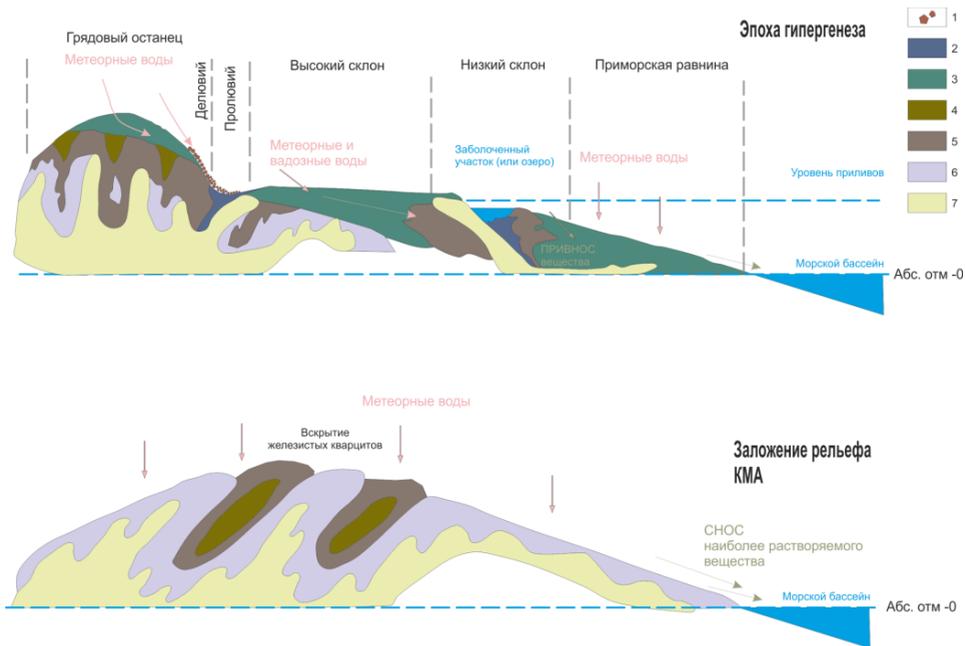


Рис. 5. Схема образования железорудной коры выветривания. 1 – осадочные БЖР; 2 – линейная КВ; 3 – площадная КВ; 4 – межрудные сланцы; 5 – железистые кварциты; 6 – сланцы; 7 – метапесчаники.

Линейные КВ образовались в условиях интенсивного промывного режима на джеспилитах и сланцах. Это участки повышенных зон дробления в пределах досягаемости наступающего визейского моря, что подтверждается многократными срезами профиля выветривания и слоистости переотложенных вблизи продуктов выветривания. Для КВ этого типа интенсивность промывного режима по высококварцевым материнским породам здесь является главным фактором. От контактово-площадных отличаются тем, что линейные формы образованы по всей истинной мощности материнского пласта за счёт более интенсивного промывного режима в крупнослоистых кварц-магнетитовых джеспилитах и наличия в сланцах значительной доли кварца. Развитие площадных КВ между зонами дробления были ограничены периодическими подтоплениями с формированием временных застойных водоёмов с резко пониженным промывным режимом. Такой профиль выветривания объясняется воздействием агрессивных дождевых вод, у которых самое высокое Е_h и самое низкое рН, а их ослабление связано с подтоплением и образованием застойных водных бассейнов, насыщенных подвижными химическими элементами (Бек-

кинг, 1963). В периоды отступления визейского моря в верхних горизонтах профиля выветривания возникала зона свободной аэрации пород с образованием охристых или бобовых горизонтов. Этот факт также имеет место для осадочных отложений. В результате проявляются три последовательных этапа образования профиля выветривания. Первый связан с разложением кварца и образованием пористых пород; второй – с каолинитизацией силикатов и образованием первичного элювия; на третьем происходит латеритизация исходных пород, выходящих на древнюю поверхность.

КВ, которые развивались за счёт сифонного воздействия грунтовых вод в джеспилитах с некоторым количеством железистых роговиков выполняют карстовые формы. Они контролируются разрывными структурами в рельефе докембрийских пород. Карстовые полости сыграли большую роль в становлении и сохранении довизейских железорудных КВ. Последующее влияние на карстовыполняющие породы гидроморфного режима при подтоплении трансгрессирующим морем определило восстановительный режим в нижних горизонтах профиля с образованием вторичных минеральных ассоциаций. На некоторых месторождениях обнаруживаются внутрирудные резервуары, заполненные химически агрессивными водоёмами.

Процессы выветривания в свою очередь сопровождались переотложением новообразованных гипергенных БЖР. Это отложения ближнего сноса, приуроченные к склоновым образованиям временных водотоков и прибрежным наступающего визейского моря.

В верхних частях палеосклонов образовались глинистые брекчии в виде шлейфов. Осадочный материал несортированный. Мощность и площадь распространения отложений варьирует. Наиболее узкие и мощные отложения формировались на склонах древних холмистых возвышенностей. Ниже по склону, у самого подножия, распространены гематитизированные лимонитовые брекчии. Гематитовый материал тонкодисперсный; при рассмотрении в шлифе образует некую пятнистость в гётитовом цементе. Брекчии сложены агрегатами крупнозернистого мартита или грубых сростков железной слюдки.

Временными водотоками в палеоложбинах формировались пролювиальные БЖР. В верховьях конусов выноса временных водотоков образовывались грубообломочные гематитовые брекчии на очень слабом цементе либо совсем несцементированные. Брекчии сложены агрегатами мартита, а в мелкозернистой фракции преобладает железная слюдка. Нижние части конусов выноса подтоплялись при кратковременных подъёмах уровня визейского моря, что привело к образованию грубообломочных гематитовых брекчий с глинистым цементом в аккумулятивных понижениях с озерно-болотными водоёмами.

