

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РУДНИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ

В.П. Зубов¹, Е.Р. Ковальский¹, С.В. Антонов², В.В. Пачгин¹

¹ Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: spggi_zubov@mail.ru

² ООО «К-Поташ Сервис», Калининградская область, пос. Нивенское, Россия

Аннотация: Показано, что местами возникновения в подрабатываемом горном массиве водопроводящих трещин являются области водозащитной толщи (ВЗТ), содержащие «аномальные» зоны. Отмечено, что «аномальность» геологического разреза в проанализированных случаях аварий с поступлением подземных вод в рудник при отработке Верхнекамского и других соляных месторождений мира устанавливалась, как правило, постфактум, на основе ретроспективного анализа возможных причин аварий. Сделан вывод о том, что способы охраны ВЗТ, рекомендуемые действующими нормативными документами, не могут быть эффективно реализованы при наличии в водозащитной толще аномальных зон. Это объяснено, в частности, как трудностями обнаружения аномальных зон при геологоразведочных работах, так и несовершенством методик отнесения аномальных («необычных») зон к опасным аномальным зонам. При фактически применяемых методах разведки соляных месторождений получить необходимые данные о качественных и количественных параметрах аномальных зон практически невозможно, а, следовательно, вероятны ситуации, при которых принимаемые в проекте технические решения (полнота закладки, размеры целиков, пролеты очистных камер и др.), определенные из условия исключения возможности образования водопроводящих трещин, не будут соответствовать фактическим горно-геологическим условиям ведения горных работ. Сделан вывод о том, что наибольшую опасность представляют аномальные зоны, характеризующиеся изменениями структуры, состава и прочностных характеристик пород ВЗТ, и расположенные над неподвижными краевыми частями массива полезного ископаемого, формируемыми над границами шахтного поля. В данной ситуации при применяемых на рудниках Верхнекамского месторождения вариантах камерной системы разработки возникновение водопроводящих трещин следует при проектировании считать событием, которое неизбежно произойдет в период работы рудника или после его закрытия. Предложены мероприятия по предотвращению возникновения водопроводящих трещин над неподвижными краевыми частями массива полезного ископаемого, формирующимися на границах шахтных полей.

Ключевые слова: водозащитная толща, водопроводящие трещины, аномальные зоны, краевые части массива полезного ископаемого, границы шахтного поля, прорывы подземных вод в рудник.

Для цитирования: Зубов В. П., Ковальский Е. Р., Антонов С. В., Пачгин В. В. Повышение безопасности рудников при отработке Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 22–33. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.

Improving the safety of mines in developing Verkhnekamsk potassium and magnesium salts

V.P. Zubov¹, E.R. Kovalski¹, S.V. Antonov², V.V. Pachgin¹

¹ Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: spggi_zubov@mail.ru

² K-Potash Service LLC, Kaliningrad region, village of Nivenskoe, Russia

Abstract: It is shown that the water conducting cracks are formed in the undermined rocks in the areas of water-resistant strata (WRS) containing so called «abnormal» («unusual») zones. It is noted that the «abnormality» of the geological section in the analyzed cases of accidents of groundwater inflows into the mines during the development of Verkhnekamsky and other salt deposits was established post factum based on a retrospective analysis of the possible causes of accidents. It is concluded that the methods of protection of WRS, recommended by the current regulations, can not be effectively implemented in the presence of abnormal zones. This problem is associated with the difficulties in detecting anomalous zones during exploration and the imperfection of methods of classifying abnormal zones as dangerous zones. It is almost impossible to obtain the necessary data on the qualitative and quantitative parameters of the abnormal zones with the actually used methods of exploration of salt deposits. Therefore there is a high chance, that the project technical solutions (backfilling ratios, pillars' dimensions, rooms' dimensions, etc.), aimed to prevention of water conducting cracks development, will not correspond to the actual mining and geological conditions. It is concluded that the greatest danger is posed by abnormal zones characterized by changes in the structure, composition and strength characteristics of rocks, and located above the permanent edges of mine fields. In this situation, in conditions of the Verkhnekamskoye deposit, the formation of water conducting cracks in WRS should be considered as an event that will inevitably occur during the operation of the mine or after its closure. In the given paper, measures are proposed to prevent the formation of water conducting cracks over permanent edges of mine fields.

Key words: water-resistant strata, water conducting cracks, abnormal zones, mining borders, borders of mine fields, breakthrough of groundwater into a mine.

For citation: Zubov V. P., Kovalski E. R., Antonov S. V., Pachgin V. V. Improving the safety of mines in developing Verkhnekamsk potassium and magnesium salts. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:22-33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-22-33.

