Горное дело
Mining

УДК 553.632:622.14

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ ЗАТОПЛЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ ПРИ ПРОРЫВАХ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В.П.ЗУБОВ, *д-р техн. наук, профессор, spggi_zubov@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия
А.Д.СМЫЧНИК, *д-р техн. наук, технический директор, a.smychnik@k-potash.ru*
ООО «Стриктум», Калининград, Россия

В статье приведены результаты анализа факторов, влияющих на вероятность аварийных прорывов подземных вод в горные выработки калийных, калийно-магниевых и соляных рудников. Описаны случаи затопления рудников при отработке соляных месторождений в странах, развитых в области горного дела. Показано, что при современном научном и техническом уровне решения этой проблемы прорыв подземных вод в калийный рудник, как правило, приводит к его закрытию и негативным экологическим последствиям. Отмечено, что каналами катастрофических поступлений подземных вод в рудники являлись водопроводящие трещины как природного, так и техногенного происхождения, прогнозирование мест расположения которых и их влияние на вероятность затопления рудника на стадиях проектирования практически было невозможно в рамках действующих нормативных документов. Сформулирована концепция снижения рисков затопления калийных рудников при прорывах в горные выработки подземных вод. Рассмотрены организационно-технические мероприятия, позволяющие снизить риски затопления рудников при прорывах в горные выработки подземных вод.

***Ключевые слова*:** калийные и калийно-магниевые месторождения, прорывы подземных вод, водопроводящие трещины, снижение рисков затопления рудников.

К числу актуальных проблем горной науки относится предотвращение катастрофических аварий на калийных, калийно-магниевых и соляных рудниках, связанных с прорывами в горные выработки подземных вод. При современном научном и реальном техническом уровне решения этой проблемы прорыв подземных вод (рассолов) в рудник приводит, как правило, к его затоплению, потере запасов ценных полезных ископаемых, деформациям и провалам земной поверхности, значительным экономическим ущербам и негативным экологическим последствиям. Об этом убедительно свидетельствует история освоения соляных месторождений в различных странах мира: Верхнекамского в России, Саскачеванского в Канаде, Сент-Поль в Конго, Солотвинского на Украине [2, 3, 6, 7]. По данной причине была прекращена работа на десятках рудников в Германии.

Над шахтными полями затопленных рудников в небольшие промежутки времени формируются провалы (рис.1), имеющие форму воронки, глубиной, исчисляемой десятками метров, и размерами на уровне земной поверхности до 300-410 м.

Из семи российских рудников на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей в течение последних тридцати лет два рудника затоплены и в одном прекращены горные работы в результате прорывов подземных вод в подземные выработки. При этом произошло не менее пяти крупных провалов земной поверхности. Так в результате прорыва рассолов, находящихся над продуктивной толщей (блок № 8, 4-я западная панель), в июле 1986 г. произошло затопление Третьего Березниковского рудника с потерей запасов около

а



б



Рис. 1. Провалы земной поверхности при затоплении Первого Березниковского калийного рудника (*а*) и рудника «Соликамск-2» (*б*) ОАО «Уралкалий» (фотографии пресс-службы ОАО «Уралкалий»)

300 млн т. Промежуток времени между первыми проявлениями рассолов в выработках блока №8 и затоплением рудника составил около шести месяцев. В результате последующего выщелачивания солей произошло обрушение пород подработанной толщи с образованием на поверхности провала в виде воронки, размеры сечения которой на уровне земной поверхности составляют: длина до 80 м, ширина до 50 м.

Следует отметить, что рудник характеризовался передовыми технологиями ведения горных работ и управления состоянием горного массива. В блоке № 8 отрабатывали только один пласт Кр II с оставлением податливых целиков.

В октябре 2006 г. из-за прорыва надсолевых рассолов в выработанное пространство 4-й западной панели прекращены работы на Первом Березниковском калийном руднике (БКРУ-1) ОАО «Уралкалий». Через девять месяцев (28.07.2007) над местом прорыва обра-

зовался провал, сечение которого на уровне дневной поверхности имело форму эллипса с размерами большой и малой осей соответственно равными 50 и 70 м. Глубина провала превышала 15 м. Приток надсолевых вод в рудник составлял около 5500 м^3/ч. В дальнейшем внешние размеры воронки провала (рис.1, *а*) постепенно увеличились, к концу 2008 г. воронка в верхней части имела размеры 300-410 м.

