УДК 621.039.75

О.В.КОВАЛЕВ, *д-р техн. наук, профессор, spggi4@mail.ru*
С.П.МОЗЕР, *канд. техн. наук, доцент, mozer1@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

O.V.KOVALEV, *Dr. in eng. sc., professor, spggi4@mail.ru*
S.P.MOZER, *PhD in eng. sc., associate professor, mozer1@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рассмотрены основные аспекты обеспечения безопасной отработки калийных месторождений. Приведены практические примеры механизма развития и возможных последствий нарушения целостности пород водозащитной толщи. Предложено использование системы дистанционного неразрушающего мониторинга целостности пород водозащитной толщи.

***Ключевые слова*:** калийная соль, подземная разработка, Верхнекамское месторождение, водозащитная толща, дистанционный неразрушающий мониторинг.

SOME APPROACHES TO SECURE MINING OF POTASH DEPOSITS

The basic aspects of safe mining of potash deposits is reviewed. Practical examples of the mechanism and possible consequences of violating the integrity of the waterproof rock strata are described. Use of remote non-destructive monitoring system for non-destructive integrity breeds of the waterproof rock strata is proposed.

***Key words*:** potassium salt, underground mining, Verkhnekamskoye deposit, waterproof layers, remote non-destructive monitoring.

Разработка запасов калийных месторождений из-за геологических особенностей их формирования во всем мире производится на огромных участках (порядка сотен квадратных километров). Соответственно деформации поверхности происходят на еще больших площадях, ограничиваемых, как правило, углами сдвижения пород. Площадь подработки при развитии горных работ увеличивается, поэтому постоянно возрастает риск проникновения флюидов как в отработанные участки шахтного поля из-за нарушения целостности водозащитной толщи, так и через новые участки, в которых могут встречаться зоны с высокой проницаемостью.

В качестве примера рассмотрим ситуацию, сложившуюся в результате отработки запасов некоторых участков Верхнекамского месторождения калийных солей, являющегося вторым по запасам месторождением мира и крупнейшим месторождением России (рис.1).

Из рис.1 видно, что месторождение разделено на семь шахтных полей, четыре из которых принадлежит ОАО «Уралкалий», а три – ОАО «Сильвинит». Часть шахтных полей рудников находится непосредственно под городами Березники и Соликамск. Для отработки запасов калийных руд используют камерно-столбовую систему разработки с жесткими и (или) податливыми целиками. Некоторые полученные выработки, особенно находящиеся под территорией городской застройки, заполнены галитовыми отходами. Использование закладки

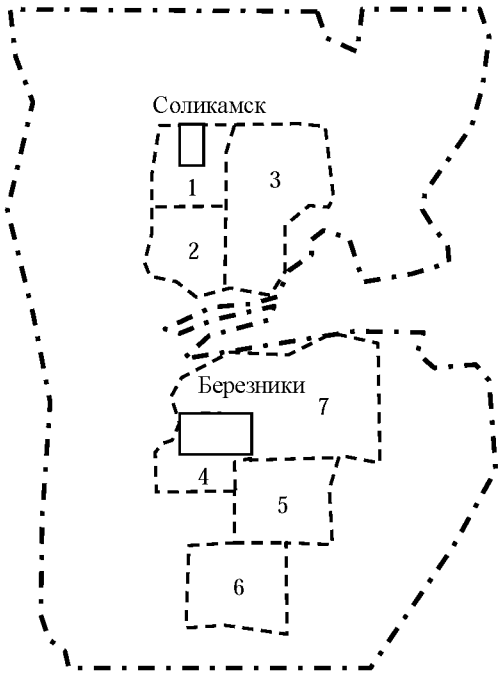


Рис.1. Схема деления Верхнекамского месторождения калийных солей на шахтные поля

1-3 – рудники ОАО «Сильвинит»; 4-7 – рудники ОАО «Уралкалий»; штрих-пунктирная линия – контур месторождения; штриховые линии – контуры шахтных полей