Введение

Специфика отработки соляных месторождений связана с возможностью возникновения событий, которые в горно-технической литературе классифицируются как «катастрофические». К их числу относятся прорывы подземных вод (соляных рассолов) в выработки рудников (рис. 1). Данные события происходят при отработке практически всех месторождений калийных и калийно-магниевых солей [1–4, 14–17]. В большинстве случаев основной причиной затопления калийных рудников считают неполную или недостоверную геологическую информацию об условиях отработки продуктивных

пластов [6, 8, 10] и, как следствие этого, несоответствие принятых систем разработки и их параметров фактическим горно-геологическим и гидрогеологическим условиям.

Степень влияния геологических факторов в различных их сочетаниях на экономические показатели, экологическую безопасность и жизнеспособность калийных и калийно-магниевых рудников находится в диапазоне от «несущественного влияния» до потери рудника, как производственного объекта.

Промышленными на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей являются карналлитовый пласт В_к и

сильвинитовые пласты В_с, АБ, Красный II и Красный III_{а-б}. Мощность покрывающих отложений колеблется от 100 м до 300 м. К водозащитной толще (ВЗТ) относят безводную и водонепроницаемую часть геологического разреза, расположенную между кровлей верхнего отработываемого пласта калийно-магниевых солей и кровлей верхнего пласта каменной соли [5, 7, 10].

На рудниках Верхнекамского месторождения применяют камерную систему разработки с поддержанием кровли на ленточных целиках [5]. В соответствии с действующими нормативными документами [9, 11, 12] параметры камерной системы разработки должны удовлетворять требованиям безопасной подработки водозащитной толщи по критерию нормативной степени нагружения междукамерных целиков в соответствии с условием (1), а также по допустимым прогибам слоев ВЗТ в соответствии с условием (2).

$$C \leq [C] \quad (1)$$

где C — расчетное значение степени нагружения междукамерных целиков; $[C]$ — нормативная степень нагружения междукамерных целиков.

Нормативную степень нагружения междукамерных целиков при отработке сильвинитовых пластов на участках шахтных полей, расположенных за границами городской и (или) поселковой многоэтажной застройки и аномальных зон в ВЗТ, принимают равной 0,4.

$$V_m \leq [V_m] \quad (2)$$

где V_m — расчетное значение максимального прогиба слоев водозащитной толщи, соответствующее принятым параметрам отработки пластов; $[V_m]$ — величина допустимого прогиба слоев ВЗТ в рассматриваемых горно-геологических условиях, удовлетворяющая критерию (3).

$$M_s \geq [M], \quad (3)$$

где M_s — суммарная мощность слоев (пластов) каменной соли, в которых при деформировании толщи пород не возникают техногенные субвертикальные трещины; $[M]$ — минимально допустимая суммарная мощность ненарушенных слоев (пластов) каменной соли ВЗТ.

Минимально допустимую суммарную мощность ненарушенных слоев каменной соли принимают в соответствии с [9, 11, 12].



Рис. 1. Провалы земной поверхности над шахтным полем СКРУ-2

Fig. 1. Sinks on the ground surface above SKRU-2 mine field

Несмотря на большое внимание к проблеме предотвращения затопления соляных рудников и применяемые на рудниках мероприятия [9, 11, 12], из семи рудников, построенных на Верхнекамском месторождении, к настоящему времени два рудника (БКПРУ-3) и БКПРУ-1) затоплены в результате прорывов надсолевых вод в подземные выработки соответственно в 1986 г. и в 2006 г. На СКРУ-2 в 2014 г. надсолевые воды поступили в выработанное пространство ранее отработанных участков данного рудника.

В качестве исходных материалов при выполнении исследований использованы данные о фактически применяемых технологиях подземной добычи калийных и калийно-магниевых руд на рудниках Канады (рудник Rocanville, Саскачеванский соленосный бассейн), США (Карлбадское месторождение, рудники West Mine, East Mine, Mississippi Potash Inc.), Испании (Наваррское месторождение), России (Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей), Беларуси (Старобинское месторождение), Франции (Эльзасское месторождение), Германии (районы Стассфурт, Ронненбург-Ганса, Фульда, Зарштедт-Лерте, Верра, Заале-Унструц, Ашерслебен). При проведении исследований проанализировано 11 аварийных ситуаций, связанных с образованием провалов земной поверхности при отработке Верхнекамского месторождения: 7 провалов в пределах шахтного поля БКПРУ-1; 3 провала (рис. 1) в пределах шахтного поля СКРУ-2; 1 провал в пределах шахтного поля БКПРУ-3. Проанализированы также возможные причины затоплений рудников Германии: «Фон дер Гейдт», «Мантейфель», «Агата», «Нейестассфурт III» и др.

Результаты исследований

Анализ горнотехнических ситуаций и горно-геологических условий, в которых происходили аварии на соляных рудни-

ках, показал, что местами возникновения в подрабатываемом горном массиве водопротягивающихся трещин в большинстве случаев являются области ВЗТ, содержащие зоны с аномальным (необычным) геологическим строением.