Отработка пластов В, АБ и Кр II в районе прорыва велась на глубине 280 м с использованием камерной системы разработки. При этом пласт АВ отработан в 1965 г., пласт Кр II в 1977 г. Выработанное пространство до 1999 г. заполнено закладочными материалами с полнотой закладки 80 %. Мощность водозащитной толщи составляла около 100 м.

Из-за значительно возросших объемов притоков подземных вод в горные выработки 18.11.2014 остановлена работа калийного рудника «Соликамск-2» ОАО «Уралкалий». Пиковый приток составлял 8-10 тыс.м^3 в час. Появилась информация (рис.1, *б*) о провале земной поверхности над шахтным полем рудника с размерами 20×30 м. К марту 2015 г. размеры провала на уровне поверхности увеличились до 90-109 м.

По данным УрО РАН и специалистов ОАО «Уралкалий» место притока рассолов в подземные выработки рудника «Соликамск-2» совпадает с местом массового разрушения горным давлением междукамерных целиков, произошедшего на этом же руднике в январе 1995 г. Целики были разрушены на площади с размерами 750×950 м. В результате на земной поверхности образовалась мульда оседания глубиной 4,4 м. Разрушение целиков сопровождалось техногенным землетрясением.

В течение последующих 18 лет на этом участке шахтного поля все было относительно стабильно. В 1997 г. была начата гидрозакладка камер на участках, прилегающих к аварийному участку. Ко времени аварийных притоков подземных вод в рудник «Соликамск-2» (ноябрь 2014 г.) по данным ОАО «Уралкалий» было заложено около 70 % пустот.

В феврале 2008 г. катастрофические провалы, связанные с неконтролируемым процессом затопления подземных горных выработок, привели к прекращению работ на соляных шахтах № 8 и 9 Солотвинского солерудника (Закарпатская обл., Украина). Притоки воды в шахту № 8 достигали 100 м^3/ч, в шахту № 9 – 300 м^3/ч. Глубина провалов поверхности, имеющих форму кратеров, достигает 60 м, диаметр 300-400 м.

В 1977 г. в результате прорыва подземных вод в разведочную выработку были прекращены горные работы и затоплен рудник, пущенный в эксплуатацию в 1969 г. на месторождении Сент-Поль в Конго с производственной мощностью 5 млн т руды в год.

При затоплении рудника «Финенбург» (Германия) на земной поверхности образовалась воронка глубиной более 30 м и диаметром около 100 м.

Безопасность рудника в соответствии с действующими нормативными документами обеспечивается при сохранении между продуктивными пластами и водоносным горизонтом целостности водозащитной породной толщи (ВЗТ), исключающей возможность перетекания воды в подземные горные выработки.

Опыт отработки соляных месторождений показывает, что основными причинами прорывов воды в подземные горные выработки являются:

• водопроводящие трещины в водозащитной породной толще между подземными горными выработками рудника и водоносными горизонтами;

• потеря герметичности скважин, расположенных в зонах сдвижений подрабатываемых породных толщ.

Возникновение водопроводящих трещин в ВЗТ между подземными горными выработками рудника и водоносными горизонтами может быть связано (рис.2) как с тектоническими процессами в горном массиве до начала и в период отработки месторождения, так и с горными работами. Водопроводящие трещины, образование которых связано с тектоническими процессами в горном массиве до начала отработки месторождения, как правило, находятся в пределах зон дизъюнктивных геологических нарушений.

