УДК 624.131.1

Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
Е.Н.ФЕЛЛЕР, *аспирант, ekaterina_feller@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professorr, regda2002@mail.ru*
E.N.FELLER, *post-graduate student, ekaterina_feller@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЯКОВЛЕВСКОМ РУДНИКЕ

Охарактеризована сложность гидрогеологических и инженерно-геологических условий Яковлевского месторождения и основные тенденции их изменения при расширении фронта горных работ и увеличении объемов добычи богатых железных руд. Отмечено, что безопасность ведения горных работ определяется образованием и развитием опасных горно-геологических процессов. Приведены основные положения прогнозирования горно-геологических процессов на Яковлевском руднике. Рассмотрена возможность возникновения прорывов подземных вод из неосушенных водоносных горизонтов. Выполнена систематизация процессов природного и природно-техногенного генезиса в пределах шахтного поля Яковлевского рудника и намечены основные направления мероприятий по повышению безопасности эксплуатации рудника.

***Ключевые слова*:** Яковлевское месторождение, богатые железные руды, водоносные горизонты, опасные горно-геологические процессы, перетекание, вывалы, прорывы, защитные целики, микробиота, систематизация процессов.

FORMATION AND DEVELOPMENT OF MINING-AND-GEOLOGICAL PROCESSES IN RELATION TO CHANGES IN ENGINEERING-GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS ON YAKOVLEVSKY MINE

Complexity of hydrogeological and engineering-geological conditions of the Jakovlevsky deposit and the basic tendencies of their change is characterized at expansion of front of mining works and increases in volumes of extraction of rich iron ores. It is noticed that safety of conducting mining works is defined by formation and development of dangerous mining-and-geological processes. Substantive provisions of forecasting of mining-and-geological processes on Jakovlevsky mine are resulted. Possibility of occurrence of underground waters breaks from undrained water bearing horizons is considered. Ordering of processes of native and native-technogenetics genesis within an allotment of Jakovlevsky mine is executed and the basic directions of actions for increase of safety of exploitation of mine are planned.

***Key words*:** The Jakovlevsky deposit, rich iron ores, water bearing horizons, dangerous mining-and-geological processes, overflowing, falling ground, breaks, protective pillars, microbiota, systematization of the processes.

Обеспечение безопасности эксплуатации уникального Яковлевского месторождения богатых железных руд (БЖР), характеризующегося весьма сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, во многом зависит от уровня опасности развития горно-геологических процессов и явлений, активизация которых наблюдается по мере расширения фронта очистных работ и увеличения объемов добычи. За 2011 г. на Яковлевском руднике было извлечено более 1 млн т руды. В дальнейшем планируется рост добычи БЖР до 2 млн т и выше 4 млн т (2016 г.).

Яковлевский рудник относится к обводненным горно-добывающим предприятиям, поскольку коэффициент водообильности, рассчитываемый как отношение годового объема откачиваемых вод из горных выработок к добыче полезного ископаемого за этот же период, составляет 19 $м^3$/т. Расчет коэффициента водообильности выполнен на конец 2011 г. При коэффициенте водообильности выше 25 $м^3$/т рудник переходит в разряд весьма обводненных. Подземные воды рассматриваются как один из значимых факторов, определяющих безопасность ведения горных работ.

Яковлевское месторождение согласно тектоническому районированию Воронежского кристаллического массива относится к раннекарельским структурам второго порядка и расположено в Белгород-Михайловской рифтовой зоне, Белгородской подзоне с высокой частотой разрывных нарушений третьего и более низкого порядка.

Рудная залежь Яковлевского рудника, залегающая на глубине более 500 м, имеет мульдообразную форму в поперечном сечении с максимальной мощностью БЖР в средней ее части. На этом же участке в пределах лежачего бока железистые кварциты отличаются моноклинальным залеганием, а в средней части залежи (и особенно в пределах висячего бока) толща пород, вмещающих БЖР, смята в складки, оси которых параллельны общему падению железистых кварцитов с углом 75-85°. Рудное тело разбито большим количеством тектонических трещин северо-западного, северо-восточного и субширотных направлений, что предопределяет формирование гравитационных процессов в кровле и в боках подземных горных выработок. При анализе причин вывалов на горизонте –370 м установлено, что 90 % вывалов происходит именно в зонах повышенной трещиноватости.

