



УДК 553.042:622.016.25

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИ ОСВОЕНИИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ ОБВОДНЁННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

И.И. Никулин

*Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет, Россия, 308015, г.
Белгород, ул. Победы, 85*

E-mail: iinikulin@gmail.com

Изложены геологические и некоторые технологические аспекты по ведению геологоразведочных и добычных работ на месторождениях богатых железных руд, в частности Большетроицкого месторождения КМА, со сложными геологическими и экономическими условиями. Предложены основные факторы при выборе метода добычи богатых железных руд. На основании проведенных геолого-технологических работ выделены критерии, которые следует учитывать при заложении добычных технологических скважин.

Ключевые слова: богатые железные руды, геолого-технологические аспекты, геологические критерии, скважинная гидродобыча.

Введение

В основных направлениях экономического развития страны обеспечение сырьевой базы черной металлургии является одной из главных задач. Поставленная задача может быть решена только при учете всех факторов, определяющих формирование и освоение залежей богатых железных руд.

В пределах Курской магнитной аномалии принято считать четыре железорудных района: Белгородский, Старооскольский, Новооскольский, Курско-Орловский. Наиболее крупные месторождения богатых руд сосредоточены в юго-западной полосе КМА. Прогнозные ресурсы неокисленных кварцитов (до глуб. 700 м) 856 млрд. т, богатых железных руд (до глуб. 1200 м.) 82 млрд. т (1984), в т. ч. общие балансовые запасы железных руд КМА оцениваются в 44.6 млрд. т, в т. ч. богатых руд 26.1 млрд. т, железистых кварцитов 18.5 млрд. т. Белгородский район сосредоточивает 90.5% запасов богатых руд КМА по категориям А+В+С₁ и 96.9% по категориям А+В+С₁+С₂. В его составе уникальные по запасам и качеству богатых руд месторождения: Яковлевское, Гостишевское, Разуменское, Большетроицкое и др. Среднее содержание в них железа свыше 60%, при незначительном количестве окиси кремния, серы и фосфора. Рудная залежь находится на глубинах, допускающих только подземную добычу. Месторождения сильно обводнены (до восьми водоносных горизонтов), поэтому перед добычей руды при подземном шахтном способе необходимо провести осушение, осуществить проходку стволов, которая возможна только с помощью замораживания. Такое положение вещей вынуждает недропользователей проводить своевременные интеграции в добычном процессе, а на новых участках в начале освоения вводить инновационные подходы.

Проблематика освоения месторождений со сложными геологическими условиями

Современное развитие бизнеса в освоении недр заставляет по-иному взглянуть на традиционные способы добычи полезных ископаемых. Большая часть запасов железных руд находится в густонаселенных и пахотных чернозёмных районах (рис. 1). Прежде всего, приходится учитывать: а) сжатые сроки (в связи с экономическими условиями) для изучения и освоения месторождения; б) условия локализации рудной толщи (особенно в чернозёмных регионах) и в) современные эколого-экономические требования в горнодобывающей промышленности. В связи с этим для разработки Большетроицкого месторождения богатых железных руд отдано предпочтение в сторону метода подземной скважинной добычи.

Главными факторами, взятыми за основу при выборе метода добычи богатых железных руд, являются:

1. Обводнённость толщи вмещающих пород и рудной залежи при разработке подземным способом требует выполнения сложных мероприятий по её осушению.

2. Содержащиеся в рудном теле прослойки пустых пород, некондиционных богатых железных руд и кварцитов, представленных скальными включениями, требуют при традиционном способе разработки предварительного рыхления их буровзрывным способом.