Гематитовые и карбонатные галечники, слагающие прибрежно-морские отложения, формировались на самых пониженных участках зоны рассматриваемой территории. В плане это ленточные тела, окаймляющие преимущественно железистые кварциты нижних свит курской серии. Отложения очень пёстрые, хорошо сортированные, различной степени окатанности.

Чёткая связь оруденения железистых кварцитов КМА (Соколов, 1974) и Кривбасса (Структура криворожских месторождений..., 1981) прослеживается в структурно-фациальных зонах, ограниченных продольными по материнским пластам разломами, а интенсивность гипергенной проработанности пород во многом

связана со структурно-тектоническими особенностями участков (Никулин, 2014). На Кривбассе все БЖР с глубиной выклиниваются, оруденение затухает из-за смены конфигурации тел материнских метаморфических пород, а также определяется глубиной замыкания БЖР в ядре синклиналиных складок.

На основе выделенных парагенетических ассоциаций минералов, палеогеографических реконструкций (Сиротин, 1988) и обзора литературных данных (Богусова, 1970; Бунеев, 1981; Вишняков, 1940; Иголкина, 1981; Геология СССР, 1971; Зубковская, 1974; Литология и палеогеография..., 1972; Хожайнов, 1975; Палеогеография СССР. Т. 2, 1975; Познер, 1964; Хожайнов, 1972 и др.) в истории развития БЖР выделены 4 основных этапа формирования минерального состава богатых руд КМА (рис. 6): 1) долатеритный, 2) латеритный, 3) диагенетический и 4) эпигенетический.

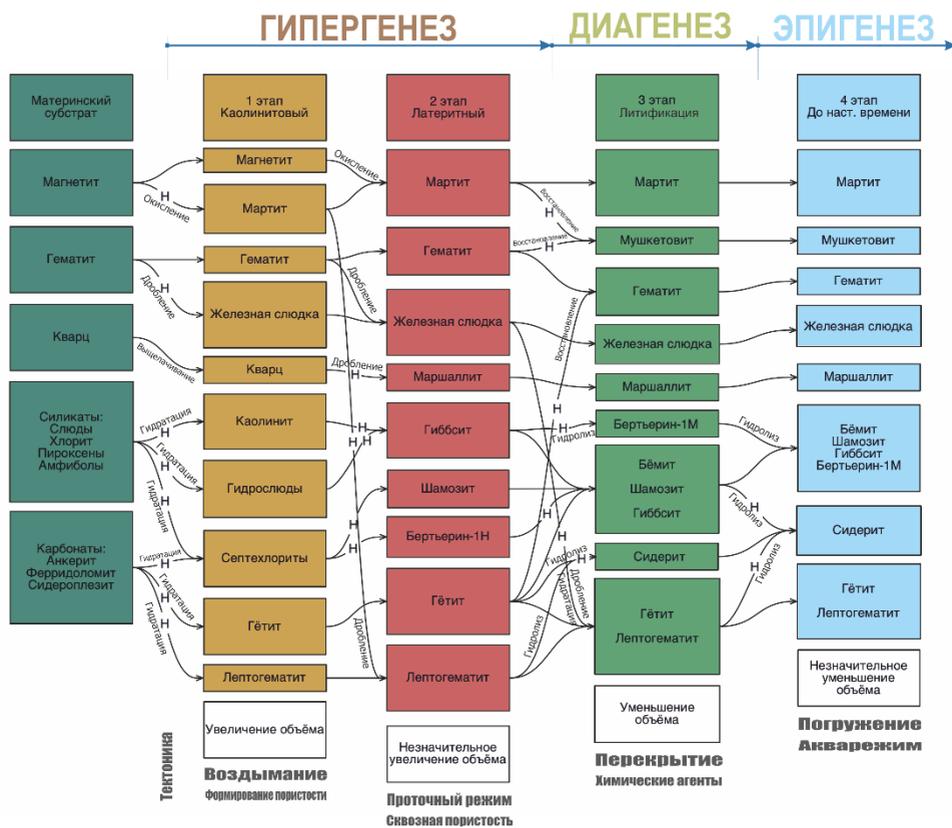


Рис. 6. Схема преобразования минерального вещества в корах выветривания железисто-кремнисто-сланцевой формации. Н – новообразованный минерал.

1. Долатеритный этап выветривания (додевонское время) происходил, когда на джеспилитах сформировались преимущественно красноцветные глинистые БЖР небольшой мощности, по трещинам в магнетитовых роговиках – мартитовые, а на межрудных сланцах – гидрослюдисто-каолининовый профиль выветривания. Кора

этого типа сохранилась в восточной части Белгородской области (Старооскольский район) и на севере Курской и Орловской областей (Михайловский и Новоялтинский районы).

2. Латеритный этап ранневизейского выветривания характеризуется полным окислением магнетита и выщелачиванием кварца. Данные палеоландшафтного анализа визейского века (Бунеев, Сиротин, 1983) позволяют судить о елховско-бобривском времени, как основной стадии латеризации, наложенной на более древние коры выветривания, что доказано В.И. Сиротиным (Сиротин, 1988). По своему составу и строению КВ Белгородского рудного района имеет отчётливый латеритный характер с выносом кремнезёма и щелочных редкоземельных элементов, а также накоплением железа и алюминия с развитием окислов и гидроокислов железа, и минералов глинозёма. Изначально, материнские джеспилиты состояли из магнетита, кварца и силикатов (Савко, 2007). В процессе окисления магнетит перешёл через фазу мартита в гематит, зёрна кварца в маршаллит и кремниевую кислоту, вынесенную из профиля выветривания, силикаты – в гидроокислы железа и глинистые минералы. Поэтому в породах КВ начал преобладать гематит, как остаточный, так и вновь образованный, а в линейных – мартит, преимущественно на глубоких горизонтах.