Наличие тектонических разломов в горных породах подтверждается результатами проведенной в 2010 г. радоновой съемки, выполненной на горизонтах –425 м и –370 м Н.А.Мироненковой (кафедра безопасности жизнедеятельности). Наибольшая величина эквивалентной равновесной объемной активности радона (1220 Бк/$м^3$) была зафиксирована в разведочном штреке № 5, где функционирует скважина 806 с максимальным дебитом воды до 110 $м^3$/ч.

Над рудным телом залегает мощная осадочная толща, в которой выделено шесть высоконапорных водоносных горизонтов, при этом наибольшее значение для безопасности эксплуатации рудника имеет нижнекаменноугольный горизонт, напоры которого в настоящее время достигают 350 м и постепенно снижаются со скоростью 1,5-2 м/год. Между кровлей горных выработок на горизонте –370 м и подошвой нижнекаменноугольного водоносного горизонта отсутствует выдержанный водоупор (рис.1).

Осушение только руднокристаллического водоносного комплекса на горизонте –425 м с помощью самоизливающихся наклонных скважин, пройденных в рудном теле, сформировало в нем обширную депрессионную воронку при сохранении высоких напоров в нижнекаменноугольном водоносном горизонте. Существующая разность напоров провоцирует процесс нисходящего перетекания маломинерализованных вод, содержащих H_2S, через верхнюю часть толщи рудного тела. На контакте с нижнекаменноугольным горизонтом рудное тело имеет довольно неоднородное строение, которое было изучено А.Н.Цибизовым еще на стадии проведения разведочных работ на Яковлевском месторождении (рис.2).

Дополнительно был проведен анализ формирования и изменения водопроницаемости этих типов руд с учетом влияния развития