Действующими нормативными документами [9, 11, 12] предусматриваются различные меры охраны водозащитной толщи при наличии аномальных зон в подрабатываемых массивах. Однако, как показывает практический опыт, эти мероприятия реально могут быть предусмотрены в проекте и реализованы только при наличии полных и достоверных данных о горно-геологических условиях залегания продуктивных пластов, размерах и местоположении зон с аномальным геологическим строением, прочностных и деформационных характеристиках пород подработанной толщи, строении и состоянии водоупора над соляным массивом. Кроме того, ответ на вопрос можно ли относить зоны ВЗТ с необычным строением к «аномальным» зависит от применяемых технологий отработки продуктивных пластов и их параметров. При одних параметрах применяемой технологии зоны ВЗТ с необычным строением могут быть отнесены к аномальным, при других нет.

«Аномальность» геологического разреза интересует проектные организации и недропользователя для ответа на вопрос представляет ли та либо иная «Аномальность» опасность для работы рудника.

О сложности решения этой задачи свидетельствует тот факт, что «аномальность» геологического разреза в исследованных случаях техногенных аварий при отработке Верхнекамского и других соляных месторождений определялась, как правило, постфактум, на основе ретроспективного анализа возможных причин аварий.

Это объясняется, в частности, как трудностями обнаружения аномальных

зон при геологоразведочных работах, так и несовершенством методик отнесения аномальных зон к опасным аномальным зонам. При фактически имеющихся методах разведки соляных месторождений получить полные данные о качественных и количественных параметрах аномальных зон практически невозможно, а, следовательно, вероятны ситуации, при которых принимаемые технические решения (полнота закладки, размеры целиков, пролеты очистных камер и др.), определенные из условия исключения возможности образования водопродводящих трещин, не будут соответствовать фактическим горно-геологическим условиям ведения горных работ.

Выполненные исследования показали, что наиболее вероятными местами возникновения в ВЗТ водопродводящих трещин являются области, расположенные над краевыми частями массива полезного ископаемого и содержащие аномальные зоны, характеризующиеся изменениями структуры, состава и прочностных характеристик пород. При этом вероятность образования трещин, степень их развития, а, следовательно, и аварийной ситуации возрастают с увеличением промежутка времени после формирования неподвижной краевой части массива полезного ископаемого.

Наблюдаемая в последние годы интенсификация отработки продуктивных пластов Верхнекамского месторождения приводит к ускоренному деформированию подрабатываемого горного массива, в результате чего формируются краевые части мульды сдвига с повышенными показателями вертикальных и горизонтальных деформаций земной поверхности, а, следовательно, и слоев водозащитной толщи. В таких условиях при применяемых вариантах камерной системы разработки на рудниках Верхнекамского месторождения возникновение водопродводящих трещин в областях

ВЗТ, расположенных над границами шахтных полей и содержащих аномальные зоны, характеризующиеся повышенной частотой трещин и существенными изменениями прочностных характеристик пород, следует считать событием, которое неизбежно произойдет в период работы рудника или после его закрытия.

К краевым частям, имеющим практически неограниченное время существования, относятся краевые части массива полезного ископаемого, формируемые на границах шахтных полей и выемочных блоков, а также на границах целиков, оставляемых для охраны разведочных скважин. С учетом отмеченных фактов, при проектировании технологической схемы рудника следует считать, что в указанных горнотехнических ситуациях вероятность возникновения в ВЗТ водопродводящих трещин близка к 100%.

Необходимо также отметить, что по отрицательным последствиям прорывы подземных вод в горные выработки после закрытия рудника не менее безопасны по социальным, экономическим и экологическим факторам [2], чем при работе рудника.

Учитывая вышеизложенное, при использовании на рудниках Верхнекамского месторождения традиционно применяемых вариантов камерной системы разработки ВЗТ над границами шахтного поля, межблоковых целиков и целиков, оставляемых для охраны разведочных скважин при проектировании должна:

- классифицироваться как не обеспечивающая безопасности в период функционирования рудника или после его закрытия;
- рассматриваться как аномальная водозащитная толща, требующая применения дополнительных мер охраны при отработке пластов без дифференциации на благоприятные и неблагоприятные участки отработки.

По мнению авторов данной статьи, разработка превентивных мер по управлению напряженно-деформированным состоянием областей ВЗТ, расположенных над краевыми частями массива полезного ископаемого, имеющими практически неограниченное время существования, независимо от степени их разведанности, является обязательной.

К числу основных направлений решения проблемы снижения вероятности проникновения подземных вод (рассолов) в рудник следует относить разработку специальных технологий ведения очистных работ на участках, прилегающих к границам шахтных полей (блоков). Использование данных технологий должно обеспечивать уменьшение величин искривления слоев водозащитной толщи и растягивающих горизонтальных напряжений над краевыми частями массива полезного ископаемого.