Минералы на этом этапе по генезису делятся на две группы: 1 – остаточные или реликтовые и 2 – новообразованные – гипергенные. Гипергенная минерализация в свою очередь могла быть метасоматической с сохранением форм первичных минералов (мартит), синтезированной *in situ*, т.е. вновь образованной из элементов и соединений разложенных материнских минералов, и секреторной из перемещённых по профилю элементов. Метасоматические минералы сформировались в результате замещения материнских минералов при их окислении, гидратации и частичном растворении. Среди них обособляются псевдоморфные (преобладают псевдоморфозы замещения) структуры. Новообразованные минералы, как правило, сохраняют реликтовые текстуры материнских пород. Секреторные минералы формировались в порах и трещинках рыхлых пород в результате дополнительного привноса вещества. Секреторные минералы образуют несогласные пятнистые, гнездовые, линзовые и ложнополосчатые формы БЖР. При этом на стенках пор, трещин и в щелевидных пустотах формируются плёнки, корки, друзы, жёды, секретии, почковидные радиально-лучистые и колломорфные агрегаты. Все новообразования слагают различные типы руд.

Метасоматическая минерализация на данном этапе преобразования происходила на глубинах свыше 2000 м с сохранением форм первичных минералов, то есть вновь образованной из элементов и соединений разложенных материнских минералов, и секреторной из перемещённых по профилю элементов. Тектонические подвижки и развивающаяся трещиноватость способствовала вскрытию недр и активизации глубинной циркуляции щелочных вадозных вод, формированию зон взаимодействия атмосферных и грунтовых вод с глубинными растворами и возможными газотермами. Метасоматические минералы сформировались в результате замещения материнских минералов при их окислении, гидратации и частичном растворении. Среди них обособляются псевдоморфные (преобладают псевдоморфозы замещения) структуры. Новообразованные минералы, как правило, сохраняют реликтовые текстуры материнских пород. Секреторные минералы формировались в порах и тре-

щинках рыхлых пород в результате дополнительного привноса вещества. Секретионные минералы образуют несогласные пятнистые, гнездовые, линзовые и ложнополосчатые формы БЖР. При этом на стенках пор, трещин и в шелевидных пустотах формируются плёнки, корки, друзы, жеоды, секретины, почковидные радиальнолучистые и колломорфные агрегаты. При переходе к зоне латерита, на стадии конечного гидролиза, происходит «схлопывание пористости» за счёт выноса кремнезёма, тем самым вызывая процессы самоуплотнения (по В.И. Сиротину, 1981). Без изменения объёма исходных пород происходит образование мартита и лептогематита. Все новообразования слагают различные типы руд.

Индикаторными минералами этого этапа являются унаследованный из материнских пород гематит, новообразованный по магнетиту мартит, сформированные за счёт разложения силикатов, частично магнетита, гётит и лептогематит, а также бертьерин-1Н, тяготеющий к нижним частям профилей выветривания. Его появление связано с коллоидами железа и при главенствующей роли водных растворов (Дриц, Коссовская, 1985). Mg^{2+} в октаэдрических позициях почти отсутствует, изредка его содержания достигают 0,35 %. Для коры выветривания межрудных сланцев характерны гиббсит и бёмит, а также встречается каолинит, отсутствующий в породах КВ по джеспилитам.

3. Диагенетический этап (средневизейский (послеобриковский)) характеризуется сменой тектонического режима, заключающийся в погружении сильно выветрелых железистых кварцитов, создании гидроморфных условий и начала диагенетических преобразований латеритного покрова, выраженных в бертьеринизации, шамозитизации и сидеритизации железных руд в зоне цементации перед перекрытием её осадками. КВ в этот период претерпела значительные изменения в облике, а тектонические и карстовые процессы, проявленные во второй этап, позволили сохранить большой объём рудного материала. На этом этапе морские глинисто-карбонатные осадки перекрывали КВ одновременно. На границе тульского и алексинского времени происходит замедление опускания территории в пределах Белгородского района, а на отдельных участках водоразделов с латеритным покровом – кратковременные мало амплитудные поднятия (Сиротин, 1988), что привело к осушению уже частично преобразованной коры выветривания и её переотложенных продуктов (подтверждается появлением бёмита вместо гиббсита, наличием второй генерации сидерита).

Индикаторными минералами, помимо сохранившихся от второго этапа, являются бертьерин-1М, шамозит, а также сидерит первой генерации, развитые в верхних частях профилей. Такой бертьерин приурочен к верхним частям остаточного профиля выветривания и к самым бокситоносным сильно выветрелым сланцам. Значения Si/Al не превышают 1,7. Содержание Mg^{2+} в октаэдрических позициях достигает почти 2 %.

4. Этап эпигенеза и формирования современного облика БЖР. В поствизейское время вся территория была погружена в связи с формированием юго-западного склона палеозойской Воронежской антеклизы. 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 (Савко, 2002). Начиная со средней юры и вплоть до неогена было опускание с трансгрессией сюда морских

бассейнов из Днепровско-Донецкой впадины, с неогена эта территория вновь стала сушей. Всё это время продолжалась трансформация минерального и химического состава руд, слагающих кору выветривания, и их структурно-текстурного облика.

После погружения территории, когда она оказалась юго-западным склоном Воронежской антеклизы, богатые железные руды подверглись изменениям в условиях раннего катагенеза. Выветрелые породы приобрели новые текстуры (за счёт сидеритизации), бертьеринизация повлекла за собой полосчатый и «паутинообразный» характеры. 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.

