

УДК 622.362.2

**Ю.В. Шувалов, О.В. Ковалёв, С.П. Мозер, И.Ю. Тхориков,
Г.А. Трошиненко**

К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Дан обзор аварийных затоплений калийных рудников, разработан способ предотвращения аварийного затопления рудников.

Ключевые слова: калийный рудники, аварийное затопление, инвестиционные риски.

Неделя горняка

Динамика роста населения Земли предопределяет все более интенсивное развитие сельского хозяйства с неизменным условием повышения эффективности использования плодородных земельных угодий. При прочих равных условиях только использование минеральных удобрений позволяет компенсировать истощение почв.

Калийные удобрения являются одними из самых основных, от которых зависит урожайность сельскохозяйственных культур, поэтому из года в год объемы производства и добычи калийных удобрений возрастают. Например, в период с 1970г. по 1992 производство калийных удобрений возросло в мире в 3 раза.

Увеличение выпуска калийных удобрений обеспечивается, в основном за счет строительства, ввода в эксплуатацию и освоения мощностей калийных рудников и обогатительных фабрик (такие тенденции наблюдаются во всем мире). Шахтные поля новых предприятий размещаются, как правило, на участках месторождений при все менее благоприятных горно-

геологических условиях, что в явном и косвенном виде отражается на степени риска инвестора.

Инвестиции в строительство нового калийного рудника составляют по укрупненным оценкам по меньшей мере 50 млн. долларов США, из них затраты на непосредственное вскрытие месторождения составляют до 50-60% инвестиций. При прочих равных условиях “проблемы”, возникшие с только что построенным рудником могут привести к потере 100% инвестиций, т.к. вложения, например в обогатительную фабрику, построенную для нового рудника без постоянного поступления сырья невозможны и все построенные технологические здания и сооружения будут невостребованы. Таким образом, эффективное управление “горными” рисками приведет к успешной работе всего горно-обогатительного комплекса.

При возникновении гидравлической связи между водными объектами и подземными выработками характер поступления воды (рассолов) в них определяется дебитом источников,

питающих водный объект и сечениями техногенных водопроводящих каналов. На угольных и рудных месторождениях сечение путей проникновения вод зависит от степени нарушения толщи пород, расположенных между горными работами и подрабатываемыми водными объектами. Когда же эта толща представлена пластами, слоями соляных пород, увеличение сечений техногенных каналов проникновения вод происходит и за счет растворимости солей. При наличии соответствующего восполнения запасов подработанного водного объекта водопроявление приводит к выходу рудника из строя. Рассмотрение многочисленных примеров проникновения рассолов в калийные и соляные рудники Германии, Канады, СССР (РФ) показывает, что существуют две причины возникновения аварийных ситуаций. Первая – недостаточная информация об особенностях геологического строения конкретных участков шахтного поля месторождения. Вторая – необоснованная технология горных работ, принятая на основе недостоверных геологических данных.

Приведем несколько примеров потери (затопления) построенных калийных рудников.

Германия. Первые калийные предприятия создавались в окрестностях Стассфурта на местах добычи каменной соли. В этом же районе имело место наибольшее число затоплений калийных рудников. Наиболее тяжелые последствия были вызваны аварией на шахтах "Леопольдсгалль I" и "Леопольдсгалль II", начатых проходкой в 1858 г. На смежных шахтных полях эксплуатировались калийные шахты "Фон дер Гейдт", начатые проходкой в 1851 г., "Мантейфель"

(1852 г.), "Ахенбах" (1875 г.). Севернее располагались шахты акционерного общества Нейестассфурт: "Агата", "Гамахер" и "Нейестассфурт III", построенные: 1878 и 1883 гг.

В качестве предохраняющей от проникновения поверхностных вод была принята толща пород из оставленной в кровле камер потолочины из соли, пластов соляной глины и основного ангидрита. Предполагалось, что параметры системы разработки будут обеспечивать жесткое поддержание пород кровли при глубине ведения работ 200-300 м. Однако на шахтах "Леопольдсгалль II" и "Леопольдсгалль III" через 15 лет после начала эксплуатации обнаружилось, что целики становились трещиноватыми и кровля прогибалась. В связи с небольшой глубиной ведения работ (230 м) отмечалось оседание и провалы на поверхности. В 1879 г. произошло первое обрушение на площади 20 тыс.м². В выработки стал поступать рассол около 30 л/мин. Повреждения продолжали возрастать и в 1881 г. захватили площадь 200 тыс.м².

Продолжение работ в шахтах "Леопольдсгалль I" и "Леопольдсгалль III" до 1890 г. обеспечивалось организованным водоотливом более 1800 м³/ч.