Сущность рекомендуемой технологии заключается в следующем. На стадии проектирования выделяют участки, прилегающие к границам шахтного поля, и основные участки, расположенные в средних частях соответствующих блоков. Первыми отрабатывают участки, прилегающие к границам шахтного поля. Затем отрабатывают основные запасы блоков (панелей).

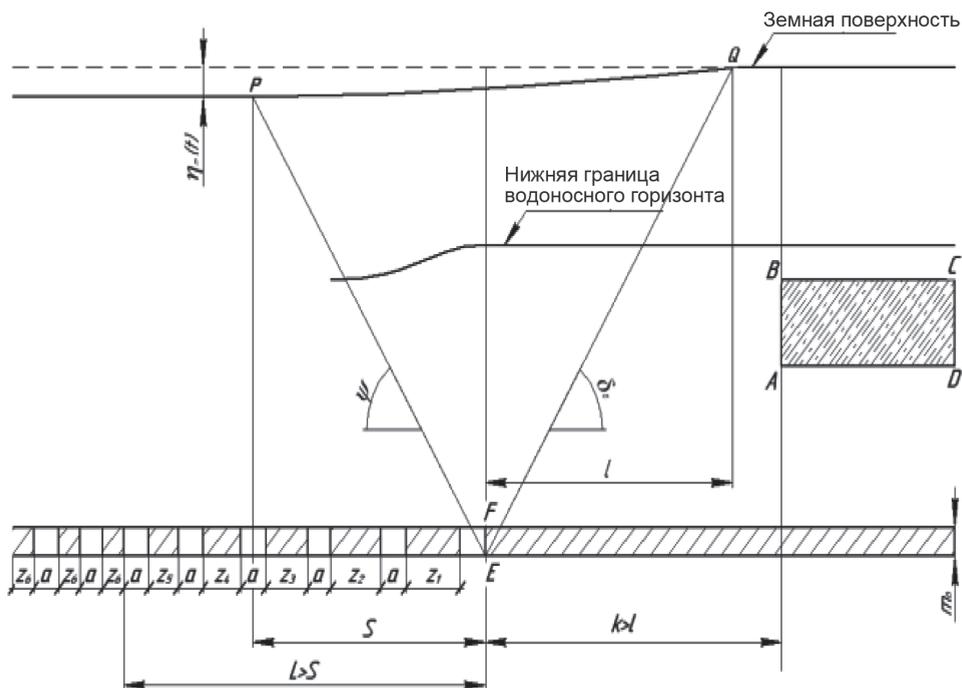
Камеры, проходимые на первом этапе, располагают параллельно границе шахтного поля. При этом ширину целиков между камерами принимают разной, изменяя ее по определенному закону от максимального значения, в непосредственной близости от границы шахтного поля, до минимального значения. Минимальное значение ширины целика ($Z_{\text{мин}}$) принимается равным значению ширины целика, определенному в соответствии с действующими нормативными документами [9–11], а минимальную ширину участка первоочередной отработки S определяют из выражения $S \geq H \cdot \text{ctg}\psi$,

где H — глубина отработки пласта; ψ — угол полных сдвижений подработанного массива. Максимальную ширину междукамерного целика ($Z_{\text{макс}}$) принимают не менее ширины междукамерного целика, характеризующегося степенью нагружения не более 0,20–0,25.

По предварительным оценкам, выполненным с использованием результатов моделирования на моделях из эквивалентных материалов, в интервале между $Z_{\text{макс}}$ и $Z_{\text{мин}}$ ширину целика необходимо изменять по закону, аналогичному закону изменения величин опускания породных слоев ВЗТ в мульде сдвижения, при котором не наблюдаются их разрывные нарушения. Необходимо подчеркнуть, что данный вывод нуждается в дополнительной экспериментальной проверке при различных типах и различном пространственном расположении аномальных зон в ВЗТ.

При наличии в ВЗТ аномальных зон, обнаруженных до стадии проектирования, рекомендуется, независимо от типа аномальной зоны, границы шахтных полей (блоков, панелей) располагать в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.