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

Таблица 2

Сводная характеристика состава руд в КВ и в их материнских породах

Материнские породы	Железорудная кора выветривания	Преобладающие процессы, приведшие к окончательному облику
Железисто-кварцевые роговики и джеспелитоподобные образования (магнетитовые, магнетитогематитовые и гематитомартитовые)	Мартитовые, гематитомартитовые	Мартитизация. Выщелачивание кварца, частичное замещение тонкодисперсным гематитом
Железисто-силикатно-кварцевые роговики (магнетито-амфиболовые, магнетито-хлоритовые и гематито-магнетито-силикатные)	Мартито-лептогематитовые	Мартитизация. Выщелачивание кварца из кварцевых прослоев и частичное замещение его тонкодисперсным гематитом. Окисление и разложение железистых силикатов до лептогематита или лимонита. Уплотнение и складчатость
Силикатно-кварцевые роговико-подобные (амфиболовые, хлоритовые и хлорито-биотитовые)	Пёстрые тонкодисперсные (гётитовые, лимонитовые, лептогематитовые) с гематитом	Разложение и окисление силикатов до гидроокислов железа (лептогематита, лимонита). Локальное выщелачивание кварца и кварцевых прослоев, уплотнение и частичное замещение кварца тонкодисперсным гематитом
Железисто-силикатные сланцы с редкими прослоями безрудного роговика (хлоритовые,	Пёстрые тонкодисперсные (гётитовые, лимонитовые, лептогематитовые), иногда с гематитом.	Преимущественное разложение и окисление силикатов до лептогематита и лимонита.

биотито-хлоритовые и хлорито-серицитовые)	Маложелезистые лептогематитовые (глинозёмистые или лептогематитизированные сланцеподобные)	Частичный вынос кварца и замещение его лептогематитом
---	--	---

Результаты стадийного анализа позволяют составить литолого-генетическую модель для универсального понимания механизмов геологических процессов формирования БЖР. Модельными объектами выбраны литологические и минеральные признаки БЖР, удовлетворяющие большинству требований при решении генетической задачи, и обеспечивающие большую способность дальнейшего анализа. Литолого-генетическая модель может значительно ускорить и облегчить процесс анализа нового геологического объекта или уточнить по новым данным генезис уже известного месторождения.

Таким образом, наиболее подвержены выветриванию железистые роговики и контакты джеспилитов со сланцами. Промывному режиму открываются ослабленные зоны, которые подготавливаются тектоническими нарушениями. К концу эпохи выветривания в раннем карбоне (к позднему визе) сформировалась низменная прибрежно-морская аккумулятивная равнина. В допоздевизейское время уже имел место значительный размыв ранее образовавшихся КВ. Открытые и подземные карстовые полости в южных частях КМА обрели положительный эффект в сохранении большого объёма БЖР из КВ. Дезинтегрированный материал из коры выветривания и частично коренных пород поступал в формирующиеся понижения ранневизейского рельефа. В континентальных отложениях в определённых условиях концентрировались переотложенные продукты выветривания железорудных пород. В формировании современных БЖР одну из главных ролей сыграли воды трансгрессирующего моря, вызвавшие эпигенетические процессы. Сохранению мощных залежей БЖР благоприятствуют закарстованные КВ.

ПЯТОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. На основе разработанной геолого-генетической модели формирования богатых железных руд КМА применены стратиграфический, структурно-тектонический и литолого-фациальный критерии, которые позволили выделить 12 месторождений, наиболее благоприятных для экологически щадящих эксплуатационных работ методом скважинной гидродобычи в густонаселённых районах, общей массой запасов и прогнозных ресурсов 2,3 миллиарда тонн.

В приоритетных направлениях экономического развития страны обеспечение сырьевой базы черной металлургии является одной из главных задач. Основные прогнозные ресурсы наилучшего качества богатых железных руд сосредоточены в пределах Курской и Белгородской областей. Развитие горнодобывающей промышленности в аграрных регионах весьма проблематично, в особенности строительство открытых рудников (карьеров). Поэтому всё актуальнее становятся проблемы освоения богатых руд подземными способами. Как показали опытные работы по добыче БЖР гидроскважинным способом в особо сложных условиях на Яковлевском, Шемраевском и Большетроицком рудниках, полученных ранее разведочных данных, оказалось недостаточно для определения критериев оптимальной этого вида разработки месторождений. Потребовались дополнительные исследования для уче-

та всех факторов, определяющих формирование и освоение залежей богатых железных руд Курской магнитной аномалии.

Новые данные, охватывающие закономерности формирования БЖР и факторы их локализации, позволили определить типизацию гипергенных месторождений по всей КМА. Гипергенная металлогения месторождений БЖР послужит основой для разработки классификации и критериев поисков и оценки месторождений под современные условия конъюнктуры (Михайлов, 2000; Романов, 1999; Jackson, 1993).

Морфология и минеральный состав БЖР КМА зависят от условий их формирования (климатические условия и тектоническая проработанность рельефа до начала гипергенного рудообразования) и исходного субстрата (материнских пород). Площадные коры выветривания образовались преимущественно на холмистых палеоравнинах в пределах выходов «опрокинутых» складчатых структур железистых кварцитов. БЖР повторяют текстуры материнских пород. КВ протягиваются на значительные расстояния, существенно не меняя своего строения.

В кровле реликтовые текстуры БЖР частично нарушены и представлены массивными пёстрыми породами. Площадная КВ имеет неровную, но плавную подошву. В зонах дробления гипергенные процессы за счёт дренажа просачивающихся вод прорабатывали материнский субстрат несколько глубже, чем на остальной площади выветривания. Здесь БЖР в виде субвертикальных маломощных «клиньев» могут залегать среди материнских пород.

Морфология и минеральный состав БЖР КМА зависят от условий их формирования (климатические условия и тектоническая проработанность рельефа до начала гипергенного рудообразования) и исходного субстрата (материнских пород). Площадные коры выветривания образовались преимущественно на холмистых палеоравнинах в пределах выходов «опрокинутых» складчатых структур железистых кварцитов. БЖР повторяют текстуры материнских пород. КВ протягиваются на значительные расстояния, существенно не меняя своего строения. В кровле реликтовые текстуры БЖР частично нарушены и представлены массивными пёстрыми породами. Площадная КВ имеет неровную, но плавную подошву. В зонах дробления гипергенные процессы за счёт дренажа просачивающихся вод прорабатывали материнский субстрат несколько глубже, чем на остальной площади выветривания. Здесь БЖР в виде субвертикальных маломощных «клиньев» могут залегать среди материнских пород.