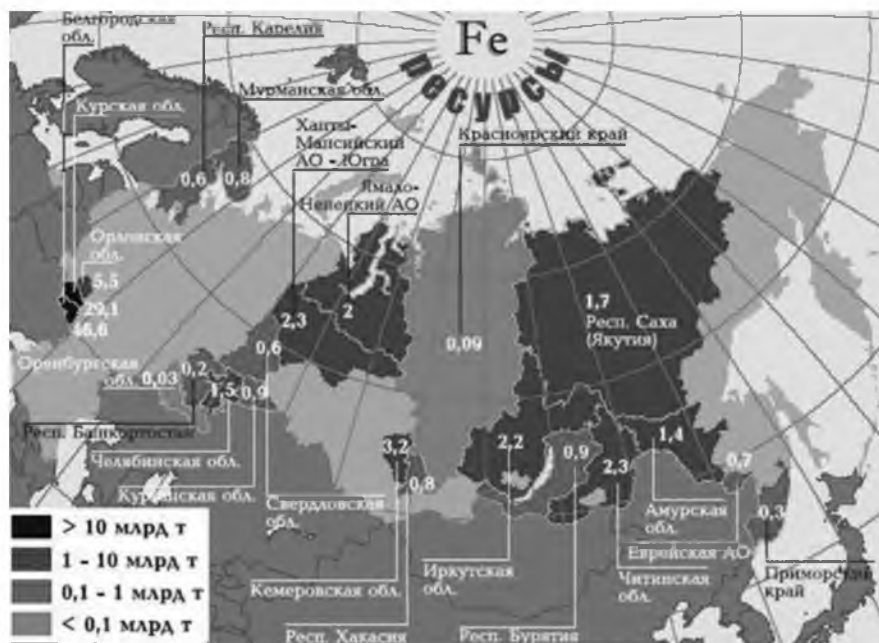


Рис. 1. Регионы Российской Федерации с железорудным потенциалом

3. Метод подземной добычи через скважины, при котором руда выдаётся в виде рудной пульпы, позволяет осуществлять её транспортировку гидротранспортом, а разрушенные пустые породы, поднятые на поверхность, возможно возвратить в подземную добычную камеру (обратно в недра).

4. Применение технологии подземной скважинной добычи в промышленных масштабах предполагает возможность компенсации выбывающих мощностей действующих карьеров горно-обогатительных предприятий России за счет освоения глубоко залегающих железных руд в бассейне КМА методом подземной добычи через скважины.

5. Учитывая, что запасы глубокозалегающих месторождений богатых железных руд Белгородского рудного района КМА находятся практически на не доступной глубине для открытого способа отработки (500–1000 м), а возможно только двумя способами - подземной добычей через скважины или шахтным. При этом подземная добыча через скважины имеет ряд наглядных преимуществ перед шахтным способом отработки: сжатые сроки строительства и пуска предприятия за один-два года; минимальные капитальные вложения; себестоимость 1 тонны товарной руды; годовые эксплуатационные расходы; рентабельность к фондам.

6. Метод скважинной добычи высококачественной железной руды оказывает наименьшее влияние на окружающую среду (близрасположенные поселения, посевные поля с чернозёмом, лесонасаждения).

7. Затраты экологического характера по предприятию, ведущему отработку методом скважинной добычи, будут в основном связаны с платой за недра и локальные выбросы, которые весьма незначительны. Следовательно, и затраты в будущем по этим статьям расходов будут минимальные.

Особенности геолого-технологических разработок методом СГД

Большетроицкое месторождение богатых железных руд расположено в юго-западной части Белгородского рудного района и приурочено к Прохоровско-Большетроицкой рудной зоне. В структурном отношении месторождение рассматривается как одноименная синклиналь в составе Корочанско-Большетроицкой грабен-синклинали, а последняя является частью Белгородского грабен-синклинория. В ядре Большетроицкой синклинали фиксируются рудоносные породы курской серии нижнего протерозоя; крылья сложены метаморфическими и магматическими образованиями архея. Богатые железные руды сформировались в довизейской коре выветривания, развитой на железистых кварцитах курской серии. В составе Большетроицкого месторождения два участка – Западный (главный) и Восточный участки. На Западном участке с 2006 года ведутся геологоразведочные работы. С 2008 года в пределах месторождения производятся опытно-экспериментальные эксплуатационные работы методом подземной скважинной добычи, который позволяет извлекать слабо сцементированные богатые руды из-под мощного (~500 м) осадочного чехла (рис. 2), представляющего собой снизу вверх: нижнекаменноугольных отложений средней мощностью – 64 м, средне- и верхнеюрские образования – 138 м, меловые – 242 м, палеогеновые – 22 м и четвертичные отложения – 8 м.