На данной схеме: $ABCD$ — аномальная зона; k — расстояние от проекции границы аномальной зоны на продуктивный пласт до выработанного пространства, м; EF — краевая часть массива полезного ископаемого, z_i — ширина междукамерного целика, м; a — ширина камеры, м; l — расстояние от проекции границы мульды сдвижения земной поверхности на продуктивный пласт до краевой части массива полезного ископаемого EF , м; ψ — угол полных сдвижений подработанного массива, град.; S — минимальная ширина зоны смягчения, м; L — ширина зоны смягчения, м; $m_{\text{пл}}$ — мощность отрабатываемого пласта полезного ископаемого, м; $m_{\text{в}}$ — мощность отрабатываемого пласта полезного ископаемого; м;



Примечание: $z_1 > z_2 > z_3 > z_4 > z_5 > z_6$

Рис. 2. Принципиальная схема расположения границы шахтного поля EF относительно аномальной зоны ABCD и формирования зоны смягчения вдоль этой границы

Fig. 2. Basic diagram of location of EF mine field boundary relative to anomalous zone ABCD and formation of weakening zone along this boundary

PQ — полумульда сдвижения; $\eta_m(t)$ — максимальная величина оседания земной поверхности, м.

Расстояние от аномальной зоны ABCD до неподвижной краевой части (EF) массива полезного ископаемого рекомендуется принимать не менее величины S — расстояния от проекции границы мульды сдвижения земной поверхности на продуктивный пласт до неподвижной краевой части (EF) массива полезного ископаемого.

При невозможности расположения границ шахтных полей (блоков, панелей) относительно аномальной зоны в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2, на участках, прилегающих к неподвижным границам массива полезного ископаемого горные работы необходимо ве-

сти с использованием рассмотренной выше технологии (рис. 3).

При оценке результативности рекомендуемой технологии и обосновании требований к ее параметрам использованы фактические данные о смещениях земной поверхности при различных схемах отработки продуктивных пластов Верхнекамского месторождения в пределах выемочных блоков, а также результаты компьютерного моделирования на основе численного метода конечных элементов.

Основной целью компьютерного моделирования при этом являлась оценка влияния зоны с переменной шириной целиков на состояние краевой части подработанной ВЗТ при наличии в ней аномальной зоны. Предметом исследований

являлись параметры напряженно-деформированного массива горных пород — компоненты напряжений, смещений и деформаций, формирующиеся в породном массиве в окрестности исследуемых объектов.

В качестве примера рассмотрим результаты компьютерного моделирования для условий отработки пластов АБ и Кр.2. Строение вмещающей толщи в расчетных схемах принято в соответствии с реальным геологическим разрезом по скважине № 492.

Параметры отработки пластов АБ и Кр.2: ширина выемочных камер $a = 15,8$ м, ширина междукамерных целиков $b = 5,6$ м, вынимаемая мощность пласта АБ — 3,1 м, вынимаемая мощность пласта Кр.2 — 5,4 м. Глубина залегания верхнего пласта (по кровле) $H \sim 273$ м.

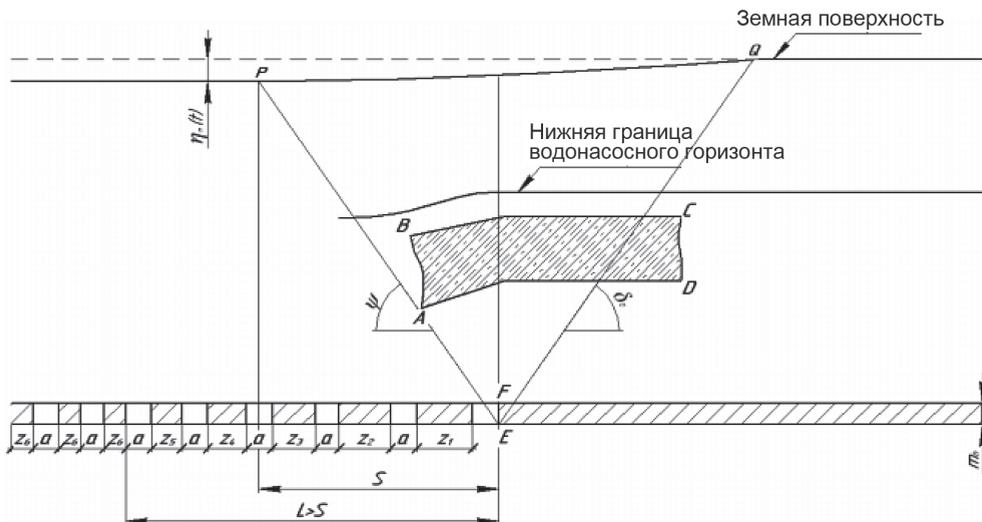
Расчетной схемой предусматривалось постепенное уменьшение размеров междукамерных целиков по мере удаления от краевой части массива от 11,2 м до

5,6 м с шагом 0,56 м. Ширина зоны с переменной шириной целиков при этом составила 220 м.

Аномальная зона моделировалась как область пород в ВЗТ с пониженными прочностными и деформационными характеристиками. Ширина аномальной зоны принята равной 150 м.