На полосчатых крутозалегающих метаморфических породах (джеспилитах и железистых сланцах) образовывались два типа линейно-площадных форм КВ с неровными и секущими (в виде «рудных языков») подошвами, уходящими на большую глубину в материнские породы: 1) контактово-площадные и 2) линейные.

Контактово-площадные КВ образовались по полосчатым метаморфическим породам в результате среза замковой части и обнажения крутозалегающих разнотипных (кварцосодержащих и бескварцевых) материнских пород. Окисленные породы в нижней части профиля объединялись с образованием внутри разреза останцов межрудных сланцев, не затронутых гипергенными процессами. На контакте пород происходило формирование «рудных языков», выклинивающихся с глубиной. В разрезе залежи БЖР имеют ассиметричное строение с увеличением мощности в сторону более кварцевых материнских пород.

Линейные КВ образовались в условиях интенсивного промывного режима на джеспилитах и сланцах. Для этого типа интенсивность промывного режима по высококварцевым материнским породам здесь является главным фактором. От контактово-площадных отличаются тем, что линейные формы КВ образованы по всей истинной мощности крупнослоистых кварц-магнетитовых джеспилитов. Развитие площадных КВ между зонами дробления были ограничены периодическими подтоплениями с формированием временных застойных водоёмов с резко пониженным промывным режимом. Такой профиль выветривания объясняется воздействием агрессивных атмосферных вод, у которых самое высокое Eh и самое низкое рН, а их ослабление связано с подтоплением и образованием застойных водных бассейнов, насыщенных подвижными химическими элементами (по Л.Г.М. Беккинг, 1963).

КВ, которые развивались в результате интенсивного воздействия вод в джеспилитах с некоторым количеством железистых роговиков выполняют карстовые формы. Они контролируются разрывными структурами в рельефе докембрийских пород. Карстовые полости сыграли большую роль в сохранении железорудных КВ. На некоторых месторождениях в настоящее время обнаруживаются внутрирудные резервуары, заполненные химически агрессивными древними водоёмами.

Разработанная литолого-генетическая модель формирования БЖР КМА определила прикладное значение проведенных исследований. Типизация рудоконтролирующих систем проведена по следующим характеристикам: 1) взаимоотношениям с метаморфическими породами; 2) принадлежности к определённым структурным элементам; 3) условиям образования; 4) составу исходного дорудного субстрата; 5) петрохимическим направленностям наложенных процессов при становлении рудных залежей. Именно такой подход способствует выявлению определяющих и объективных закономерностей рудообразования и разработке основ региональных и локальных критериев прогноза, поиска и оценки железорудных месторождений (Орлов, 1991).

Приуроченность месторождений к определённым структурным элементам обусловлена существенными различиями между тектоническими процессами, закладывающими зону гипергенеза, и тектоническими процессами после рудообразования, влияющими на конечный состав БЖР после стадии выветривания, и далее специфику диагенетических и постдиагенетических преобразований.

Поперечные тектонические нарушения определяют блоковое строение участков прорастающего гипергенеза, где БЖР формировались без значимого привноса постороннего вещества. По продольным тектоническим нарушениям развивались процессы метасоматоза, которые в БЖР формировали зональность за счет привноса нового вещества. Северная часть КМА отвечала условиям площадного гипергенеза с образованием маломощных КВ. В центральной части (северная часть Белгородского района) преобладал линейный, избирательный гипергенез с преимущественно железослюдковыми рудами. В южной части Белгородского района проявлено наибольшее количество тектонических нарушений, обусловивших вскрытие высококварцевых роговиков и тем самым вызвавших процессы карстообразования и, соответственно, формирование самых мощных залежей БЖР.

Состав исходного дорудного субстрата отражает влияние литологического фактора и для многих типов месторождений является определяющим. По желези-

стым роговикам образуются преимущественно мармитовые руды. По джеспилитам и железистым сланцам образуются железнослюдковые и лептогематитовые руды.

Петрохимическая направленность наложенных процессов при становлении залежей отражает геохимические особенности среды минералообразования, начиная со стадии диагенеза. Выщелачивание кварца (снижение содержания SiO_2 вверх по профилю выветривания) увеличивает количество Fe_2O_3 . Это сопровождается разрыхлением новообразованных железных руд. Перекрытие коры выветривания сопровождается началом диагенетических процессов. На эпигенетическом этапе происходит преобразование пород сверху вниз, и как следствие, увеличение количества FeO в рудах ближе к кровле профиля выветривания. Пористые БЖР наиболее подвержены сидеритизации и образуют скальные руды, которые сильно сокращают прогнозные запасы под некоторые виды добычи. В рыхлых БЖР ближе к кровле наиболее распространена фракция >2 мм, а к подошве – фракция $0,5+0,25$ мм. Постоянное количество по весу в БЖР имеет фракция $0,125+0,063$ мм, изменяясь в довольно узких пределах. Гранулометрический состав БЖР играет существенную роль для выбора технологической схемы разработки месторождения БЖР. От гранулометрического состава зависит влажность руд и их гидрофильность. Данные о гидрофильности проб БЖР указывают на их способности к проявлению плавунных свойств.

Наиболее пригодными минералого-технологическими сортами БЖР для СГД следует считать: 1) рыхлые-полурыхлые существенно мармитовые серовато-синие до тёмно-синих; 2) рыхлые-полурыхлые существенно лептогематитовые с гётитом красноватые и буровато-желтые.