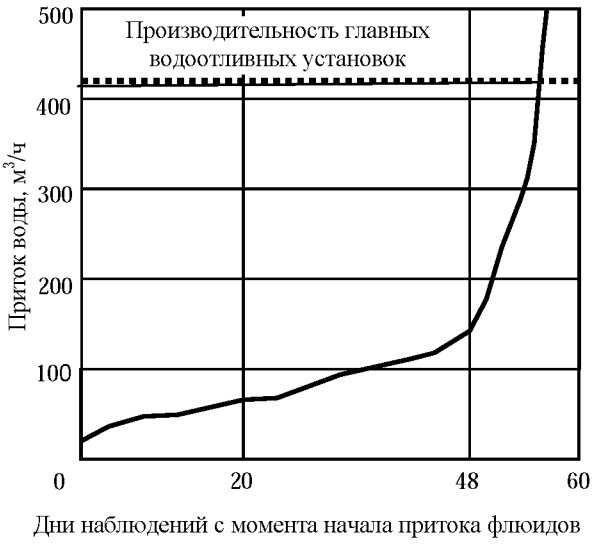


Рис.2. Динамика притоков рассолов в горные выработки Березниковского рудника № 3 (период наблюдений 11 января – 12 марта 1986 г.)

позволяет стабилизировать состояние земной поверхности. Один из рудников ОАО «Уралкалий» был аварийно затоплен в 1986 г. практически сразу после начала очистных работ. По версиям ряда экспертов, одной из основных причин затопления являлось наличие аномальных зон, не выявленных на этапе геологоразведочных работ. Откачка рассолов из выработок Березниковского рудника № 3 из-за хорошей растворимости соляных горных пород при наличии горизонта подпитки пресными водами дало рост трещин (каналов миграции флюидов) с резким увеличением расхода рассолов (рис.2).

Из графика (рис.2) видно, что откачка флюидов привела к резкому повышению притока, а затем – к полному затоплению рудника. Единственным практически приемлемым мероприятием по сохранению работоспособности шахты является своевременное сооружение на проблемных участках флюидоизолирующих перемычек, но в некоторых случаях и это не дает положительного эффекта, так как карстовые процессы продолжаются в покрывающих породах и, прежде всего, в водозащитной толще. В этих случаях, как правило, необходимо принятие решения о выводе из эксплуатации целого участка или шахтного поля.

На этапе отработки запасов ключевой проблемой исключения притоков воды является сохранность сплошности (непроницаемости) пород водозащитной толщи. При этом критерием сохранности сплошности водозащитной толщи (ВЗТ) является, как правило, отсутствие в ее породах растягивающих напряжений, приводящих на первом этапе к развитию трещин расслоения, а затем секущих трещин. Принципиальный механизм образования трещин в водозащитной толще приведен на рис.3.

Таким образом, к затоплению калийного рудника могут привести как природные факторы, так и сложившаяся негативная горно-техническая ситуация (например, длительное простаивание горных работ или их непланомерное развитие). При этом только опережающее обнаружение и локализация проблемных участков аномальных зон водозащитной толщи может гарантировать безопасное функционирование предприятия.