Наличие зоны с переменной шириной целиков с указанными выше параметрами «сглаживает» кривую оседаний, а также уменьшает их величину в окрестности краевой части МГП (в самой опасной зоне с точки зрения образования секущих водопроводящих трещин). Так, наличие зоны смягчения уменьшает расчетные оседания на границе «массив-ВП» на ~22,5% по сравнению с оседаниями на той же границе без зоны смягчения.

Для оценки влияния горных работ на состояние ВЗТ принята гипотеза о том, что субвертикальные водопроводящие трещины в ВЗТ возникают в результате развития в ней растягивающих деформаций. Причиной растягивающих дефор-



Примечание: $z_1 > z_2 > z_3 > z_4 > z_5 > z_6$

Рис. 3. Принципиальная схема формирования зоны смягчения под аномальной зоной ABCD, расположенной над границей шахтного поля

Fig. 3. Basic diagram of weakening zone formation under anomalous zone ABCD above the mine field boundary

маций является прогиб слоев ВЗТ после их одработки.

Согласно принятой гипотезе для оценки техногенной нарушенности ВЗТ использован деформационный критерий $[\varepsilon_x] < 0$. Данный критерий позволяет обнаружить в МГП области, где горизонтальные деформации являются растягивающими (отрицательными).

В рассматриваемом примере при отсутствии в ВЗТ аномальной зоны обеспечивается ее безопасное состояние. Суммарная мощность ненарушенных слоев удовлетворяет критерию $M \geq [M]$ ($14,8 \text{ м} > 10 \text{ м}$).

При наличии в ВЗТ аномальной зоны и отсутствии зоны с переменной шириной целиков на отработанных пластах техногенная трещиноватость развивается практически на всю высоту ВЗТ. Критерий $M \geq [M]$ не удовлетворяется ($7 \text{ м} < 20 \text{ м}$). Безопасное состояние ВЗТ не обеспечивается. Наличие в краевой части ВЗТ аномальной зоны создает условия для возникновения в ней растягивающих горизонтальных деформаций. Связано это с более низкими физико-механическими характеристиками (в частности, модуля деформаций) пород в аномальных зонах.

Использование разработанной технологии создания зоны смягчения позволяет уменьшить распространения техногенных трещин до безопасных величин. Суммарная мощность ненарушенных слоев удовлетворяет критерию $[M] > 20 \text{ м}$ ($24 \text{ м} > 20 \text{ м}$).

Уменьшить затраты времени на создание зоны с переменной шириной целиков рекомендуется путем использования технологии, позволяющей повысить интенсивность очистных работ в этой зоне.

Базовая технологическая схема ведения очистных работ на рудниках Верхнекамского месторождения включает: очистной комбайн → бункер-перегру-

жатель → самоходный вагон. Комбайн осуществляет отбойку руды, временно складировав ее в бункер-перегрузочник, а самоходный вагон доставляет полезное ископаемое от бункер-перегрузочника до места разгрузки. Основным недостатком в этой схеме является увеличение времени простоя комбайна по мере его удаления от выемочного штрека, что снижает производительность комбайнового комплекса. При этом, при длине камер, обрабатываемых на рудниках Верхнекамского месторождения и существующей технологической схеме очистной выемки коэффициент машинного времени комбайна составляет в пределах $0,15–0,25$.

Как показывает мировая практика подземной разработки месторождений полезных ископаемых, максимальная производительность проходческо-очистных комплексов достигается только в тех случаях, когда применяемые транспортные средства имеют производительность по транспортировке руды не меньше производительности комбайна независимо от длины транспортирования. Этому условию удовлетворяют комбайновые комплексы, состоящие из комбайнов и средств непрерывного транспорта за ними, т.е. конвейеров.

Для увеличения производительности труда в условиях ПАО «Уралкалий» рекомендуется технология комбайновой выемки сильвинитовых пластов, включающая комбайн непрерывной выемки типа JOY 12CM27 в комплекте с применением изгибающегося конвейерного поезда типа 4FCT. Использование данного комплекса позволяет повысить производительность труда не менее чем в $1,5–2$ раза, и увеличить извлечение руды на $30–60\%$.

Основные выводы

1. В условиях отработки продуктивных пластов Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей к числу наи-

более вероятных мест возникновения водопроводящих трещин относятся области ВЗТ, содержащие аномальные зоны и расположенные над неподвижными краевыми частями массива полезного ископаемого, формирующихся на границах шахтного поля (блоков, панелей).

2. Учитывая значительные отрицательные социальные, экологические и экономические последствия затопления рудников при проектировании их технологических схем, водозащитная толща над границами шахтного поля должна рассматриваться как:

- не обеспечивающая безопасности горных работ по фактору предотвращения прорывов подземных вод в выработанное пространство, как в период функционирования рудника, так и после его закрытия при применяемых вариантах камерной системы разработки с жесткими или податливыми целиками;

- аномальная водозащитная зона, требующая обязательного применения мер ее охраны без дифференциации на благоприятные и неблагоприятные участки отработки.