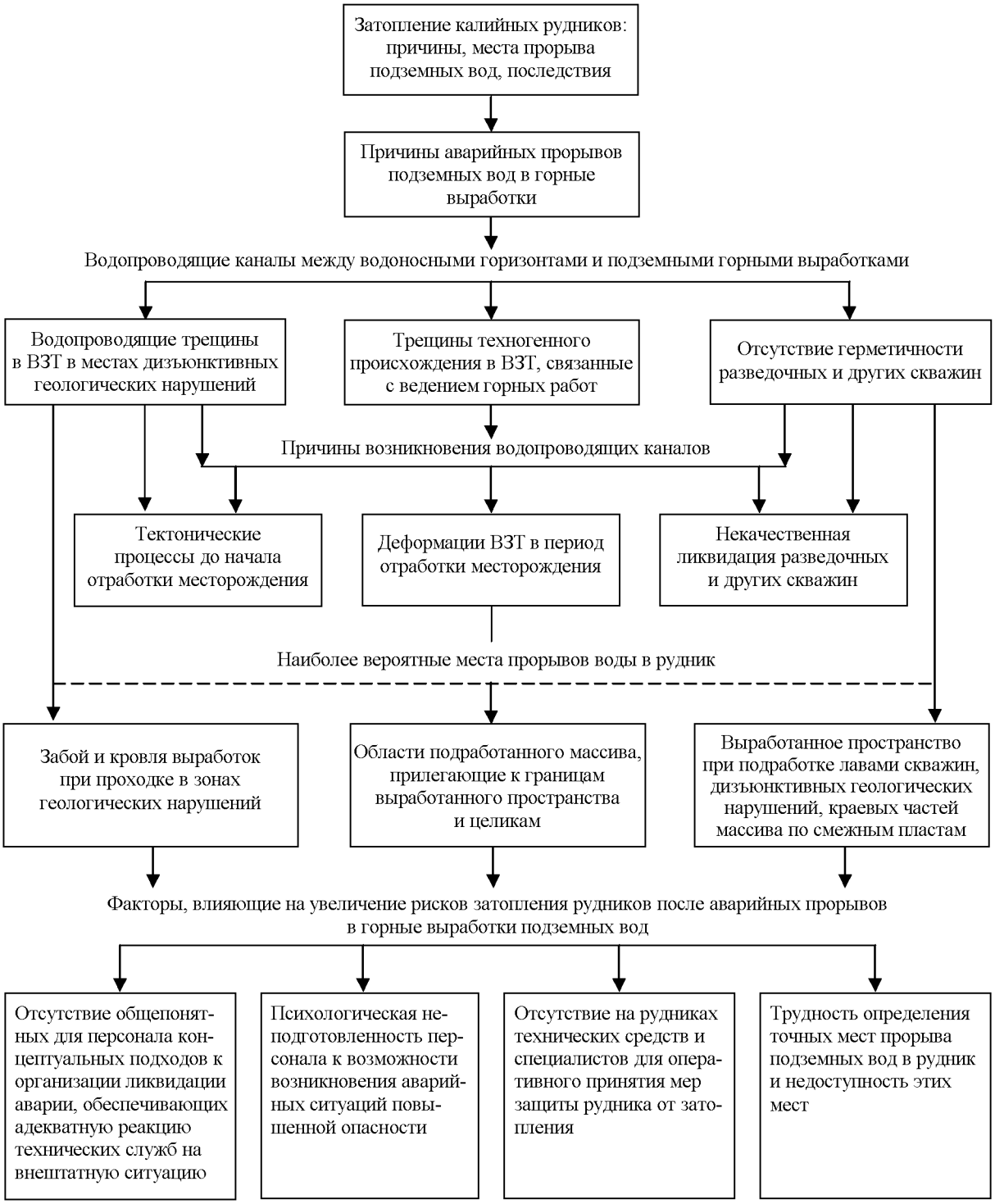


Рис.2. Причины прорывов подземных вод в подземные выработки калийных рудников и факторы, влияющие на риски затопления

Месторасположение водопроводящих трещин техногенного происхождения, формирующихся в подрабатываемом массиве в процессе отработки месторождения, может быть практически любым и зависит главным образом от размеров отработанных площадей шахтного поля, величины коэффициента извлечения полезного ископаемого и пустых пород, способа управления горным давлением, физико-механических свойств соляных пород [1],

принятой системы разработки и ее параметров. При прочих равных условиях к наиболее вероятным местам образования водопроводящих трещин техногенного происхождения относятся:

• подработанные области ВЗТ, осложненные геологическими нарушениями разрывного типа;

• подработанные области ВЗТ, расположенных на удалении $S \approx h \cdot \mathrm{ctg}\varphi$ от краевых частей массива и целиков полезного ископаемого (здесь h – расстояние от отрабатываемого пласта до пород водозащитной толщи; φ – угол полных обрушений пород кровли в выработанном пространстве у краевых частей целиков или массива полезного ископаемого).

Опыт эксплуатации калийных и калийно-магниевых месторождений в различных странах мира показывает, что надежная прогнозная оценка степени опасности возникновения водопроводящих трещин в ВЗТ на участках с аномальным геологическим строением во многих случаях практически невозможна, так как зависит от значительного числа взаимовлияющих геологических и горно-технических факторов, имеющих в большинстве случаев случайный характер.