Применительно к методу скважинной гидродобычи на больших глубинах данные факторы формирования рыхлых БЖР имеют большое значение и требуют ввода дополнительного критерия для поисково-оценочных работ.

Опытные геолого-технологические исследования на Большетроицком месторождении и Хохловском участке Гостищевского месторождения позволили выделить следующие критерии, которые рекомендуется учитывать при заложении новых технологических скважин и в целом при проектировании новых рудников в столь же сложных геолого-технологических условиях (Никулин, 2013):

1. Стратиграфический. Бронирующие от обрушений при добыче БЖР породы осадочного чехла характеризуются приуроченностью к определенному стратиграфическим горизонтам. Предпочтение должно отдаваться массивному доломитовому горизонту визейского яруса (C_{1v}). Наличие карбонатного «панциря» мощностью не менее 30 м над рудной толщей.

2. Структурно-тектонический. При разработке карстовыполняющих БЖР ведущее значение приобретают локальные рудоконтролирующие структуры. Залежи рыхлых БЖР часто располагаются в участках сопряжения локальных структур, в пачках пород, контрастных по физико-механическим свойствам. Добычные (технологические) скважины должны конструироваться, отступая на расстоянии от взбросово-сбросовых структур около 20-30 м. Виды скважин: вертикальные и трехазимутальные (наклон стволов противоположно от тектонической структуры; наклонные стволы скважины, взаимопротивоположные друг от друга по простиранию структуры), расположение которых, таким образом, за счёт самообрушений внутри рудной толщи в значительной степени увеличивает дебет рудной пульпы.

3. Литолого-фациальный. Закономерности формирования рыхлых БЖР охарактеризованы в определенных фациальных обстановках. Подавляющее большинство этих БЖР обычно локализовано в линейных корях выветривания и породах, слагающих карсты, где были проявлены наиболее благоприятные факторы для мощного рудообразования. Две геологоразведочные скважины должны быть на расстоянии не более 50 м и обеспечиваться общим пластом рыхлых руд в верхней части рудной залежи, кровлю которой должны слагать исключительно скальные (массивные сидеритизированные) руды.

На основании выше приведенного комплекса признаков БЖР и критериев их ранжирования в пределах бассейна КМА выделены 12 первоочередных участков рыхлых БЖР (табл. 3), потенциально пригодных для отработки методом скважинной гидродобычи (СГД), с суммарными запасами и прогнозными ресурсами 2320 млн. тонн.

Таблица 3

Запасы и прогнозныe ресурсы БЖР, пригодных для СГД

№№	Участок КМА, месторождение	Запасы, млн. т	Прогнозные ресурсы, млн. т
Площадных кор выветривания			
1.	Крутологовской, Разуменское		210 (P1)
2.	Масловопристанский, Разуменское		220 (P1)
3.	Безымянный, Разуменское		170 (P1)
4.	Смородинский, Яковлевское		310 (P1)
Линейных кор выветривания			
5.	Гостищевский, Гостищевское	150 (C1)	–
6.	Юго-восточный, Гостищевское	55 (C2)	110 (P1)
7.	Хохловский, Гостищевское	–	100 (P1)
8.	Дальнеигуменский, Гостищевское	–	400 (P1)
9.	Киселевский, Гостищевское	–	100 (P1)
10.	Беленихинский, Ольховатское		170 (P1)
Карстовыполняющие			
11.	Западный, Большетроицкое	175 (C1+B)	
12.	Шемраевский, Шемраевское	150 (C1)	
Суммарные:		530	1790
Итого:		2320 (P1+C1+B)	

Экспериментальные работы по наработке технологии подземной скважинной добычи железных руд определили ряд особых подходов (Никулин, 2011), которые требуется учитывать при проектировании геологоразведочных работ применительно к этому методу (Балашов, 2012):

1. Проведение на первом этапе геологоразведки геофизических (сейсмика) работ для определения контуров подошвы богатых руд по материнским породам и выделении резких тектонических нарушений – наиболее благоприятных для отработки руд методом подземной скважинной добычи.

2. Сеть разведочных скважин должна быть приближена к квадратной и не реже 200x200 м. Это позволит в самом начале работ определить наиболее перспективные участки для отработки (добычи) руд и общие характеристики рудной толщи.

3. Наиболее перспективными участками для отработки руд на этом этапе следует считать по: а) водонасыщенности рудной толщи; б) физико-механическим свойствам руд и в) минерально-петрографическим характеристикам с содержанием $Fe_{общ.} > 60\%$.

4. Второй этап заключается в сгущении буровой сети до 50x50 м на наиболее перспективных для отработки участках. Это позволит чётко сформулировать технологический режим добычных работ относительно чрезвычайной переменчивости руд в разрезе и по простиранию, а также учесть и своевременно локализовать скальные и весьма тонкозернистые руды.

Таким образом, вышеизложенный инновационный подход к добыче богатых железных руд обоснован применением на практике стратиграфического, структурного и литолого-фациального критериев. Высокая эффективность добычных работ за счет ранжирования блоков отработки по разработанным критериям особенно важна в сложившейся современной конъюнктуре вокруг горнодобывающей промышленности. Особые требования для геологоразведочных работ применительно к методу подземной скважинной добычи (СГД) составляют основание для скорейшей разработки обособленных методических указаний и их рекомендации к применению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертации разработана концепция образования полигенного комплекса гипергенных железных руд. Объект исследования, сформированный в результате гипергенных процессов, занимает определённое место в структуре верхней части земной коры между материнскими раннепротерозойскими железистыми кварцитами и перекрывающими осадочными чехол породами палеозоя, и реже мезозоя.