3. Снижение вероятности возникновения водопроводящих трещин в областях ВЗТ, расположенных над границей шахтного поля, достигается при опережающей отработке участков пластов, прилегающих к границе шахтного поля, камерами, которые проходят параллельно границе шахтного поля. При этом ширина целиков между камерами изменяется от определенного максимального значения в непосредственной близости от границы шахтного поля до минимального (проектного) значения на расстоянии от границы шахтного поля, равном произведению глубины горных работ на тангенс угла полных сдвижений подработанного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болтыров В. Б., Ватагина В. Е. Опасные техно-природные процессы на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей (Пермский край) / Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. Труды II Международной научно-практической конференции. — 2016. — С. 67–72.

2. Зубов В. П., Смышчанин А. Д. Снижение рисков затопления калийных рудников при прорывах в горные выработки подземных вод // Записки Горного института. — 2015. — Т. 215. — С. 29–37.

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

4. Пруггер Ф. Ф., Пруггер А. Ф. Водные проблемы в Саскачеванской калийной добыче, чему можно у них научиться // Бюллетень МГК. — 1991. — Т. 84. — № 945. — С. 58–66.

5. Асанов В. А., Паньков И. Л., Евсеев А. В. и др. Экспериментальные и теоретические исследования длительной устойчивости несущих элементов камерной системы разработки калийных пластов // Вестник пермского научного центра. — 2017. — № 1. — С. 8–14.

6. Барях А. А., Асанов В. А., Паньков И. Л. Массовое динамическое обрушение пород на руднике Верхнекамского калийного месторождения / Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы третьего Всероссийского семинара-совещания, г. Москва, 16–19 июня 2015 г. — С. 199–206.

7. Кондратов А. Б. Новая концепция и разработка технических решений по активной защите калийных рудников от затопления // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 6. — С. 27–38.

8. Лаптев Б. В. Историография аварий при разработке соляных месторождений // Безопасность труда в промышленности. — 2011. — № 12 — С. 41–46.

9. Методические рекомендации к «Указаниям по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магневых солей». Введены в действие приказом ПАО «Уралкалий» № 525 от 21.03.2017. — 2014.

10. Теннисон Л. О. К методике оценки деформированного состояния пород, слагающих водозащитную толщу в краевой части мульды сдвижения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 3. — С. 317—328.
11. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей. ПАО «Уралкалий». Введены в действие приказом ПАО «Уралкалий» № 525 от 21.03.2017.
12. Правила по защите рудников от затопления в условиях Старобинского месторождения калийных солей. — Минск: ОАО «Белгорхимпром», 2006. — 97 с.
13. Andrejchuk V. Collapse above the world's largest potash mine (Ural, Russia) // International Journal of Speleology. 2002. Vol. 31. No 1. Pp. 8.
14. Malovichko A. A., Malovichko D. A., Dyagilev R. A., Shulakov D. Y. Multi scale seismicity at potash mines. Fifteen years of seismic monitoring at Verkhnekamskoe Deposit // Rockbursts and seismicity in mine. Obninsk-Perm: 2013. Pp. 463—473.
15. Owoseni J. O., Tamarautobou E. U., Asiwaju-Bello Y. A. Application Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survej, Shagari Environ, Southwestern Nigeria. Amerikan International Journal of Contemporary Reserch. 2013. Vol. 3. No 3, pp. 38—48.
16. Hisafumi Asaue, Naoyuki Tadakumsa, Katsuaki Koike. Application of GIS to Hydrogeological Structure Modeling Aimed at Conservation of Groundwater Resources // Geoinformatics. 2014. Vol. 25, Iss. 3. pp. 159—168.
17. Belkhiri L., Narany T. S. Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify spatial variability of Groundwater quality // Water Resources Management. 2015. Vol. 29, Iss. 6. pp. 2073—2089. **IVAB**