Существенное влияние на вероятность образования и раскрытия трещин техногенного и тектонического происхождения оказывает «фактор времени», что объясняется характером деформирования соляных пород под воздействием внешних нагрузок, их склонностью к продолжительному деформированию (ползучести) до перехода в предельное состояние и разрушение. Фактор времени характеризуется длительностью нахождения рассматриваемой области горного массива в определенных геологических и горно-технических ситуациях. Фактами, подтверждающими важность учета временного характера деформирования соляных пород при проектировании технологических схем калийных рудников, являются массовые разрушения целиков в выработанных пространствах рудников и прорывы подземных вод в выработанные пространства блоков через значительные промежутки времени (до 19 лет, рудник «Соликамск-2») после завершения отработки данных блоков. Следует отметить, что влияние фактора времени в явном виде не учитывается в методиках [4, 5] расчета ВЗТ, применяемых при проектировании калийных рудников.

В мировой практике известны и активно развиваются специальные способы предотвращения затопления калийных рудников после аварийных прорывов в горные выработки подземных вод. К числу таких способов относятся: закачка тампонажных растворов в водопроводящие каналы между водоносными горизонтами и подземными горными выработками; закладка выработок, прилегающих к местам прорыва подземных вод, твердеющими материалами; закачка в подземные выработки рассолов; цементация или битумизация пород в окрестности выработок; установка в выработках водонепроницаемой крепи; повторный тампонаж скважин; установка водонепроницаемых перемычек и др. К числу необходимых условий для эффективной реализации этих способов относится наличие полных и достоверных данных о горно-геологических условиях залегания пород подработанной толщи в месте прорыва и параметрах источника подземных вод, местоположении верхнего контакта водопроводящего канала относительно водоносного горизонта и горных выработок. Как правило, эти данные во многих случаях отсутствуют.

Принимать решения приходится в условиях практически полной неопределенности исходной информации, необходимой для осуществления конкретных мероприятий, связанных с предотвращением затопления рудника. Это оказывает отрицательное влияние как на качество планов ликвидации аварий, так на психологические аспекты поведения ведущих специалистов в аварийной ситуации.

Учитывая изложенные обстоятельства, а также высокую экономическую и социальную цену последствий затопления рудника, необходимо при проектировании его технологической схемы с использованием традиционных технологий, разработке календарных планов

отработки продуктивных пластов и планов ликвидации аварий исходить из предположения о неизбежности возникновения водопроводящих трещин в ВЗТ и прорывов подземных вод (рассолов) в рудник в следующих ситуациях:

• в подработанных областях ВЗТ, осложненных дизъюнктивными геологическими нарушениями;

• в выработанном пространстве отработанных блоков (участков, панелей) на расстоянии от неподвижных границ целиков и краевых частей массива полезного ископаемого $S \approx h \cdot \mathrm{ctg}\varphi$;

• в подработанных областях ВЗТ, содержащих ранее ликвидированные скважины.

В зависимости от конкретного сочетания горно-технических и горно-геологических условий ведения горных работ водопроводящие трещины могут возникать как непосредственно при создании указанных ситуаций, так и через значительные промежутки времени, исчисляемые десятками лет.

Принятие концепции о неизбежности возникновения водопроводящих трещин в ВЗТ и прорывов подземных вод (рассолов) в рудник требует новых подходов к проектированию технологических схем калийных рудников и планов ликвидации аварий.

К числу принципиальных положений следует отнести:

1. Необходимость использования «сотовой» схемы подготовки шахтного поля, предусматривающей разделение шахтного поля на отдельные участки (блоки, соты), изолированные водонепроницаемыми за время отработки шахтного поля целиками полезного ископаемого. В выработках, проходимых между смежными блоками, должна быть предусмотрена возможность автоматизированного возведения в минимально возможные сроки водонепроницаемых перемычек, позволяющих надежно изолировать затопляемый блок и, в конечном итоге, предотвратить потерю рудника.

2. Шахтные поля и их отдельные изолированные участки необходимо отрабатывать в восходящем порядке, что позволит при прорывах в рудник подземных вод использовать выработанные пространства в качестве временных или постоянных мест их размещения.

Размеры изолированных участков, их конфигурация и расположение в шахтном поле принимаются на основе технико-экономической оценки экологически безопасных вариантов с учетом конкретных горно-геологических и гидрогеологических условий.