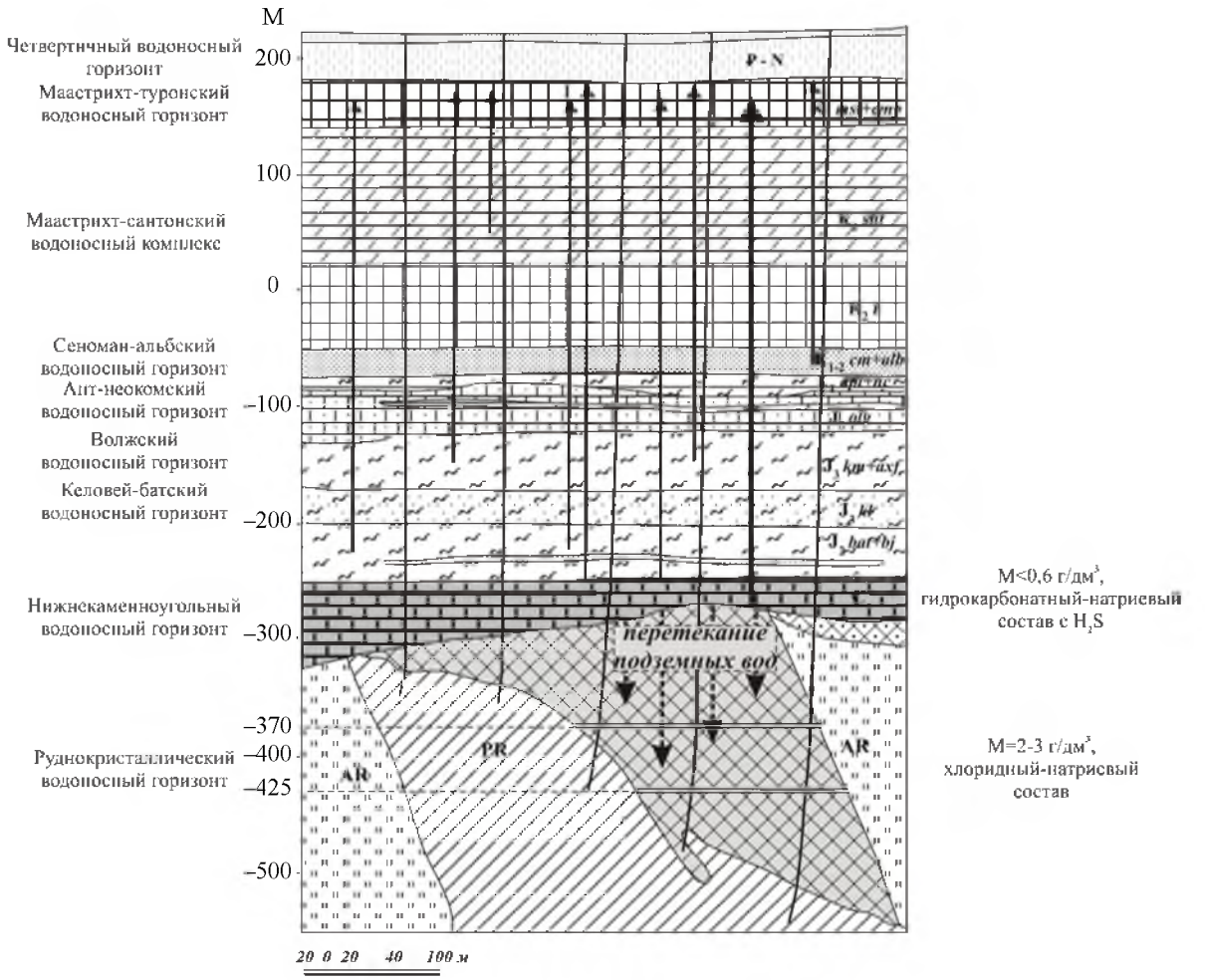


Рис. 1. Сводный гидрогеологический разрез Яковлевского месторождения (показаны напоры водоносных горизонтов до осушения)

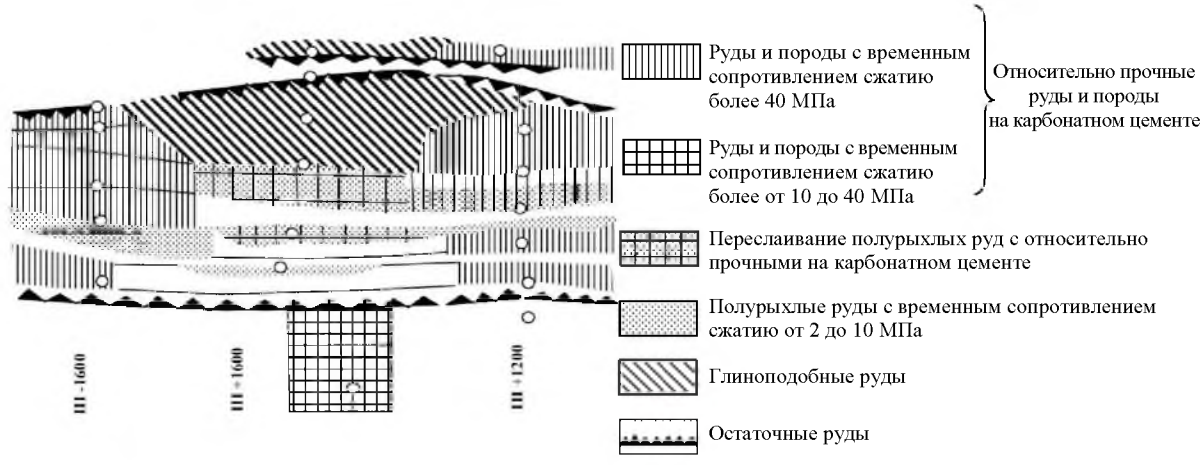


Рис. 2. Схематическая карта распространения различных типов железных руд под подошвой нижнекаменноугольного водоносного горизонта (по А.Н.Цибизову с дополнениями)

Таблица 1

Формирование проницаемости различных типов руд водозащитного целика и их устойчивости при развитии фронта очистных работ

Наименование пород и руд	Возможность перетекания из вышележащего нижнекаменноугольного водоносного горизонта	Интенсификация перетекания	Влияние горных (очистных) работ	Примечание
Относительно прочные руды и породы с временным сопротивлением сжатию от 10 до 40 МПа и более	По макро- и микротрещинам	Зависит от количества и раскрытия трещин. Определяется положением тектонических разломов	Формирование дополнительных трещин растяжения. Усиление перетекания за счет повышения коэффициента фильтрации. Разуплотнение водозащитного целика и снижение прочности руд в результате выщелачивания цемента при воздействии вод, содержащих сероводород	–
Переслаивание полурыхлых руд с относительно прочными		Зависит от соотношения мощности полурыхлых и относительно прочных руд		Развитие суффозии и контактного размыва руд
Полурыхлые руды с глинистым цементом и временным сопротивлением сжатию от 2 до 10 МПа	По микротрещинам	Зависит от степени разуплотнения руд	Снижение прочности руд за счет размокания цемента	Формирование куполов в водозащитном целике
Глиноподобные руды	По микротрещинам и порам при градиенте напора $I_{кр} > 5$ руды проницаемы	Зависит от градиента напора	Разуплотнение руд, повышение коэффициента фильтрации и снижение критического градиента напора	Активное развитие куполов в водозащитном целике