REFERENCES

1. Boltyrov V. B., Vatagina V. E. Danger techno and native processes at the Verkhnekamskoe Deposit of potash-magnesium salts Deposit (Perm Krai). *Zashchita naseleniya i territoriy v chrezvychnykh situatsiyakh. Trudy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2016, pp. 67—72. [In Russ].
2. Zubov V. P., Smychnik A. D. The concept of reducing the risks of potash mines flooding caused by groundwater inrush into excavations. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015. Vol. 215, pp. 29—37. [In Russ].
3. Laptev B. V. Emergency situations at Verkhnekamsky potash-magnesium minefield. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2009, no 8, pp. 28—31. [In Russ].
4. Prugger F. F., Prugger A. F. Water problems in Saskatchewan potash production, what can be learned from them. *Byulleten' MGK*. 1991, Vol. 84, no 945, pp. 58—66. [In Russ].
5. Asanov V. A., Pan'kov I. L., Evseev A. V. Experimental and theoretical studies of the long-term stability of the bearing elements of the chamber system for the development of potash layers. *Vestnik permskogo nauchnogo tsentra*. 2017, no 1, pp. 8—14. [In Russ].
6. Baryakh A. A., Asanov V. A., Pan'kov I. L. Dynamic mass collapse of rock in the mine of the Verkhnekamskoye potash deposit. *Triggernye efekty v geosistemakh. Materialy tret'ego Vserossiyskogo seminar-soveshchaniya*, Moscow, 16—19 June 2015, pp. 199—206. [In Russ].
7. Kondratov A. B. New concept and development of technical solutions for the active protection of potash mines from flooding. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 6, pp. 27—38. [In Russ].
8. Laptev B. V. Historiography of accidents in the development of salt deposits. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2011, no 12, pp. 41—46. [In Russ].
9. *Metodicheskie rekomendatsii k «Ukazaniyam po zashchite rudnikov ot zatopleniya i okhrane podrabatyvaemykh ob'ektov na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliyno-magnievyykh soley»* [Methodical recommendations to «Instructions on protection of mines from flooding and protection of the worked-out objects on the Verkhnekamskoye field of potassium and magnesium salts». Put into force by the order of OJSC «Uralkali» No 525 from 21.03.2017]. 2014. [In Russ].
10. Tennison L. O. To the method of estimation of the deformed state of rocks composing the water-protective thickness in the boundary part of the displacement muld. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 3, pp. 317—328. [In Russ].

11. *Ukazaniya po zashchite rudnikov ot zatopleniya i okhrane podrabatyvaemykh ob"ektov podrabatyvaemykh ob"ektov na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliyno-magnievyykh soley. PAO «Uralkaliy»* [Instructions on protection of mines from flooding and protection of workable objects of workable objects at the Verkhnekamskoye field of potassium and magnesium salts. PJSC Uralkali. — Enacted by the order of OJSC «Uralkali» No 525 from 21.03.2017]. [In Russ].

12. *Pravila po zashchite rudnikov ot zatopleniya v usloviyakh Starobinskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley* [Rules for the protection of mines from flooding in conditions of the Starobin Deposit of potassium salts], Minsk, OAO «Belgorkhimprom», 2006, 97 p. [In Russ].

13. Andrejchuk V. Collapse above the world's largest potash mine (Ural, Russia). *International Journal of Speleology*. 2002. Vol. 31. No 1. Pp. 8.

14. Malovichko A.A., Malovichko D.A., Dyagilev R.A., Shulakov D.Y. Multi scale seismicity at potash mines. Fifteen years of seismic monitoring at Verkhnekamskoe Deposit. *Rockbursts and seismicity in mine*. Obninsk-Perm: 2013. Pp. 463–473.

15. Owooseni J.O., Tamaraubou E.U., Asiwaju-Bello Y.A. Application Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survej, Shagari Environ, South-western Nigeria. *Amerikan International Journal of Contemporary Reserch*. 2013. Vol. 3. No 3, pp. 38–48.

16. Hisafumi Asaue, Naoyuki Tadakumsa, Katsuaki Koike. Application of GIS to Hydrogeological Structure Modeling Aimed at Conservation of Groundwater Resources. *Geoinformatics*. 2014. Vol. 25, Iss. 3. pp. 159–168.

17. Belkhiri L., Narany T.S. Using multivariate statistical analysis, geostatistical techniques and structural equation modeling to identify spatial variability of Groundwater quality. *Water Resources Management*. 2015. Vol. 29, Iss. 6. pp. 2073–2089.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зубов Владимир Павлович¹ — доктор технических наук,

зав. кафедрой, e-mail: spggi_zubov@mail.ru,

Ковальский Евгений Ростиславович¹ — кандидат технических наук,

доцент, e-mail: e.r.kovalsky@gmail.com,

Антонов Сергей Викторович — горный инженер,

генеральный директор,

ООО «К-Поташ Сервис», e-mail: info@k-potash.ru,

Пачгин Владимир Вячеславович¹ — горный инженер,

e-mail: pachginv@gmail.com,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Зубов В.П., e-mail: spggi_zubov@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.P. Zubov¹, Doctor of Technical Sciences,

Head of Chair, e-mail: spggi_zubov@mail.ru,

E.R. Kovalski¹, Candidate of Technical Sciences,

Assistant Professor, e-mail: e.r.kovalsky@gmail.com,

S.V. Antonov, Mining Engineer, General Director,

K-Potash Service LLC, 238434, e-mail: info@k-potash.ru,

V.V. Pachgin¹, Mining Engineer, e-mail: pachginv@gmail.com,

¹ Saint Petersburg Mining University,

199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: V.P. Zubov, e-mail: spggi_zubov@mail.ru.