Рис. 2. Действующий опытно-экспериментальный рудник «Большетроицкий»

По данным геологоразведочных работ, полученных в период производства 2006–2011 гг. (рис. 3) выяснилось: 1) в пределах Западного участка месторождения прослеживаются два тектонических нарушения типа взброса-сброса (субширотного простирания) и сдвига (субмеридианального простирания) (рис. 4); 2) типы руд невыдержанны по разрезу и простиранию более чем на 50 м.

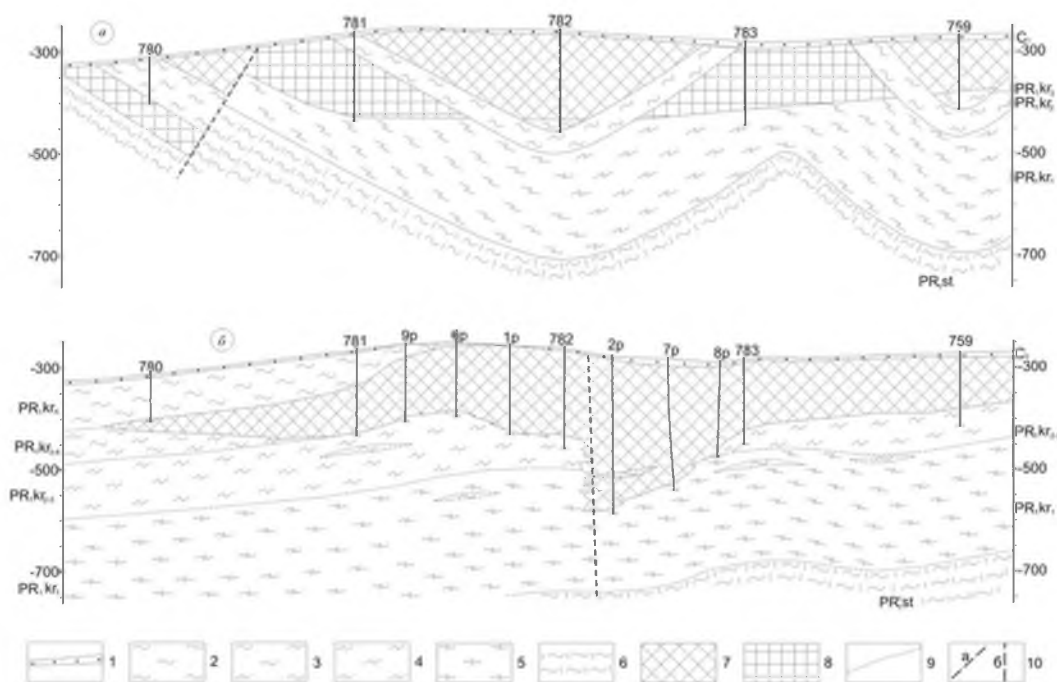
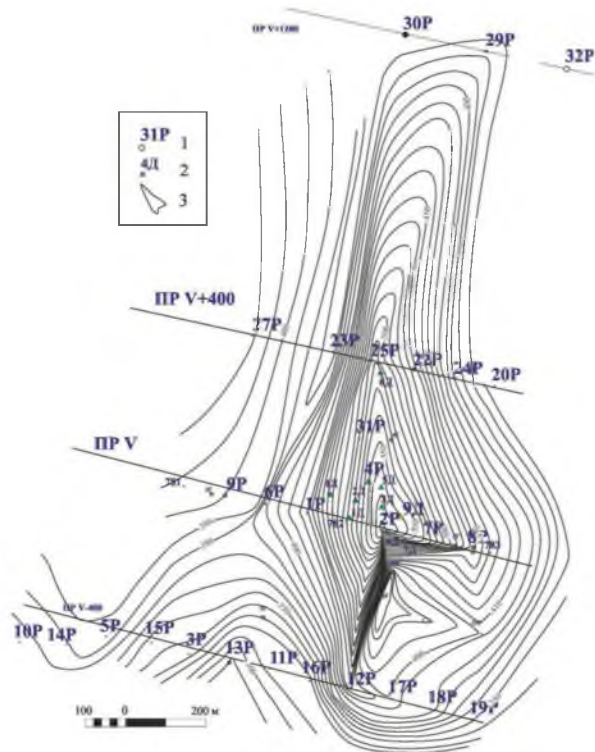


