ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(2—1):251-262
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 504.056+502.35+502.37+502.52 DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262

К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.А. Куликова[1], Т.И. Овчинникова[1]

[1] НИТУ «МИСиС»

Аннотация: Деятельность горнодобывающих предприятий оказывает негативное воздействие на геологическую среду, приводящую в результате к разрушению целостности природной среды. Для того, чтобы снизить геоэкологические риски на горнодобывающих предприятиях, необходимо проводить масштабные целенаправленные наблюдения за объектами геологической среды, в результате которых будет выявлена склонность к развитию инженерно-геологических, гидрогеологических процессов, раскрыт их механизм, а впоследствии предложены методы управления. Основной проблемой для угольных и рудных месторождений является проблема аварийных водопроявлений, с которыми связаны наиболее распространённые изменения природной среды. К ним можно отнести изменение гидродинамического режима, загрязнение подземных и поверхностных вод, активизацию деформационных процессов и др. В большей степени проблема аварийных водопроявлений характерна при добыче калийных и соляных руд, что связано с растворимостью галогенных отложений, слагающих соляную толщу. Основная опасность при разработке калийных и соляных месторождений связана с непрогнозируемостью необратимого затопления рудника и невосстановимыми потерями полезного ископаемого. Вода и рассолы, проникают через трещины, размывают породы, возникают обильные водо- и рассолопритоки, в результате чего происходит затопление рудника с последующим обрушением вышележащих пород и вследствие этого образование провалов земли на поверхности. На основе историографии аварий при разработке соляных месторождений выявлены основные причины аварийных ситуаций. Рассмотрены наиболее перспективные способы мониторинга сплошности водозащитной толщи (далее ВЗТ). Предложены мероприятия по недопущению аварийных водопроявлений и защите рудника от полного затопления, такие как тампонирование, использование специальных перемычек («ловушек») и кессонирование выработок для предупреждения и купирования водо- и рассолопритоков в выработанное пространство, и гидрозакладочные работы, применяемые для защиты межкамерных целиков (далее МКЦ) и водозащитной толщи.

Ключевые слова: геоэкологические риски, шахта, рудник; межкамерные целики; рассолопритоки; водозащитная толща, прорывы воды, гидроизоляционные перемычки, водоносные горизонты, мониторинг.

Для цитирования: *Куликова А.А., Овчинникова Т.И.* К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2—1. — С. 251–262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

© А.А. Куликова, Т.И. Овчинникова. 2021

On the issue of reducing geoecological risks at mining enterprises

A.A. Kulikova[1], T.I. Ovchinnikova[1]

[1] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia

Abstract: The activities of mining enterprises have a negative impact on the geological environment, resulting in the destruction of the integrity of the natural environment. In order to reduce geoecological risks at mining enterprises, it is necessary to carry out large-scale targeted observations of the objects of the geological environment, as a result of which a tendency to the development of engineering-geological, hydrogeological processes will be revealed, their mechanism is revealed, and as a result, management methods are proposed. The main problem for coal and ore deposits is the problem of emergency water discharges, which are associated with the most common changes in the natural environment. These include changes in the hydrodynamic regime, pollution of ground and surface waters, activation of deformation processes, etc. To a greater extent, the problem of emergency water discharges is characteristic of the extraction of potash and salt ores, this is due to the solubility of halogen deposits that make up the salt mass. The main danger in the development of potash and salt deposits is associated with the unpredictability of irreversible flooding of the mine and irreparable loss of minerals. Water and brines penetrate through cracks, erode rocks, abundant water and brine inflows occur, as a result of which the mine is flooded with the subsequent collapse of the overlying rocks and, as a result, the formation of earth sinkholes on the surface. Based on the historiography of accidents during the development of salt deposits, the main causes of accidents are identified. The most promising methods of monitoring the continuity of the water-protective layer are considered. And also proposed measures to prevent emergency water seepage and protect the mine from total flooding. Such as plugging, the use of special bridges — "traps" and caissoning of workings to prevent and arrest water and brine inflows into the worked-out space. and hydraulic filling works used to protect inter-chamber pillars and water-protective strata.