Отметим, что затопление рудника ведет к серьезным последствиям как с финансовой

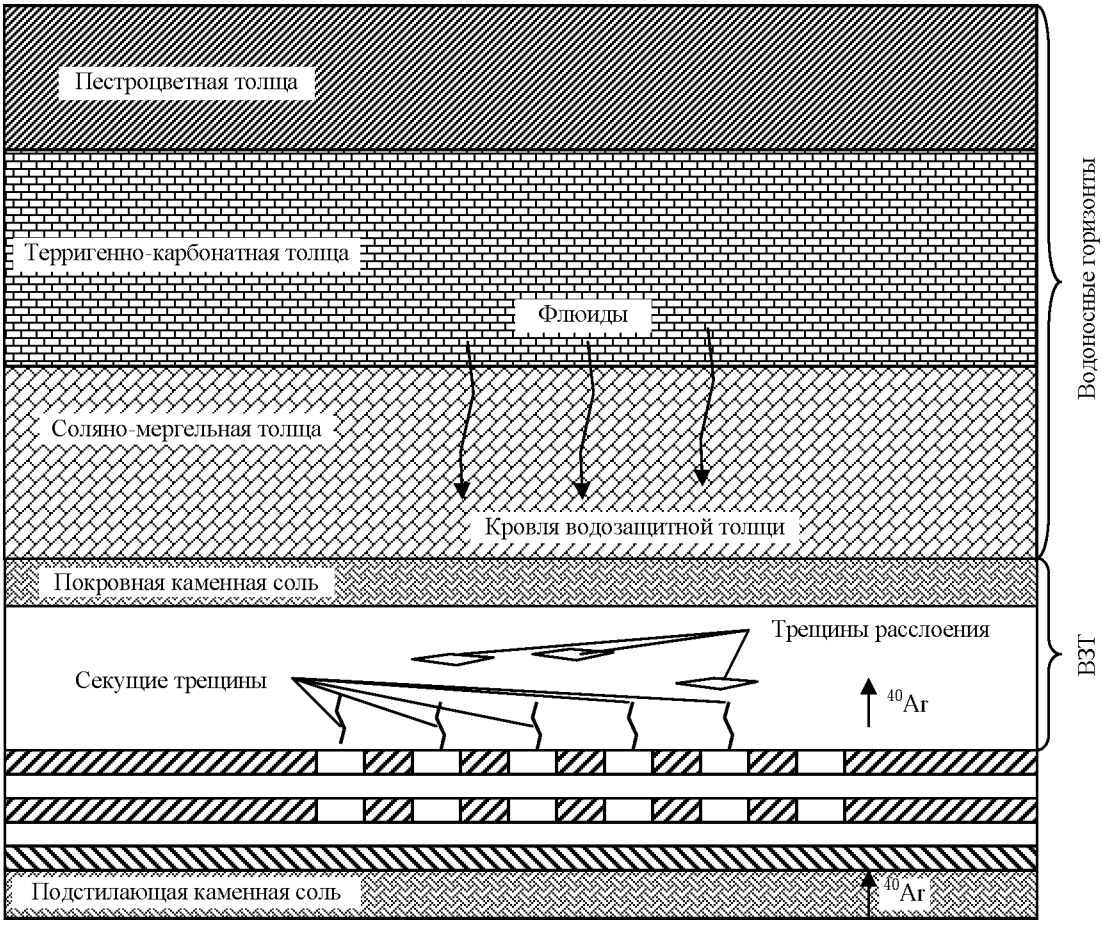


Рис.3. Принципиальная схема формирования трещин в водозащитной толще при возникновении в ней растягивающих напряжений

и социальной точек зрения, так с позиций экологии. Стоимость строительства нового рудника составляет по укрупненным оценкам около 1 млрд долларов США. В случае затопления теряют работу несколько тысяч человек. На поверхности появляются провалы и возникают каналы миграции рассолов из затопленного рудника. При этом провалы поверхности будут постоянно расти. Например, на Верхнекамском месторождении на поверхность вышло три провала, постоянно увеличивающиеся в размерах. По сообщениям пресс-службы администрации Березников, подведены комплексные итоги наблюдения за ситуацией на БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» за период с 27 января по 2 февраля 2012 г. Размеры провала, образовавшегося 4 декабря 2011 г. севернее здания АБК БШСУ, на 2 февраля составили 82 × 61 м. За период с 25 января по 1 февраля скорость оседания в контуре засыпанного провала на железнодорожных путях составила 91-419 мм/мес., с северной и южной сторон – 8-16 мм/мес.

По нашему мнению, наиболее рациональным путем обеспечения безопасной отработки калийных месторождений является создание системы автоматического бесконтактного дистанционного мониторинга. В основу данной системы положены фундаментальные научные исследования процессов образования радиогенного аргона ^{40}Ar из изотопа ^{40}K [2].

Последовательность использования предлагаемой системы следующая. До начала ведения очистных работ в пределах проектной площади сдвижения горных пород принятого к отработке участка месторождения шахтного поля рудника (или ранее, например, после получения лицензии на отработ-

ку запасов в пределах конкретного горного отвода – ГО) осуществляют прогнозное профилирование площади 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 во времени) с заданным уровнем отклонения от измеренных значений и достаточно высокой вероятностью их получения.

При нарушении сплошности ВЗТ, вызванной разработкой калийного месторождения и образованием выработанного пространства в процессе отработки шахтного поля [1, 3], 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, составляя по массе соответственно 94,579; 0,975 и 4,445 %. При этом атмосферный аргон более чем на 99 % представлен ^{40}Ar [4,5].

Дистанционное опробование и измерение среднестатистических характерных содержаний ^{40}Ar предполагается определять с использованием метода лазерной спектроскопии, по n профилям в пределах горного отвода 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 0,3 % по объему и надежностью 90 %. Надежность должна быть достаточной для обеспечения высокой эффективности прогнозирования разрушения ВЗТ. Зондирование площади горного отвода n по профилям 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 можно осуществлять дистанционно со стационарных вышек или с летательного средства, оборудованного специальным комплексом.