Рис. 3. Схематический геологический разрез по профилю V Большетроицкого месторождения (Западный участок)

Примечания: а) по результатам поисково-оценочных работ 1960–65 гг. и б) по результатам разведочных работ 2008–10 гг.; 1 – базальный горизонт C_1 -отложений, рудные конглобрекции; 2 – выветрелые филлитовидные сланцы, бокситы, Fe-Al-породы PR,kr₄, прослой сланцев среди Fe-кварцитов kr₂₋₃; 3 – толща, переходная от сланцев к Fe-кварцитам; 4 – Fe-кварциты, kr₂₋₃; 5 – Fe-кварциты, kr₁; 6 – филлитовидные сланцы, PR,st; 7 – богатые Fe-руды в kr₂₋₃; 8 – богатые Fe-руды в kr₁; 9 – предполагаемые (условные) границы; 10 – предполагаемые разломы (а); ось зоны дробления (б).



Рыхлые руды Большетроицкого месторождения залегают в тех же условиях, что и скальные (сильно сцементированные). Рыхлые руды, по всей видимости, образовались за счет выноса кварца из плотных руд, скальные богатые руды за счет действия растворов и наличия подвижного карбонатного материала.

В минералогическом отношении руды на Большетроицком месторождении представляют собой двухкомпонентные или трехкомпонентные образования, состоящие из гематита (и его морфологической разновидности – мартита) (6–100%), магнетита (и его морфологической разновидности – мушкетовита) (до 32%), гётита (до 51.5%), реже гидрогематита и карбонатов (до 54.3%) (рис. 5).

Рис. 4. Рельеф подошвы залежи богатых железных руд Большетроицкого месторождения
Примечания: 1 – геологоразведочные скважины; 2 – технологические (добычные) скважины; 3 – изолинии абсолютных отметок глубин в метрах