фронта очистных работ (табл.1). В данном случае рудная толща над горизонтом –370 м (отметка кровли –365 м) рассматривается как водозащитная толща, устойчивость которой будет определять безопасность ведения горных работ под неосушенными водоносными горизонтами.

Как следует из анализа табл.1, влияние очистных работ, а также процесса перетекания негативно будет сказываться на устойчивости руд в целике. Особенно опасны процессы куполения, развитие которых сейчас наблюдается на горизонте –370 м. По данным геодинамического мониторинга, проводимого кафедрой строительства горных предприятий и подземных сооружений под руководством проф. А.Г.Протосени, высота образовавшихся куполов может достигать 10 м с максимальным объемом до 440 м^3.

Формирование локальных куполов происходит за счет деформаций оседания водозащитного целика, величина которых возрастает по мере увеличения объемов добычи и недозакладки выработанного пространства, а также снижения прочности закладочного материала во времени, либо замедленного процесса его твердения. Сравнительная оценка скорости деформации оседания показала, что при увеличении добычи руд с 0,5 (2010 г.) до 1,0 млн т (2011 г.) скорость деформации также возросла в 2 раза. Максимальная абсолютная величина деформаций в конце 2011 г. достигла 400 мм, а относительные значения приближаются к 0,003, что сопоставимо с предельно допустимыми деформациями для железобетонных перекрытий зданий.

Согласно данным на рис.2 и качественным показателям табл.1 зоны повышенной и средней проницаемости занимают около 25 % площади водозащитного целика, сложены полурыхлыми рудами и переслаиванием полурыхлых и относительно прочных трещиноватых руд.

Кроме того, необходимо также оценивать возможность изменения прочности руд на карбонатном цементе при перетекании маломинерализованных, содержащих сероводород. Выщелачивание карбонатов в анаэробной среде может происходить согласно реакциям:

$$CaCO_3 + H_2S \rightarrow CaS + CO_2 + H_2O;$$
$$2CaS + 2H_2O \rightarrow Ca(HS)_2 + Ca(OH)_2;$$
$$Ca(HS)_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2S.$$

В аэробной среде H_2S окисляется до серной кислоты, которая агрессивна к карбонатам.

Глиноподобные руды и полурыхлые руды на глинистом цементе существенно снижают свою прочность до 40 % за счет размокания глинистого материала.

Образование куполов приводит к уменьшению мощности водозащитного целика, величина которого непостоянна в пределах участка первоочередной добычи богатых руд. Минимальная мощность целика фиксируется со стороны лежачего бока и составляет 50 м и далее в северном направлении возрастает до 61 м. Максимальные мощности целика в юго-восточном направлении по разведочной линии IV + 1200 достигают 72 м. Однако в северо-восточном направлении в региональном плане подошва нижнекаменноугольного горизонта снижается до отметки –323 м вблизи висячего бока.

Возможность образования локальных прорывов можно оценить по величине предельно допускаемого напора с использованием зависимости В.А.Мироненко – В.М.Шестакова

$$H_{пр} = \frac{m}{\gamma_в}\left(\gamma_п + \frac{2c}{b - \mathrm{tg}\varphi m\xi}\right),$$

где m –мощность целика, разделяющего одиночную выработку от напорного горизонта, $\gamma_в$ и $\gamma_п$ – величины плотности воды и пород (руд) целика соответственно; c и φ – сцепление и угол внутреннего трения пород целика; ξ – коэффициент бокового давления в толще пород (руд); b – ширина одиночной выработки, м.

Достоверность выполняемых расчетов будет зависеть прежде всего от показателей сопротивления сдвигу тех типов руд, которые представлены в разрезе водозащитного целика. Как следует из рис.2, к наименее прочным рудам относятся полурыхлые и глиноподобные руды. В свою очередь их параметры сопротивления сдвигу будут определяться степенью осушения пород и руд целика. В табл.2 представлены результаты экспериментальных исследований сопротивления сдвигу полурыхлых и рыхлых БЖР при их естественной влажности и в условиях полного осушения.