До 1897 г. предпринимались попытки ограничить приток на дневной поверхности к месту аварии, но безуспешно. Поступление ненасыщенных рассолов вело к растворению карналлита, к неконтролируемому состоянию выработок и подработанных пород. К 1890 г. в шахтах "Леопольдсгалль I" и "Леопольдсгалль II" поднявшийся уровень воды (рассола) привел к полному прекращению работ [1].

Канада. В 60-е годы прошлого столетия крупным производителем калийных удобрений становится Ка-

нада. На юге, в провинции Саскачеван на глубине около 1000 м были выявлены значительные площади распространения калийных солей. На всех девяти калийных рудниках Саскачевана на участках, удаленных от стволов, имеют место водопроявления. Ведется ежедневный отбор проб и анализы по устойчивым изотопам кислорода и водорода. Всякое изменение рассматривается как предпосылка для принятия соответствующих мер. На трех рудниках "Кори", "Колонсей" и "Ванской" отмечался небольшой приток воды (менее 0,5 м³/мин). Значительные прорывы воды свыше нескольких кубометров в минуту имели место на рудниках "Роканвилл", "Пейшнс Лейк" и "Джеральд (К2)".

На руднике "Кори" имеются пять рассредоточенных на больших расстояниях друг от друга мест просачивания рассола в выработках. Первый, отмеченный в июле 1971 г., продолжается до настоящего времени. Последние отмечены в апреле 1986 г. Дебит редко превышает 0,01 м³/мин. Отмечается устойчивое постоянство состава рассолов. Считается, что поступление рассолов происходит из общей области их нахождения в эвапоритах прерий. Рассол содержит хлористый кальций. Такие водопроявления – исключение для Саскачеванского месторождения.

Рудник "Колонсей" эксплуатируется с 1969 г. В 1974 г. на участке № 109 в одной из добычных камер появились водопроявления, а затем приток достиг 0,01 м³/мин, Участок был изолирован перемычками, но приток увеличивался. 22 декабря 1978 г. в одной из камер участка № 209 в 1 км от участка № 109 произошел второй прорыв рассола с дебитом 0,35 м³/мин. До появления рассолов на

участке отмечались повышенная конвергенция и обрушение породы из кровли. Наблюдался рост притока. Были приняты экстренные меры по возведению костровой крепи, проведению геологических обследований, подземному цементированию области рассоловыделения, строительству перемычек. Приток был уменьшен до 0,01 м³/мин. Работы по расширению защищенной области продолжались [2].

Конго. На месторождении Сент-Поль (Холл) в 1969 г. было введено предприятие по добыче и переработке сильвинитов. Месторождение представлено свитой линзообразных пластовых залежей сильвинита и карналлита. Падение пологое. Глубина залегания продуктивной толщи 300-700 м. Производственная мощность рудника 5 млн.т руды/год. Одновременно с разработкой месторождения проводилась его детальная разведка подземными горными выработками. 20 июня 1977 г. в одной из разведочных выработок появился незначительный приток воды, который стремительно возрастал до 10 000 м³/ч. Попытки приостановить приток успеха не имели. 22 июня персонал был эвакуирован, а рудник полностью затоплен. Прорыв воды произошел при вскрытии зоны тектонического нарушения разведочной выработкой. Нарушение имело прямую связь с водоносными горизонтами.

Причина аварии – недостаточная информация о наличии зон тектонических нарушений, могущих стать водопроводящими каналами при вскрытии их горными выработками [3].

СССР. Березниковский калийный рудник II был построен в центре южной части Верхнекамского месторождения на базе запасов Балахонцевского участка. Извлекались запасы

сильвинита пластов Красный II (Кр II) и АБ. Залегание пластов субгоризонтальное с небольшим погружением (от 2 до 4⁰) с востока на запад на глубине 320 – 460 м. В январе 1986 г. очистные работы велись в западном полублоке в камере № 54 и в камере № 53 восточного полублока в 500 м от северной границы. 11 января 1986 г. в два часа ночи в камере № 50 западного полублока 8-го блока было обнаружено рассолопроявление из кровли выработки. Рассолы изливались в виде отдельных небольших струй. К этому моменту рассолопроявление было зафиксировано и в кровле камеры № 52. Из-за неудовлетворительного состояния выработок точно установить приток не удалось, по приблизительной оценке его величина составляла около 10 м³/ч. 12 января рассолопроявление было зафиксировано из кровли камеры № 54, а 13 января – из кровли камеры № 48. В дальнейшем – 21 января было обнаружено рассолопроявление из кровли камеры № 14. Суммарный приток на 6 февраля составлял около 60 м³/ч, на 22-е – 100 м³/ч. 1 марта приток достиг 150 м³/ч, 6-го – 290 м³/ч, утром 9-го – 500 м³/ч. Вечером 9-го числа приток возрос ориентировочно до 5000 м³/ч и продолжал увеличиваться. Полное затопление рудника произошло за 50 часов. Прекратил существование один из самых мощных рудников, оснащенный уникальным горношахтным оборудованием. Потеряно 300 млн. т извлекаемых запасов калийных солей [3]. Всего в мире в настоящее время было затоплено более 20 калийных рудников... Актуальность обращения к исследованию вопроса вызвана тем, что имевшие место случаи затопления калийных рудников кроме прямого материаль-

ного ущерба привели к уменьшению извлечения полезного ископаемого из недр с 40 до 30% и отказу без каких-либо обоснований от применения прогрессивных вариантов систем разработки.