При аварийных прорывах подземных вод в горные выработки калийных рудников необходимо рассматривать качественно различные мероприятия, предусматривающие:

• возведение на первом этапе в подземных выработках водонепроницаемых перемычек, оперативно изолирующих затопляемый участок от других подземных выработок рудника;

• тампонирование водопроводящих трещин между водоносными горизонтами и подземными горными выработками путем нагнетания тампонажных растворов, а также инъекции в них химических составов на основе высокомолекулярных соединений, например, уретана, образующих в воде нерастворимый гель;

• возведение в выработках специальных сооружений – «ловушек» для подземных вод с последующим их отводом в нижерасположенные выработанные пространства или на земную поверхность.

В качестве примера на рис.3 приведена конструкция ловушки для подземных вод, на рис.4 – способ тампонажа водопроводящих трещин, рекомендованные для использования при ликвидации аварии, связанной с прорывом подземных вод (2011 г.) в разведочную выработку Второго калийного рудника ОАО «Беларуськалий».

Ловушка для подземных вод состоит из постоянных сдвоенных перемычек 4, 6. На участке между сдвоенными постоянными перемычками по всему контуру сечения выработки 2 возводится крепь из водонепроницаемых материалов. В перемычке 4, расположенной со стороны поступления подземных вод 1, устанавливают постоянно открытые трубы 5 для перепуска подземных вод на участок подземной выработки, расположенный между сдвоенными

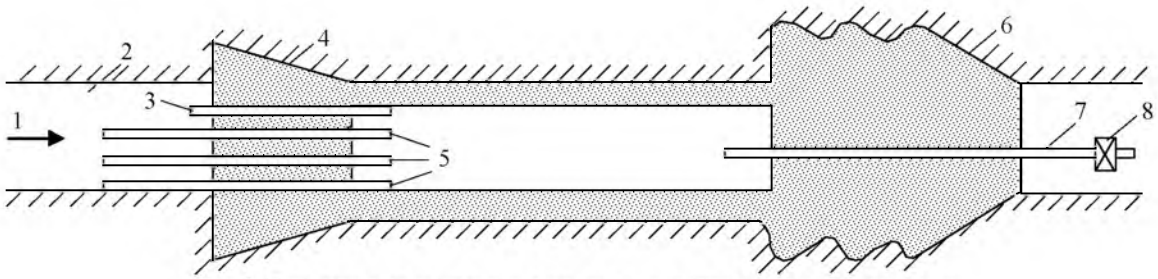


Рис.3. Сдвоенная постоянная перемычка – «ловушка» для подземных вод

перемычками. Труба 3 предназначена для выхода воздуха. Несущую способность перемычки 6 принимают больше давления, создаваемого на данную перемычку подземными водами при высоте столба, равного расстоянию от подземной выработки до верхней границы водоносного горизонта.

При заполнении участка штрека между сдвоенными перемычками 4 и 6 рассолом и фактическом давлении подземных вод на перемычку 6, не превышающем ее несущей способности, производят откачку рассолов на поверхность или в специальные выработки, расположенные в выработанном пространстве.

Отвод подземных вод из участка выработки, расположенного между сдвоенными перемычками 4 и 6, осуществляют через оборудованные задвижками 8 трубы 7, установленные в перемычке 6, или через скважины, пробуренные между поверхностью и подземной выработкой.

При реализации способа тампонажа водопроводящих трещин (рис.4) ось скважины 4, предназначенной для подачи твердеющих материалов, проходит через точку, расположенную впереди забоя выработки 1. Нагнетание по скважине 4 твердеющих материалов производят периодически, после бурения скважины на длину, равную глубине b проникновения твердеющего материала в породный массив впереди забоя скважины. Конечную длину скважины принимают равной глубине расположения подземной выработки от поверхности. При этом расстояние l от забоя подземной выработки 1 до скважины 4 определяют из выражения

$$a < l \le r,$$

где a – ширина подземной выработки; r – глубина проникновения твердеющего материала в породный массив в плоскостях, параллельных плоскостям напластования пород.