Согласно выполненным исследованиям, наибольшее влияние осушение оказывает на величину угла внутреннего трения, что имеет принципиальное значение для расчетов предельно допустимых напоров ($H_{пр}$) для водоносного горизонта, залегающего выше рудного тела. Все дисперсные БЖР характеризуются при их осушении постоянным значением угла внутреннего трения, равном 23°.

Следует подчеркнуть, что прочность и устойчивость БЖР определяется также развитием микробной деятельности в рудной толще, при этом на частицах руд образуются биопленки, состоящих из живых и мертвых клеток микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, в результате чего снижается угол внутреннего трения, а также сцепление при водонасыщении руд.

Таблица 2

Значение параметров сопротивления сдвигу рыхлых и полурыхлых БЖР в зависимости от влажности (осушенности)

Сцепление c, МПа	Угол внутреннего трения φ, град	Место отбора образцов	Микробная масса ММ, мкг/г	Примечание
0,16-0,53	8	Транспортный орт	71,0-123,1	Образцы естественной влажности (W = 12,5-13,6 %)
0,25-0,8	23	Экспериментальная выработка	33,2-35,0	Осушенные образцы (W = 4,1-10,8 %)
0,025-0,22	8	Экспериментальная выработка	90-110,2	Вторично увлажненные образцы (W = 11,9-13,3 %)

Примечание. Величина ММ определялась с использованием биохимического метода М.Бредфорда

Определение $H_{пр}$ выполнено для минимальных значений мощности водозащитного целика, которая составляет 50 м (без учета изменения в процессе формирования куполов) в условиях полного дренажа наиболее слабых руд, при ширине одиночной выработки, равной 5,5 м (5,3 м согласно проекту на горизонте –370 м), а также при сохранении естественной влажности при неполном осушении и вторичном увлажнении руд. Результаты расчетов приведены в табл.3. В расчетах использованы минимальные значения сцепления согласно данным табл.2.

Кроме того, выполнен расчет возможности прорыва подземных вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта при уменьшении мощности водозащитного целика при развитии куполов на высоту 10 м и сокращении его мощности до 40 м также для трех состояний наиболее слабых богатых железных руд (табл.3).

Только в случае вторично увлажненных руд величина рассчитанного предельного допустимого напора (377 м) сопоставима с реально действующими напорами $H_д = 350$ м над рудным телом, что не гарантирует устойчивость вторично обводненных руд при условии, что целик на полную мощность сложен слабейшими рудами. Однако детальные исследования, которые были выполнены еще на стадии инженерно-геологических и гидрогеологических исследований на Яковлевском месторождении, показали реальное соотношение различных типов руд в пределах исследуемой толщи водозащитного целика (табл.4).

Кроме того, согласно требованиям безопасности очистные работы на горизонте –370 м могут вестись только в условиях полного осушения руд и пород и, прежде всего, водозащитного целика.

Полнота оценки развития горно-геологических процессов на Яковлевском руднике должна базироваться также на ряде факторов, которые до настоящего времени не изучались в практике ведения горных работ. К ним могут быть отнесены проявления радона на различных горизонтах, а также активная микробная деятельность на Яковлевском руднике. Впервые микробная деятельность на Яковлевском руднике была установлена в 2004 г. и ее изучение продолжается до настоящего времени. Микробиологические исследования включены в структуру и содержание комплексного мониторинга [1].

Таблица 3

Значения $H_{пр}$ и возможность возникновения прорыва при варьировании параметров сцепления, угла внутреннего трения и степени осушения

Степень обводнения руд	Удельный вес γ, кН/м^3	Сцепление c, МПа	Угол внутреннего трения φ, град	tgφ	Предельно допустимый напор, м	Возможность прорыва
Осушенные	31,0	0,25	23	0,424	–	Теоретически невозможен
Неосушенные	32,5	0,16	8	0,140	2137,8 / 1710,2	Невозможен
Вторично увлажненные	32,5	0,025	8	0,140	471,1 / 376,9	Невозможен

Примечание. В числителе величина мощности водозащитного целика равна 50 м, в знаменателе – 40 м.