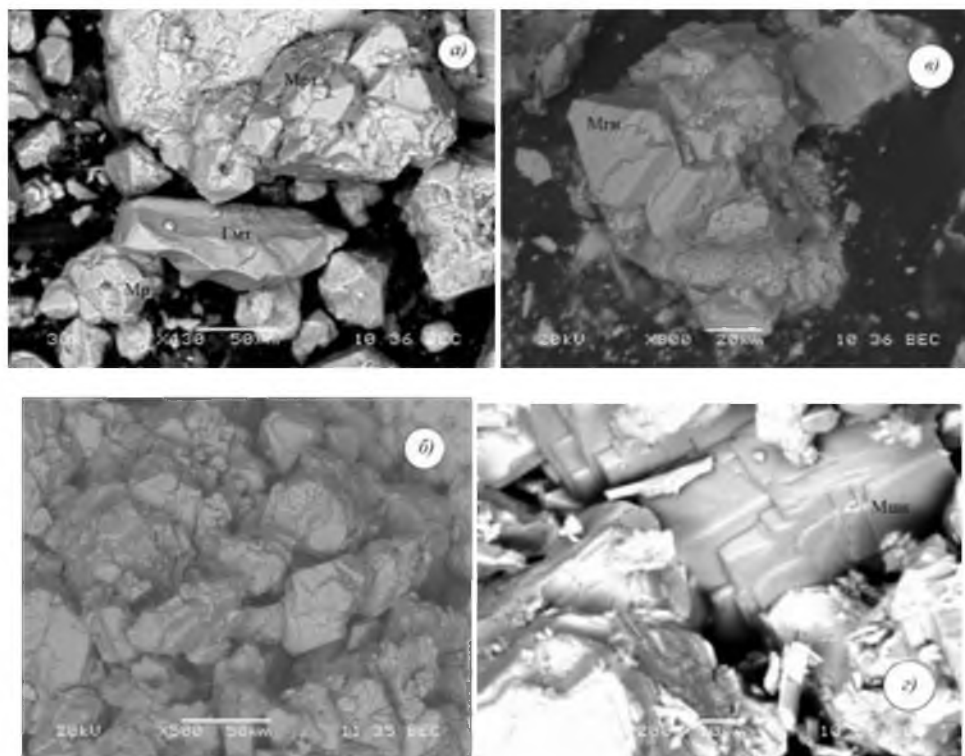


Рис. 5. Растровые электронные снимки минеральных образований железных окислов
Примечание: а) гематит (Гмт) мартит (Мрт), скв. 1р глуб. 552.0 м; б) магнетит полностью замещён псевдоморфозой гематита (мартитом), скв. 25р глуб. 550.7 м; в) магнетит (Мгн), скв. 27р глуб. 596.0 м; г) мушкетовит (Мшк), скв. 1р глуб. 579.1 м

Второстепенными минералами являются: бертьерин, шамозит, апатит, кварц, слюды. Нередко гематит гидратизирован с образованием красных, иногда и бурых гидроокислов желе-

за, часто окрашивающих руды в красные и бурые тона; содержание в таких прослоях различных гидроокислов весьма различно.

Содержание железа не зависит от мощности коры выветривания и только плавно понижается (первые метры) на контакте с неизменёнными железистыми кварцитами, в которых резко уменьшается.

Преобладание рыхлых руд (гематитовых разновидностей) повышается в тех местах, где отмечены пологие палеосклоны по кварцитам. Таковыми можно считать в блоке между скважинами 26р–28р и 7р–24р, вероятно между скважинами 16р и 2р. Перерывы в распространении рыхлых руд, по-видимому, отвечают местному плоскопараллельному залеганию пород, где преобладали растягивающие усилия. В горизонтах с застойными водами гематитовые породы преобразовались в тонкодисперсные гётитовые и гидрогематитовые разновидности как, например, между скважинами 25р и 22р.

Проведения опытных геолого-технологических исследований на Большетроицком западном участке выделены следующие критерии, которые следует учитывать при заложении новых технологических скважин:

1. Стратиграфический. Наличие карбонатного «панциря» мощностью не менее 30 м над рудной толщей – центральные части геологоразведочных профилей V, V+400 и V-400. Должен учитываться исключительно массивный доломитовый горизонт.
2. Тектонический. Добычные должны конструироваться от взбросово-сбросовых структур в пределах 20–30 м. Виды скважин: вертикальные и трехазимутальные (противоположно от тектонической структуры; взаимопротивоположные друг от друга по простиранию структуры).
3. Фациальный. Две геологоразведочные скважины с расстоянием не более 50 м; между ними должны быть исключительно скальные руды с пластом рыхлых в верхней части рудной толщи.

На первоочередном добычном поле рудника, в период 2006–2010 годов построены 8 опытно-экспериментальных скважин. В начальный период освоения Большетроицкого железорудного месторождения из первой геологоразведочной скважины с открытым стволом Ø 120 мм была добыта первая партия железной руды, весом 120 тонн. После анализа её вещественного и качественного состава оказалось, что содержание железа в добытой руде выше на 1.5–2.0%, чем в керне. Содержание вредных примесей по отдельным элементам (в том числе SiO₂) уменьшилось почти в 2 раза. Таким образом, в процессе подъёма пульпы на поверхность происходит обогащение за счет взаимного соударения рудных частиц, отмыва сопутствующего глинистого материала и увеличение содержания Fe_{общ.} до 69.0%.

Высокие качественные характеристики железной руды предполагают её использование как сырья для электрометаллургии, при производстве специальных сталей, а так же в аккумуляторной и ферритной промышленности и т.д.

Работы по очистной выемке руды в добычных скважинах, вскрывающих рудное тело мощностью 120–200 м на глубине 520–540 м от дневной поверхности (рис. 6), показали, что в вертикальных добычных скважинах формирование очистной камеры с заданными параметрами, с применением гидромониторного размытия их стенок возможно только при её горизонтальном сечении не более 1.5–1.8 м, а при сечении более двух метров разрушающее воздействие гидромониторных струй в затопленном пространстве на глубине 600–700 м от поверхности минимально и осуществляется с затуханием до почти полного прекращения дезинтеграции руды.