Вышеописанные примеры показывают наиболее характерные проблемные вопросы разработки калийных месторождений. В целом по всему миру по разным сведениям до 50% построенных или работающих калийных рудников были затоплены, что привело к значительным потерям инвесторов.

Для прогноза опасности прорыва рассолов в действующий или строящийся рудник существует довольно много способов. Например, по способу [4] при вскрытии горными выработками аномальной зоны производят ее детальное геологическое описание, изучают электро- и сейсморазведочными методами и выявляют степень ее опасности. Определяют сеть и частоту режимных геофизических наблюдений. После начала процессов расслоения и обрушения пород кровли в боковой стенке горной выработки, пройденной в аномальной зоне по верхнему отрабатываемому пласту, производят бурение горизонтальных шпуров длиной 1 м при расстоянии между ними, колеблющемся в зависимости от размеров и степени опасности аномалии, от 10 до 100 м. Устанавливают в призабойной части шпуров термометры для измерения температуры соляных пород. При понижении температуры на 10-20 процентов, свидетельствующем о начале процессов проникновения в соляную толщу холодных подземных вод из вышележащих водоносных горизонтов и растворения в них солей, уточняют местоположение и конфигурацию об-

ласти развития данных процессов и далее начинают подготовку к осуществлению мероприятий по ликвидации в горных выработках возможных рассолопроявлений. По способу [5] проводят бурение наблюдательных скважин, отбор проб воды из этих скважин и выделение растворенных в воде газов. Для повышения достоверности данных о проницаемости водозащитной толщи бурение наблюдательных скважин проводится глубиной до первого водоносного горизонта, отбор проб воды из каждой скважины производится многократно и последовательно во времени, а в отобранных пробах газа определяют содержание метана и водорода, а также изотопное отношение аргон-40/аргон-36, причем при величине изотопного отношения более 296 делают заключение о нарушении целостности водозащитного слоя, а при увеличении концентрации метана и водорода более 0,2 об.% делают заключение о начале растворения соляных пластов. Основным недостатком способа является необходимость бурения геологоразведочных скважин, что само по себе повышает в разы риск затопления калийного рудника.

Таким образом, становится ясным, что прогнозирование потенциально опасных участков затопления калийных рудников на стадиях строительства горных выработок или в период очистной выемки известными методами не является достаточно надежным.

В Санкт-Петербургском горном институте коллективом автором разработан способ предотвращения аварийного затопления рудников [6]. Сущность способа заключается в следующем. До начала ведения очистных работ в площади сдвижения горных пород принятого к отработке участка ме-

сторождения шахтного поля рудника (или ранее, например после получения лицензии на отработку запасов в пределах конкретного горного отвода) осуществляют "прогнозное профилирование" площади горного отвода (ГО) по специально разработанной методике с целью установления характерных концентраций в "приземных" (~50 см) слоях воздуха радиогенного компонента ^{40}Ar . Из характерных концентраций ^{40}Ar рассчитывают среднестатистическую характерную концентрацию ^{40}Ar (в пространстве и времени) с заданным уровнем отклонения от измеренных значений и достаточно высокой вероятностью их получения.

При нарушении сплошности водозащитной толщи (ВЗТ), вызванной разработкой калийного месторождения и образованием выработанного пространства в процессе отработки шахтного поля продуцируемый в пластах калийных солей ^{40}Ar (из-за преобразования ^{40}K в ^{40}Ar) фильтруется в атмосферу, где его концентрация непрерывно возрастает. Несмотря на способность ^{40}Ar растворяться в воде, активная его фильтрация в горных породах, помимо отмеченного факта подтверждается макрохарактеристиками глобального содержания стабильных изотопов Ar в атмосфере, земной коре и воде, соответственно составляя: ~94,579 %; ~0,975 %; ~4,445 % (по массе). При этом атмосферный аргон больше, чем на 99 % представлен ^{40}Ar [7, 8].