Таблица 4

Объемное процентное соотношение различных по прочности и физическому состоянию руд в пределах характерных горизонтов Яковлевской залежи [3]

Горизонты	Типы руд					
	Относительно прочные руды с временным сопротивление сжатию		Переслаивание полурыхлых руд с относительно прочными	Полурыхлые	Рыхлые	Глиноподобные
	более 40 МПа	от 10 до 40 МПа				
–300- –330	26	42	8	18	2	4
–330 - –380	15	34	16	30	1	4

В период 2008-2010 гг. из-за простаивания рудника, снижения подачи воздуха в горные выработки, формирования застойного аэродинамического режима с повышением влажности и температуры отмечался рост численности и активности деятельности микроорганизмов. Число видов микромицетов повысилось до 28 вместо 20 ранее выявленных. Почти все зафиксированные виды микромицетов известны как активные биодеструкторы различных строительных материалов. Кроме того, в 2010 г. впервые зафиксировано присутствие в горных выработках плодовых тел базидиальных грибов из рода *Pleurotus*, которые способны разрушать стальные конструкции. Большинство выявленных видов относится к несовершенным грибам и развиваются на дереве, используемом для забутовки при креплении горных выработок [2].

Микробная деятельность рассматривается как один из негативных факторов, влияющих на прочность и деформационную способность дисперсных руд, а также на биокоррозию конструкционных материалов, в том числе на прочность закладочных смесей.

Известно, что небольшие дозы радиации до 105 Бк/м^3 положительно влияют на рост и развитие микроорганизмов, а радиационное излучение в дозах, действующих на руднике, способствует активизации деятельности микроорганизмов и росту их численности. Изученные сообщества микроорганизмов отнесены к активным биодеструкторам бетонов, металла, дерева и текстиля, что необходимо учитывать при оценке длительной устойчивости различного типа крепей.

Горные породы при радиационном облучении расширяются с образованием микро- и макротрещин. По данным экспериментальных исследований наибольшее расширение отмечалось в песчаниках и гранитах. Радиационное облучение негативно воздействует на механические свойства бетонов и приводит к снижению прочности от 20 до 90 %, в зависимости от условий облучения, длительности его воздействия, состава цемента и заполнителя.

Устойчивость основных минералов при радиации определяется совершенством их кристаллического строения и снижается по мере перехода от кварца к глинистым минералам: кварц → микроклин → каолинит → гидрослюда → монтмориллонит. Основные дефекты в пакетной части глинистых минералов развиваются при действии радиационного облучения, составляющего 10^5-10^6 Гр, при этом активизируется процесс разрушения алюмосиликатного ядра глинистых минералов. Кроме того, увеличивается содержание фракции 0,001-0,002 мм за счет разрушения агрегатов фракций 0,01-0,002 мм, а также развивается трещиноватость пород и происходит радиологическое газообразование с выделением свободного кислорода, азота и углекислого газа. Стоить отметить, что при радиолизе воды создаются восстановительные условия, при которых протекают электрохимические процессы разрушения металлов. Один из элементов, образующихся при радиолизе поровой воды, – перекись водорода, способная растворять металл.

Прогнозирование возникновения и развития горно-геологических процессов на горизонтах –425 и –370 м на Яковлевском руднике необходимо рассматривать для оценки устойчивости подземных выработок и соответственно для безопасности ведения горных работ при добыче железных руд. С этой целью составлена систематизация процессов природного и природно-техногенного генезиса на Яковлевском руднике (табл.5).

Учитывая опасность развития горно-геологических процессов на горизонте –370 м, необходимо предусмотреть ряд превентивных мероприятий по обеспечению безопасности ведения горных работ при постепенном наращивании годовых объемов добычи БЖР. Ускорение снижения напоров нижнекаменноугольного водоносного горизонта с использованием дополнительных дрен – восстающих скважин на горизонте –425 м. В настоящее время практически отсутствует рост притоков в горные выработки, а насосное оборудование рудника обеспечивает возможность откачивать до 2500 м^3 подземных вод в час.

Прогнозирование развития опасных горно-геологических процессов и явлений на Яковлевском руднике должно базироваться на следующих принципиальных положениях.