Мониторинг может проводиться как интегрированно (по всему комплексу n профилей наблюдений), так и дифференцированно (по некоторому количеству профилей или по любому из профилей n, установленных на основании специального горно-геомеханического анализа состояния пород налегающего массива). В этой части массива с особой тщательностью 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 или его участка горно-геомеханическими методами устанавливают опасную (прогнозируемую к прорыву вод надсолевого комплекса – выше ВЗТ) зону в пределах отработанного пространства – шахтного поля калийного рудника.

При фиксации концентрации ^{40}Ar больше характерной среднестатистической концентрации после начала отработки запасов месторождения очистную выемку останавливают и выполняют горно-геомеханические исследования применительно к конкретному участку с запрогнозированной аварийной ситуацией. Далее на базе анализа прогнозных состояний ВЗТ в зонах, определяемых техногенными факторами, разрабатывают горно-технические мероприятия, исключающие затопление всего шахтного поля калийного рудника. Для таких зон строят горно-геомеханические модели (расчетные схемы), прогнозно оценивают напряженно-

деформированное состояние налегающей толщи пород, включающей ВЗТ, и делают вывод о целесообразности (нецелесообразности) наличия в таких зонах дополнительных профилей (сверх *n* профилей, устанавливаемых на базе принципа планирования эксперимента). После этого разрабатывают горно-технические мероприятия, исключающие затопление всего шахтного поля калийного рудника.

Для более ранней фиксации прогнозируемых признаков нарушения сплошности ВЗТ, когда проникновение воды в рабочие горизонты практически исключено, возможна разработка и реализация мер по надежной изоляции прогнозно-опасного участка шахтного поля калийного пласта от остальных его площадей. Для этого изменяют способы управления горным давлением в окрестностях опасной по прорыву вод зоны, сохраняя тем самым в целом калийное предприятие как эффективно функционирующее.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мозер С.П.* Горная геомеханика: физические основы и закономерности проявлений геомеханических процессов при подземной разработке месторождений / С.П.Мозер, Е.Б.Куртуков. СПб, 2009. 136 с.

2. Пат. 2300789 РФ, МПК G01V9/00. Способ контроля состояния водозащитной толщи на месторождениях калийных солей / О.В.Ковалев, Ю.В.Шувалов, С.П.Мозер, И.Ю.Тхориков, Г.А.Трощиненко; 2006101276/28; заявл. 16.01.2006; опубл. 10.06.2007. Бюл. № 16. 8 с.

3. Прикладные аспекты изучения механических процессов в массивах при подземной разработке месторождений полезных ископаемых / О.В.Ковалев, С.П.Мозер, И.Ю.Тхориков, Е.Б.Куртуков, Е.Р.Ковальский. СПб, 2011. 167 с.

4. *Фастовский В.Г.* Инертные газы / В.Г.Фастовский, А.Е.Ровинский, Ю.В.Петровский. М., 1964. 352 с.

5. *Финкельштейн Д.Н.* Инертные газы. М., 1961. 200 с.

REFERENCES

1. *Mozer S.P., Kurtukov E.B.* Rock mechanics: basic physics and mechanism occurrence of geomechanical processes in underground mining. Saint Petersburg, 2009. 136 p.

2. RF Pat. 2300789, Int. Cl. G01V9/00. Method for monitoring condition of waterproof stratums at potassium salt deposits / O.V.Kovalev, Yu.V.Shuvalov, I.Yu.Thorikov, S.P.Mozer, G.A.Troshchinenko; 2006101276/28; Application 16.01.2006; date of publication 10.06.2007. Bull. N 16. 8 p.

3. *Kovalev O.V., Mozer S.P., Thorikov I.J., Kurtukov E.B., Kowalsky E.R.* Applied aspects of study mechanical processes in arrays for underground mining of mineral deposits. Saint Petersburg, 2011. 167 p.

4. *Fastovsky V.G., Rovinsky A.E., Petrovski Y.V.* Inert gases. Moscow, 1964. 352 p.

5. *Finkelstein D.N.* Inert gases. Moscow, 1961. 200 p.