2. В пределах КМА на породах фундамента развиты железорудные коры выветривания (площадные, контактово-площадные, линейные и закарстованные), образующие гипергенный покров с резко изменчивой морфологией. КВ контролируются залегающим моноклинально, флексурно-осложнёнными, сложноскладчатыми шарнирами, брахисинклинальными складками и антиклинальными структурами материнских пород, их гипсометрическим положением и зонами тектонических нарушений (раздробленностью и трещиноватостью). Формирование КВ сопровождается последующим частичным размывом и выносом рудного вещества за пределы зоны выветривания с образованием делювиальных, пролювиальных, озёрно-болотных и прибрежно-морских отложений. Наибольший объём БЖР сохранён в линейных и карстовых образованиях.

3. По результатам рентгенографического и микрозондового анализов в значительной степени уточнён минеральный и химический составы гипергенных железных руд. Выделенные минеральные ассоциации непосредственно отражают условиями формирования КВ.

4. В КВ выделены два парагенетических ряда минералов железа: 1 – мартит, железная слюдка, гематит, образованные в окислительной среде; 2 – сидерит, бертьерин и хлорит (шамозит), магнетит в восстановительной. 5. Преобладающими минералами железа являются его оксиды, сидерит и бертьерин в различных сочетаниях, которые слагают семь разновидностей гипергенных богатых железных руд. Осадочные железные руды, представленные преимущественно конглобрекчиями, наследуют состав элювия с примесью кварца и силикатов.

6. Профили КВ на различных месторождениях характеризуются единой закономерностью – накопление полуторных окислов железа и алюминия и активный вынос кремнезема. Выделяются три условных зоны: 1) нижняя – окисленных железистых кварцитов с содержанием $Fe_{\text{общ.}} < 57\%$, 2) средняя – рыхлых наиболее богатых руд с $Fe_{\text{общ.}} > 57\%$ и 3) верхняя – наложенная сидеритизированная с $Fe_{\text{общ.}} < 57\%$. При наложенных процессах количество Al_2O_3 и Fe_2O_3 уменьшается, а FeO и SiO_2 возрастает. Важной геохимической особенностью является четырёхкратное увеличение Fe_2O_3 в сравнении с исходными породами.

7. Малые элементы в профиле КВ являются наложенными и представлены преимущественно ассоциациями Sr, Zr и Ba с примесями As. Их различные вариации с другими элементами отражают вертикальную зональность, тектонические нарушения и наличие в железных рудах выветрелых межрудных сланцев.

8. Исходный докембрийский субстрат за сотни миллионов лет претерпел ряд глубоких изменений, связанных с формированием по железистым кварцитам КВ в доэйфельское и ранневизейское время и её эпигенетическими изменениями в поствизейские эпохи. Образование БЖР в КВ определялось тектоническими, климатическими, петрохимическими (составом материнского субстрата), структурными, фациальными и диагенетическо-эпигенетическими факторами. В итоге БЖР представляют сложный гипергенный полигенетический комплекс, сформированный в четыре основных этапа: 1 – долатеритный, 2 – латеритный, 3 – диагенетический и 4 – эпигенетический.

9. Сравнительный анализ БЖР КМА и Кривбасса показал, что во втором руды делятся как минимум на верхнюю и нижнюю зоны. Руды верхней зоны имеют весьма высокую схожесть с таковыми на КМА, а нижней зоны обязаны своим формированием метасоматическим глубинным процессам с образованием специфических минеральных ассоциаций.

10. Результаты стадийного анализа БЖР для железорудных комплексов пород, с установленными в них особенностями распределения по каждому профилю КВ КМА маргита, железной слюдки и лептогематита, должны использоваться при разработке рекомендаций по технологическому картированию залежей БЖР.

11. Принципиальная схема минералообразования и геолого-генетическая модель как система прогнозирования рудоконтролирующих факторов апробированы на Гостищевском и Большетроицком месторождениях. Она является основой, которая может быть рекомендована для разработки обособленных методических указаний по проектированию поисково-оценочных, геологоразведочных и добычных работ на рыхлые БЖР, локализованные в сложных геологических условиях и не подходящие для открытых и шахтных методов добычи.

12. При проектировании геологоразведочных работ и дальнейшей разработки БЖР методом скважинной гидродобычи требуется учитывать: 1) проведение геофизических (сейсмических) работ на первом этапе геологоразведки для определения контуров подошвы развития БЖР по материнским породам и выделение резких тектонических нарушений; 2) сеть разведочных скважин должна быть приближена к квадратной и не реже 200×200 м, что позволит в самом начале работ определить наиболее перспективные участки для опытно-экспериментальной добычи и разработки технологических регламентов к сроку запуска комбината; 3) второй этап заключается в сгущении сети до 50×50 м на наиболее перспективных участках, что

позволит чётко сформулировать прогноз добычных работ относительно чрезвычайной переменчивости руд в разрезе и по простиранию, а также учесть и своевременно локализовать скальные и весьма тонкозернистые руды.

13. Для подготовки и разработки проектов методом скважинной гидродобычи месторождений БЖР должны быть учтены главные критерии, которые выявлены в процессе поисковых и геологоразведочных работ: 1) стратиграфический – наличие карбонатного «панциря» мощностью не менее 30 м над рудной залежью БЖР в виде массивного доломитового горизонта; 2) структурно-тектонический – добычные скважины должны конструироваться вблизи (на расстоянии 20–30 м) от взбросово-сбросовых структур или структур потенциального обрушения; 3) литолого-фациальный – две геологоразведочные скважины с расстоянием не более 50 м должны обеспечиваться общим пластом рыхлых руд в верхней части рудной залежи, кровлю которой должны слагать исключительно скальные (массивные сидеритизированные) руды.

Основные публикации

Статьи в журналах перечня ВАК:

Безуглый М.М., **Никулин И.И.** Новые сведения о геологическом строении и характере рудоносности Большетроицкого месторождения (Белгородский район КМА) // Вестник ВГУ, Серия: Геология, 2010. № 2. С. 171–179.