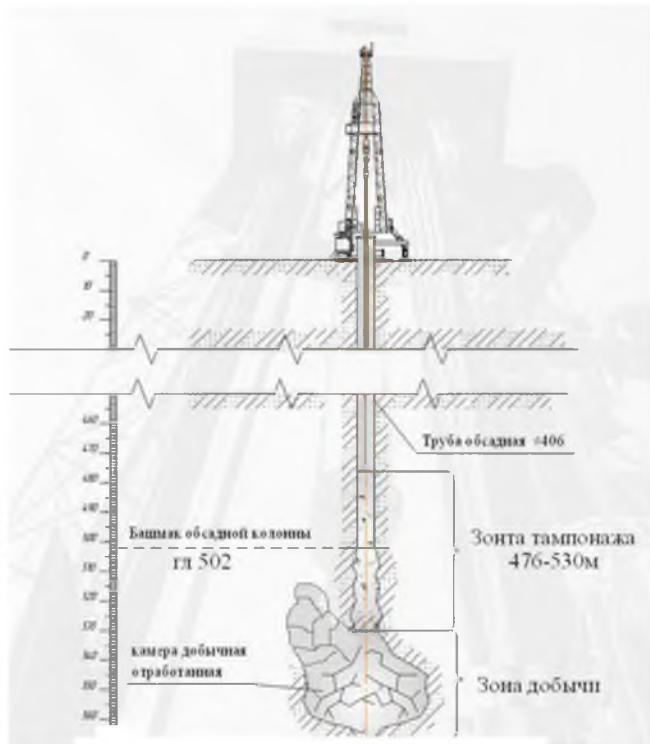


Рис. 6. Конструкция добычной скважины с вертикальным стволом

Примечание: Диаметр пульпоподъёмной колонны 324 мм; буровая труба имеет диаметр 89 мм с гидромониторной насадкой 250 мм и тремя соплами диаметром 20 мм

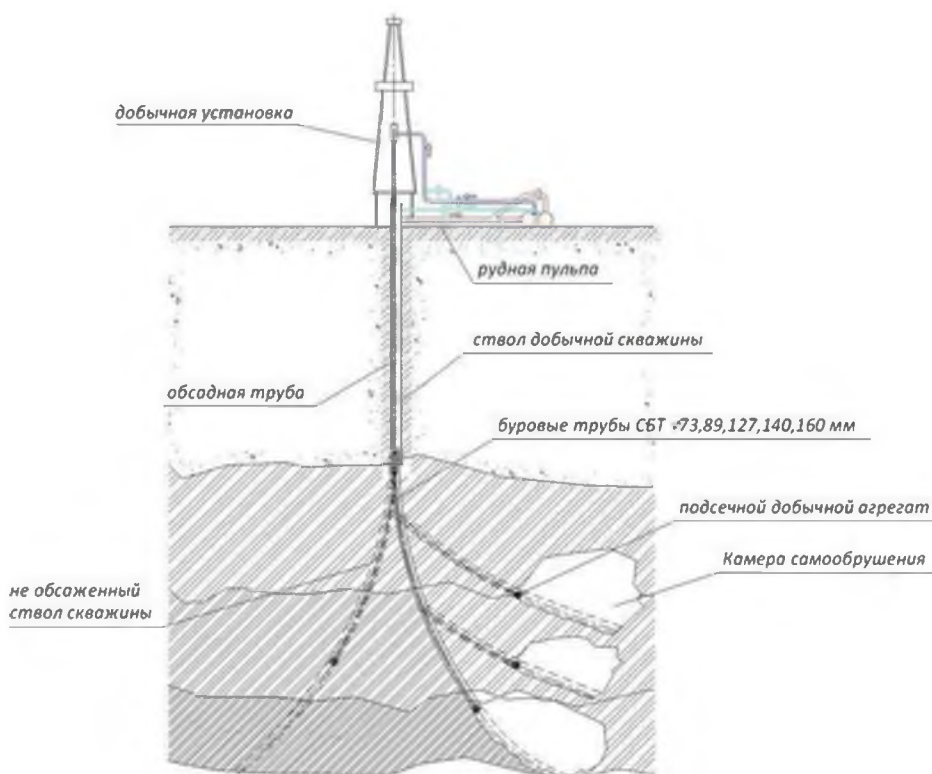
Изменение в объёме от 100 до 500 м³/час и при давлении воды от 5.0 до 10.0 МПа, подаваемой на сопла гидромонитора, практически, в выше названных условиях, не оказывают заметного влияния как на объёмные, так и на качественные показатели очистной выемки.