Способ [6] включает дистанционное опробование и измерение среднестатистических характерных содержаний ^{40}Ar , определяемых с использованием метода лазерной спектроскопии, по n профилям в пределах ГО калийного рудника до начала

отработки им запасов калийного месторождения. Параметр n определяют на базе положений теории вероятностей и теории ошибок, принимая возможность определения концентрации ^{40}Ar в “приземном слое” с ошибкой не более $(0,1 \div 0,3) \%$ по объему и надежностью 90% . Надежность должна быть достаточно высокой для обеспечения высокой эффективности прогнозирования разрушения ВЗТ. Зондирование площади ГО по профилям n осуществляют применительно к среднестатистическим климатическим условиям конкретного калийного месторождения. Число фиксированных замеров n_0 по каждому профилю n определяют на базе планирования эксперимента. Полученные с помощью метода лазерной спектроскопии данные о пробах воздуха и характерных концентрациях ^{40}Ar до начала отработки калийного пласта являются исходными для проведения мониторинга состояния ВЗТ в процессе отработки запасов солей в пределах ГО калийного месторождения. Измерения и анализ проб воздуха возможно осуществлять дистанционно с летательного (либо иного) средства, оборудованного комплексом, включающим, например, инфракрасный лазер.

Мониторинг может проводиться как интегрированно – по всему комплексу n профилей наблюдений, так и дифференцированно – по некоторому количеству профилей или по любому из профилей n , установленному на основании специального горно-геомеханического анализа состояния пород налегающего массива. В этой части массива преобладающим образом анализируется состояние пород ВЗТ.

При наличии данных (по любому виду мониторинга) о превышении текущих характерных концентраций ^{40}Ar по профилям n с числом фиксированных замеров n_0 над его рассчитанной среднестатистической характерной концентрацией ^{40}Ar для данного месторождения горногеомеханическими методами устанавливают опасную (прогнозируемую к прорыву вод надсолевого комплекса – выше ВЗТ) зону в пределах отработанного пространства – шахтного поля калийного рудника.

В связи с возможностью получения более ранней фиксации прогнозируемых признаков нарушения сплошности ВЗТ, когда проникновение воды в рабочие горизонты практически исключено, возможна эффективная разработка и реализация горных мер по надежной изоляции прогнозно опасного участка шахтного поля калийного пласта от остальных его площадей (включая изменение способов управления горным давлением в окрестностях опасной по прорыву вод зоны), сохраняя тем самым калийное предприятие как эффективно функционирующее.

Затраты на использование разработанного способа [6] составляют по экспертным оценкам $1-2\%$ процента от прибыли предприятия, что ничтожно мало по сравнению с возможными потерями инвестора. Полученная “прибыль” (в виде сохранения производства и эффективного использования запасов месторождения) будет исчисляться по меньшей мере 100 млн. долларов США. Все выше перечисленные преимущества позволят (при использовании способа [6]) в целом практически исключить инвестиционные риски разработки калийных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шокин Ю.П. Анализ причин затопления калийных рудников ГДР и ФРГ подземными водами и рассолами // Тр. ВНИИГ. – 1969. – вып. 51. с. 23-40.
2. *Fertilizer International*. – 1987. – №243. P. 4,6, 22-23.
3. Шиман М.И. Предотвращение затопления калийных рудников – М.:Недра, 1992. – 176 с.
4. Способ мониторинга аномальных зон водозащитной толщи на калийных рудниках (патент РФ №2257472, опубл. 27.07.2005, бюл. № 21).
5. Способ геохимического контроля проницаемости водозащитной толщи на месторождениях калийных солей (патент РФ №2123194, опубл. 1998.12.10).
6. Способ контроля состояния водозащитной толщи на месторождениях калийных солей. Ковалев О.В., Шувалов Ю.В., Тхориков И.Ю., Мозер С.П., Трошиненко Г.А. (патент РФ №2300789 от 10.06.2007).
7. Фастовский В.Г., Ровинский А.Е., Петровский Ю.В. Инертные газы. М., 1964.
8. Финкельштейн Д.Н. Инертные газы. М., 1961; Бердоносков С.С. Инертные газы вчера и сегодня. М., 1966.

ГИАБ

Коротко об авторах

Шувалов Ю.В., Ковалёв О.В., Мозер С.П., Тхориков И.Ю., Трошиненко Г.А. – Санкт-Петербургский горный институт, г. Санкт-Петербург, Россия



ДИССЕРТАЦИИ

**ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ
ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ**

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
МАЗАНИК Евгений Васильевич	Совершенствование технологии дегазации угольных шахт на основе заблаговременной поэтапной скважинной подготовки шахтных полей	05.26.03	к.т.н.
ЛУПИЙ Михаил Григорьевич	Обоснование технологии комплексной дегазации выемочных участков при высокоинтенсивной разработке газоносных угольных пластов	05.26.03	к.т.н.
КУЗНЕЦОВ Виктор Андреевич	Обоснование технологии буровзрывных работ в карьерах и открытых горно-строительных выработках на основе деформационного зонирования взрывааемых уступов	25.00.20	д.т.н.