Таблица 5

Систематизация процессов природного и природно-техногенного генезиса в пределах шахтного поля Яковлевского рудника (в подземных горных выработках и на земной поверхности)

Генетический тип процесса	Уровень опасности*	Наименование процесса	Основные факторы, определяющие развитие процесса	Масштаб проявления	Развитие во времени	Негативные последствия процесса
			Горизонт –370 м (*ведение очистных работ с полной закладкой выработанного пространства песчано-цементной смесью*)			
Экзогенный (природно-техногенный)	Высокий	Прорыв подземных вод из неосушенного высоконапорного нижнекаменноугольного водоносного горизонта	Уменьшение прочности пород и руд защитного целика; превышение предельно допустимых относительных деформаций прогиба	Локальный в зонах вторичного увлажнения подземных вод, содержащих H_2S	Часы	Локальное затопление горных выработок
		Деформации водозащитного целика (кровля выработок)	Недозакладка выработанного пространства, низкое качество закладочного материала (прочность, водо- и биоустойчивость)	Локальное, в зонах нарушения технологии ведения очистных и закладочных работ и вторичного увлажнения	Месяцы	Формирование локальных куполов в кровле выработок, приводящее к уменьшению мощности водозащитного целика
		Переход рыхлых богатых железных руд в состояние плывунов	Вторичное увлажнение за счет нисходящего перетекания подземных вод	Узко-локальное	Часы, недели	Локальное нарушение устойчивости кровли и боков выработки при ведении очистных работ
		Активизация микробной деятельности в рыхлых и полурыхлых богатых железных рудах	Перетекание вод из нижнекаменноугольного водоносного горизонта и контаминация руд горючесмазочными материалами	Локальное (пункт обслуживания самоходного оборудования)	Месяцы	Ускорение и усиление биокоррозионных процессов конструкционных материалов (металлической крепи и закладочной смеси)
		Коррозия закладочного материала	Физические, физико-химические, химические и биохимические процессы, связанные с агрессивностью богатых железных руд и подземных вод	Локальное	Месяцы, реже годы	Снижение прочности закладочного материала во времени, приводящее к развитию деформаций прогиба защитного целика, формирование вывалов и местных куполов
			Горизонт –425 м (*капитальные и подготовительные выработки, осушение руднокристаллического водоносного горизонта*)			
Экзогенный (природно-техногенный)	Средний	Вывалы горных пород и прочных руд	Наличие плоскостей ослабления, «зеркала» скольжения, крутое залегание пород, тектоническая трещиноватость, вторичное увлажнение пород и руд по трещинам	В зоне штрека висячего бока в условиях преобладания в разрезе рудных и безрудных сланцев	Подготовка вывалов – месяцы, развитие процесса – минуты	Нарушение стабильности ведения горных работ, материальные затраты на ликвидацию последствий

Генетический тип процесса	Уровень опасности*	Наименование процесса	Основные факторы, определяющие развитие процесса	Масштаб проявления	Развитие во времени	Негативные последствия процесса
Экзогенный (природно-техногенный)	Средний	Развитие плывунов в рыхлых рудах («синьках»)	Вторичное увлажнение и активизация микробной деятельности вплоть до биохимического газообразования	Узко-локальный в зоне вскрытия рыхлых богатых железных руд	Часы, недели	Местное нарушение устойчивости кровли и боков горных выработок
		Фильтрационные деформации в рыхлых и полурыхлых богатых железных рудах при осушении руднокристаллического горизонта и нисходящего перетекания	Неоднородность гранулометрического богатых железных руд и величина гидродинамического давления, зависящего от градиента напора J	Локальные в зонах действия максимальных градиентов напора. При $J \geq 1{,}0$ наблюдается развитие суффозии в «синьках», $J > 10{,}0$ – в «красках»	Постоянное проявление	Местное разуплотнение рыхлых и полурыхлых богатых железных руд, вынос заполнителя трещин в межрудных сланцах и кварцитах, сопровождающееся активизацией и расширением площадей вывалов
		Развитие биохимических и физико-химических процессов в породах и рудах, прогрессирующее разрушение крепей	Дополнительное поступление микробиоты при перетекании подземных вод из нижнекаменноугольного горизонта, застойные явления в горных выработках из-за снижения интенсивности их вентиляции	Локальный в зонах перетекания подземных вод из нижнекаменноугольного горизонта и плохо вентилируемых выработках	Постоянное проявление	Снижение прочности полурыхлых и рыхлых богатых железных руд, биокоррозия металлической крепи и деревянной забутовки за счет развития на ней базидиальных грибов, микромицетов и бактерий
		Горизонты –425 и –370 м				
Эндогенный (природный)	Проблематично опасный	Радиолиз горных пород, руд и конструкционных материалов при эксгаляции радона и других радионуклидов	Связано с глубинными процессами и радиоактивностью пород и подземных вод	В зонах тектонических разломов	Постоянное по мере расширения фронта горных работ	Снижение прочности горных пород, руд и конструкционных материалов, активизация деятельности микроорганизмов при величине активности меньше 105 Бк/дм^3 (на Яковлевском руднике до 86 Бк/дм^3)
		Земная поверхность шахтного поля				
Экзогенный (природно-техногенный)	От высокого до незначительного**	Оседание земной поверхности	Изменение напряженно-деформируемого состояния горных пород и руд при проходке подземных выработок и осушении высоконапорных водоносных горизонтов	Локальный с наибольшей осадкой до 10 см (2012 г) в зоне максимального понижения напоров руднокристаллического водоносного горизонта	Постоянное развитие во времени с минимальными скоростями	Деформации зданий и сооружений, эксплуатируемых в пределах мульды оседания земной поверхности