Шланговые и выдвигные гидромониторные системы, позволяющие приблизить гидромонитор к поверхности разрушаемого массива приводят на начальном этапе использования к росту производительности по отбиваемой горной массе и увеличению объёма очистных камер, что в свою очередь приводит к резкому снижению производительности эрлифтного подъёма рудной пульпы на поверхность, так как расстояние от «башмака» пульпоподъёмной колонны к забою изменяется в большую сторону и скорость движения частиц руды к всасу пульпоподъёмной трубы снижается в прямой зависимости от изменения объёма камеры от меньшего к большему и скорости как восходящего, так и горизонтального потока пульпы от меньшего к большему. Рост площадей обнажения и стенок камеры и ее потолочины приводит к лавинообразному обрушению руды в объёмах от сотен до нескольких тысяч тонн, вызывающих обрыв пульпоподъёмных и деформацию рабочих водоподающих буровых труб и обрыв в завале руды шлангового гидромонитора.

Проводимые опытно-экспериментальные добычные работы показали, что применение гидромониторных струй в затопленном пространстве для отбойки железной руды не рационально, т.к. ее эффективное действие распространяется не более одного метра, при этом на сопла гидромонитора необходимо подать не менее 150 м³/час воды при давлении более 5.0 МПа, что является одним из самых затратных технологических приемов.

Создание в скважине специальных очистных полостей гидромониторными струями, из-за отсутствия приборного и визуального обеспечения, слабо контролируемого по причине возможного наличия в рудной толще крепких кусков или пропластков, что приводит к неуправляемому, слабо прогнозируемому процессу очистной выемки и ожидаемому, а не плановому производству объёмов руды.

Промышленное производство железорудного сырья необходимо для обеспечения им конкретного потребителя в оговоренные объёмы и сроки. Обеспечение этих условий, по нашему мнению, возможно достигнуть за счет строительства и эксплуатации наклонно-направленных добычных скважин с использованием в них специальных механических добычных агрегатов (рис. 7), которые создают в рыхлом рудном пласте первичную отрезную полость с неустойчивой потолочиной и дальнейшее ее самообрушение в планируемых объёмах.



Применение камерно-столбовой системы разработки с самообрушением руд позволяет осуществлять переход к использованию низконапорных насосов (с увеличенной наработкой на отказ), что позволяет практически полностью поддерживать внутрипластовое давление рудных вод и исключить депрессионное воздействие на околоскважинные уровни воды и их смешивание.

Рис. 7. Усовершенствованная схема добычи богатых рыхлых железных руд с системой наклонных пульпоподъёмных стволов



Заключение

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

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

2. Сеть разведочных скважин должна быть приближена к квадратной и не реже 200x200 м. Что позволит на первом этапе 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) минерало-петрографическим характеристикам с содержанием $Fe_{\text{общ.}} > 60\%$.

4. Второй этап заключается в сгущении буровой сети до 50x50 м на наиболее перспективных для отработки участках. Это 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.

Таким образом, вышеизложенный инновационный подход в добыче богатых железных руд имеет право на существование, особенно со сложившейся современной конъюнктурой вокруг горнодобывающей промышленности. Особые требования для геологоразведочных работ применительно к методу подземной скважинной добычи составляют основание для скорейшей разработки обособленных методических указаний.

GEOLOGICAL ASPECTS DURING THE DEVELOPMENT OF DEEP DROWNED FIELD RICH IRON ORE

I.I. Nikulin

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

E-mail: iinikulin@gmail.com

Some geological and technological aspects of the work in the fields of rich iron ore, in particular Bolshetroitskoe deposit of KMA are set out. These are deposits with difficult geological and economic conditions. The basic factors when choosing a method of mining rich iron ore are offered. On the basis of the conducted geological and technological developments time criteria were singled out, which should be taken into account in the construction of mining technological wells.

Key words: rich iron ore, geological criteria, hydraulic downhole mining.