Проблема предотвращения прорывов подземных вод и затопления соляных рудников на всех этапах отработки калийных месторождений может быть решена при создании в выработанных пространствах закладочных массивов с параметрами, исключающими возможность возникновения между водоносными горизонтами и продуктивными пластами опасных водопроводящих трещин. Использование технологий с закладкой, удовлетворяющей указанному требованию, минимизирует влияние как всех

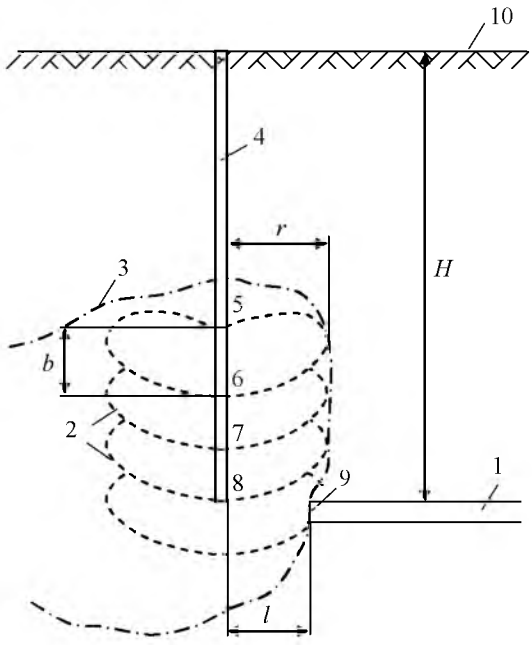


Рис.4. Способ тампонажа при вскрытии выработкой водопроводящих трещин

1 – выработка; 2 – границы области породного массива, в которую произведено нагнетание твердеющего материала; 3 – граница зоны геологического нарушения; 4 – скважина; 5-8 – места расположения забоя скважины; 9 – забой выработки (место поступления в выработку подземных вод); 10 – земная поверхность

рассмотренных факторов (см. рис.2), так и субъективных факторов (квалификация исполнителей и др.), связанных непосредственно с отработкой соляных месторождений. Причиной, по которой данная идея не реализуется недропользователем на практике в полной мере, являются дополнительные эксплуатационные затраты на закладку выработанных пространств. Следует отметить, что эти затраты не выглядят существенными с государственной точки зрения при полном учете всех отрицательных последствий прорывов подземных вод в соляной рудник, в том числе экономических, связанных с потерей запасов ценного полезного ископаемого; экологических, обусловленных провалами земной поверхности и потерей запасов пресной воды; социально-экономических, связанных с потерей высокооплачиваемых рабочих мест и переселением людей, проживающих на опасных территориях.

Выводы

1. В качестве основной причины затопления калийных рудников, как правило, указывают несоответствие принятой системы разработки фактическим геологическим условиям ведения горных работ. Опасность данных выводов, которые часто делаются без достаточных оснований и аргументации, заключается в том, что они не ориентируют на необходимость глубокого анализа вопросов, связанных с действительными причинами аварий и оценкой реальности выполнения мероприятий по обеспечению необходимой полноты и надежности исходной геологической информации для принятия безопасных систем разработки.

2. При проектировании технологических схем калийных рудников, разработке календарных планов отработки продуктивных пластов и планов ликвидации аварий, основанных на традиционно применяемых технологиях, необходимо исходить из предположения о неизбежности возникновения водопроводящих трещин в ВЗТ и прорывов подземных вод (рассолов) в горные выработки в подработанных областях ВЗТ, осложненных дизъюнктивными геологическими нарушениями; выработанном пространстве отработанных блоков (участков, панелей) на расстоянии от неподвижных границ целиков и краевых частей массива полезного ископаемого $S \approx h \cdot \mathrm{ctg}\varphi$; подработанных областях ВЗТ, содержащих ранее ликвидированные скважины.

3. К числу основных направлений научных исследований, связанных с обеспечением безопасности отработки калийных месторождений, следует отнести разработку экономически приемлемых технологий создания в выработанных пространствах рудников закладочных массивов с параметрами, исключающими возможность возникновения опасных водопроводящих трещин между водоносными горизонтами и продуктивными пластами.

4. Учитывая высокую экономическую, экологическую и социальную цену последствий затопления калийных рудников, в лицензиях на право разработки соляных месторождений и нормативных документах необходимо предусматривать требование обязательной закладки выработанных пространств при залегании в подрабатываемых массивах водоносных горизонтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Барях А.А.* Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения / А.А.Барях, В.А.Асанов, И.Л.Паньков. Пермь: Изд-во Пермского гос. технического ун-та, 2008. 199 с.