* Уровень опасности для обеспечения нормальных условий ведения горных и очистных работ.

** В зависимости от величины деформации, скорости ее развития и податливости конструкций зданий к величине абсолютной осадки и их неравномерности

1. Особенности структурно-тектонических условий района Яковлевского месторождения БЖР, которые характеризуются наличием тектонических разломов различного порядка, определяющим блоковое строение и специфику залегания рудной толщи, степень дезинтегрированности пород, вмещающих рудное тело.

2. Квазизональное строение рудного тела, что находит свое выражение в изменчивости состава и физико-механических свойств различного типа руд по глубине и по площади их развития.

3. Влияние гидродинамических условий на устойчивость квазизональной толщи пород и руд различного типа, прежде всего, на состояние мелко- и тонкодисперсных разностей руд со слабыми структурными связями, для которых характерно наиболее высокое содержание железа.

4. Воздействие маломинерализованных вод, содержащих сероводород, при их перетекании через карбонатизированные разности железных руд, что приводит к разрушению цементационных связей в рудах и последующему снижению их прочности.

5. Изменение напряженно-деформируемого состояния массива с анизотропным строением за счет присутствия в разрезе рудной толщи жестких (высокомодульных) и слабых (низкомодульных) типов руд и пород, наличия локальных зон ослабления в условиях их переменного увлажнения.

6. Активизация деятельности древних и привнесенных форм микроорганизмов, а также развитие макроорганизмов в подземных горных выработках, воздействие которых снижает прочность дисперсных руд и разрушает материалы крепей (металл, дерево, бетон, в том числе закладочный материал) за счет развития биокоррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дашко Р.Э.* Микробная деятельность в подземных выработках и ее влияние на свойства богатых железных руд и конструкционных материалов / Р.Э.Дашко, А.В.Волкова, Д.Ю.Власов // Записки Горного института. СПб, 2006. Т.168.

2. *Дашко Р.Э.* Комплексный мониторинг подземных вод на Яковлевском месторождении богатых железных руд и его роль в повышении безопасности ведения горных работ в условиях неосушенных водоносных горизонтов / Р.Э.Дашко, Е.Н.Ковалева // Записки Горного института. СПб, 2011. Т.190.

3. *Цибизов А.Н.* Опыт инженерно-геологического анализа структуры рудного тела Яковлевского месторождения (по материалам разведки) // Вопросы геологии, инженерной геологии и гидрогеологии месторождений КМА. М., 1962.

REFERENCES

1. *Dashko R.E, Volkova A.V., Vlasov D.J.* Microbic activity in underground developments and its influence on properties of rich iron ores and constructional materials // The Proceeding of the Mining Institute. Saint Petersburg, 2006. Vol.168.

2. *Dashko R.E., Kovaleva E.N.* Complex monitoring of underground waters on the Yakovlevsky deposit of rich iron ores and its role in increase of mine works conducting safety in the conditions of not drained water-bearing horizons // The Proceeding of the Mining Institute. Saint Petersburg, 2011. Vol.190.

3. *Tsibizov A.N.* Experience in engineering-geologic analysis of the structure of the ore body Yakovlevsky deposit (based on intelligence). Issues of geology, engineering geology and hydrogeology of deposits KMA. Moscow, 1962.