Меркушова М.Ю., **Никулин И.И.** Сравнительный анализ богатых железных руд Белгородского и Старооскольского железорудных районов КМА // Вестник ВГУ, Серия: Геология, 2015. № 4. С. 107–113.

Никулин И.И. Бертьерин – главный силикат месторождений богатых железных руд КМА // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2013. № 1. С. 89–97.

Никулин И.И. Геологические аспекты при освоении глубокозалегающих обводнённых месторождений богатых железных руд // Науч. ведомости Белгород. гос. ун–т. Естественные науки. № 7 (160), 2013. Вып. 24. С. 148–154.

Никулин И.И., Кетрис М.П., Юдович Я.Э. Литохимия коры выветривания железо-кремнисто-сланцевой формации Большетроицкого месторождения // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2015. № 7. С. 26–33.

Никулин И.И. Критерии оценки богатых железных руд применительно к методу скважинной добычи на примере Большетроицкого месторождения КМА // Руды и металлы, Москва: ЦНИГРИ, 2011. № 3–4/2011. С. 128–129.

Никулин И.И. Литология гематитовых брекчий раннего карбона Курской магнитной аномалии // Вестник ВГУ. Сер.: Геология, 2016. № 2. С. 31–36.

Никулин И.И. Морфология и условия формирования железорудных кор выветривания Белгородского района КМА // Вестник ВГУ, Серия: Геология, 2014. № 3. С. 64–73.

Никулин И.И. Нано-структуры в богатых железных рудах Курской магнитной аномалии // Науч. ведомости Белгород. гос. ун–т. Естественные науки, 2015. № 15 (212). Вып. 32. С. 184–189.

Никулин И.И. Об условиях образования богатых железных руд Курской магнитной аномалии // Науч. ведомости Белгород. гос. ун–т. Естественные науки, 2016. № 11 (232). Вып. 35. С. 158–164.

Никулин И.И. Редкоземельные элементы в коре выветривания железистых кварцитов Большетроицкого месторождения КМА // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2014. № 1. С. 54–61.

Никулин И.И., Савко А.Д., Меркушова М.Ю. Типы гипергенных богатых железных руд Белгородского района Курской магнитной аномалии // Вестник ВГУ. Сер.: Геология, 2015. № 3. С. 71–82.

Никулин И.И. Связь богатых железных руд Курской магнитной аномалии с материнскими метаморфогенными породами // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), 2015. № 6. С. 294–299.

Никулин И.И. Характеристика минерального состава богатых железных руд Большетроицкого месторождения КМА // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2012. № 1. С. 144–154.

Никулин И.И. Экспресс-приемы выделения тонкодисперсных минералов из цемента осадочных пород // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2010. № 1. С. 286–292.

Монография:

Никулин И.И., Савко А.Д. Железородные коры выветривания Белгородского района Курской магнитной аномалии // Тр. НИИ геологии Воронеж. гос. ун-та. Вып. 85. 2015. 102 с.

Статьи в тематических сборниках не из списка ВАК:

Балашов А.Г., **Никулин И.И.** Интеграция и инновации при освоении глубокозалегających обводнённых месторождений богатых железных руд // Труды научно-практ. конф. "Перспективы создания новых горнорудных районов в европейской части России и на Урале", М.: ФГУП "ВИМС", 2012. С. 12–22.

Никулин И.И. Бертьерин в богатых железных рудах Большетроицкого месторождения КМА // Материалы I Российского совещания «Глины, глинистые минералы и слоистые материалы», Москва: ИГЕМ РАН, 2011. С. 119.

Никулин И.И. Влияние тектонических движений на формирование богатых железных руд Курской магнитной аномалии // Труды всеросс. науч. конф. «Актуальные проблемы динамической геологии при исследовании платформенных областей – 2016». Москва, 2016. С. 112–115.

Никулин И.И. Железистые силикаты в коре выветривания кварцитов Курской магнитной аномалии // Кристаллохимия, рентгенография и спектроскопия минералов, 2014. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. С. 132–133.

Никулин И.И. Кристаллохимические зависимости слоистых силикатов / И.И. Никулин // Материалы I Российского совещания «Глины, глинистые минералы и слоистые материалы», Москва, ИГЕМ РАН, 2011. С. 36–37.

Никулин И.И. Мартит и железная слюдка – минеральная основа богатых железных руд КМА // В сб.: Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования, Москва, ИГЕМ РАН, 2015. С. 230–231.

Никулин И.И. Связь рудносной коры выветривания с материнскими железистыми кварцитами (Большетроицкого месторождения, Белгородский район КМА) // Матер. 6-го Всероссийского литологического совещания «Концептуальные проблемы литологических исследований в России», Казань, 2011. С. 88–90.

Никулин И.И. Сопоставление больших массивов данных химических анализов коры выветривания железистых кварцитов Большетроицкого месторождения с

петрографическими данными по керну методом самоорганизующихся карт Кохонена // Материалы Российского совещания с международным участием "Геохимия литогенеза", Сыктывкар: ИГ Коми УрО РАН, 2014. С. 33–37.

Никулин И.И., Ковальчук О.Е. Рамановская спектроскопия железистых минералов коры выветривания джеспилитов Курской магнитной аномалии // Материалы Международной науч. конф., посвящ. 300-летию Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, 2016. С. 122-123.

Савко А.Д., **Никулин И.И.**, Меркушова М.Ю., Башкардин Н.С. Стадиальный анализ формирования богатых железных руд КМА // Матер. XV Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РВК-2015) "Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология", Пермь, 2015. С. 204–206.

Савко А.Д., **Никулин И.И.**, Меркушова М.Ю. Особенности формирования кор выветривания на железистых кварцитах КМА на примере Большетроицкого месторождения (Белгородская область) // Материалы Российского совещания с международным участием "Геохимия литогенеза", Сыктывкар: ИГ Коми УрО РАН, 2014. С. 110–112.