2. *Зубов В.П.* Совершенствование систем разработки Третьего калийного пласта на рудниках РУП ПО «Беларуськалий» / В.П.Зубов, А.Д.Смычник, В.М.Кириенко // Записки Горного института. 2006. Т.168. С.15-18.

3. *Лаптев Б.В.* Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 8. С.28-31.

4. Правила по защите рудников от затопления в условиях Старобинского месторождения калийных солей / ОАО «Белгорхимпром». Минск, 2006. 97 с.

5. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент) / ВНИИГ. СПб. 2008. 95 с.

6. *Cocker M.D.* World Potash Developments / M.D.Cocker, G.J.Orris // Proceedings of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals, 2012, Phoenix, Arizona, 2013. P.1-16.

7. *Whyatt J.* Catastrophic Failures of Underground Evaporite Mines / J.Whyatt, F.Varley // Proceedings of the 27th International Conference on Ground Control in Mining, 2008, Morgantown, West Virginia. 2008. P.113-122.

REFERENCES

1. *Barjah A.A., Asanov V.A., Pan'kov I.L.* Fiziko-mehanicheskie svojstva soljanyh porod Verhnekamskogo kalijnogo mestorozhdenija (*Physical and mechanical conditions of the Verkhnekamskoye potassium deposit saliferous rocks. PNIPU publishing*). Perm': Izd-vo Permskogo gos. tehnicheskogo un-ta, 2008, p.199.

2. *Zubov V P., Smychnik A.D., Kirienko V M.* Sovershenstvovanie sistem razrabotki Tret'ego kalijnogo plasta na rudnikah RUP PO «Belarus'kalij» (*Improvement of methods for mining the Third potash layer at the «Belaruskaliy» mines*). Zapiski Gornogo instituta. 2006, Vol.168, p.15-18.

3. *Laptev V B.* Avarijnye situacii na Verhnekamskom mestorozhdenii kalijno-magnievyh solej (*Emergency situations at the Verkhnekamskoye Deposit Potash Mines*). Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2009. N 8, p.28.

4. Pravila po zashhite rudnikov ot zatoplenija v uslovijah Starobinskogo mestorozhdenija kalijnyh solej (*Rules for Starobinskoye potassium deposit flooding protection*). OAO «Belgorhimprom», Minsk, 2006, p.97.

5. Ukazanija po zashhite rudnikov ot zatoplenija i ohrane podrabatyvaemyh ob'ektov v uslovijah Verhnekamskogo mestorozhdenija kalijnyh solej (tehnologicheskij reglament) (*Instructions for the Verkhnekamskoye potassium deposit flooding protection and undemined objects security* (*Process operating procedures*). VNIIG, St Petersburg, 2008, p.95.

6. *Cocker M.D., Orris G.J.* World Potash Developments. Proceedings of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals, Phoenix, Arizona, 2013, p.1-16.

7. *Whyatt J., Varley F.* Catastrophic Failures of Underground Evaporite Mines. Proceedings of the 27th International Conference on Ground Control in Mining, 2008, Morgantown, West Virginia. 2008, p.113-122.

THE CONCEPT OF REDUCING THE RISKS OF POTASH MINES FLOODING CAUSED BY GROUNDWATER INRUSH INTO EXCAVATIONS

V.P.ZUBOV, *Dr. of Engineering Sciences, Professor, spggi_zubov@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia
A.D.SMYCHNIK, *Dr. of Engineering Sciences, Technical Director, a.smychnik@k-potash.ru*
JSC «Striktum», Kaliningrad, Russia

Results of the analysis of factors influencing the probability of accidental groundwater inrush into mine workings of salt (potash, potassium and magnesium) mines are given in the article. The cases of the potash mine flooding that occurred in different countries with developed mining industry are given.

It is shown that at the present technical and scientific level of solving this problem the unexpected groundwater inrush in potash mines usually results in the shutdown of the enterprise and negative ecological consequences. It is pointed out that the underground waters flow into the mines through water-conducting fractures of either natural or technogenic origin which location and influence on a mine was almost impossible to predict at the design stage under existing regulations. The concept of reducing the risks of potash mine flooding caused by underground waters inrush is formulated. Administrative and technical measures which allow reducing the risks of potash mine flooding caused by groundwater inrush into the excavations are considered.

***Key words*:** groundwater (salt brine) inrush, water-conducting fractures, reducing the potash mine flooding risks.