Key words: geoecological risks, mine, mine; inter-chamber pillars; brine inflows; water protection column, water breakthroughs, waterproofing bulkheads, aquifers, monitoring.

For citation: Kulikova A.A., Ovchinnikova T.I. On the issue of reducing geoecological risks at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2–1):251-262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

Введение

Деятельность горнодобывающих предприятий связана с длительным влиянием на геологическую среду, приводящим к нарушению существующего природного равновесия. Воздействие техногенных факторов на геологическую среду несет возрастающий характер, приводящий в результате к разрушению целостности природной среды. Наиболее распространенными воздействиями являются:

– нарушение ландшафта;

– деформация поверхности, связанная с осушением при разработке месторождений;

– изменение уровня грунтовых вод и подтопление выработанного пространства;

– нарушение гидродинамического режима;

– изменение химического состава подземных и поверхностных вод;

– проявление таких процессов, как оползни, сели, эрозия почвы;

– повышение сейсмической активности вблизи рудника;

– изменение температурных параметров массива горных пород,

– образование провалов [1 — 3].

Для определения этих изменений необходимо проводить масштаб-

ные целенаправленные наблюдения за объектами геологической среды, в результате которых будет выявлена склонность к развитию инженерно-геологических, гидрогеологических процессов, раскрыт их механизм, а впоследствии предложены методы управления этими процессами. Изменения в природной среде связаны с формированием и выявлением геоэкологических рисков.

Исследования геологических и гидрогеологических условий позволят выявлять изменения уровней подземных вод, а также их химический состав, граничные условия водоносных горизонтов, зоны затопления и засоления, и определять типы и объем техногенных изменений в масштабах горных работ [4].

Проблема аварийных водопроявлений характерна как для угольных, так и для рудных месторождений, но в большей степени проявляется при добыче калийных и соляных руд, где она возникает из-за растворимости галогенных отложений, слагающих соляную толщу. Ведение горных работ водорастворимых месторождений приводит к процессу трещинообразования и водопроявлений, в результате создается сложная геодинамическая ситуация, при которой возможно начало процесса провалообразования [1, 2].

Существующая опасность внезапных прорывов в выработки надсолевых вод сопровождается растворением горных пород, которые высвобождают микровключенные газы, и они выделяются в выработанное пространство, тем самым оказывая дополнительную нагрузку на вентиляционную сеть [5 — 7].

Водозащитная толща и анализ причин затопления соляных рудников

Наивысшей опасностью для водорастворимых месторождений считаются внезапные прорывы в горные выработки надсолевых вод по сети трещин, которые постепенно будут увеличивать диаметр трещин, и, соответственно, увеличивать водоприток. Поэтому безопасная эксплуатация водорастворимых месторождений связана с тем, чтобы исключить возможность образования трещин между выработками и водоносными горизонтами [8].

Основными причинами прорывов надсолевых вод в горные выработки являются:

– вскрытие каналов, которые связывают разрабатываемые пласты с водоносными горизонтами;

– вскрытие выработками некачественно затампонированных скважин;

– разрушение межкамерных целиков (далее МЦК), приводящих к нарушению целостности ВЗТ [9].

Недостаточная мощность ВЗТ при принятых параметрах горных работ может служить причиной прорыва надсолевых вод в выработанное пространство. Прорыв ВЗТ и поступление рассолов в калийный или соляной рудник процесс необратимый, приводящий к затоплению рудника, потере запасов полезных ископаемых и различным экологическим проблемам. Могут проявляться карстовые процессы над затопленным шахтным полем, которое обычно располагается под селитебной зоной [10, 11].

Непроницаемая часть горного массива, изолирующая горные выработки от водоносных горизонтов, называется ВЗТ (рис. 1).

С целью не допустить затопление соляных шахт необходимо проводить такие мероприятия, как обязательное моделирование геологических и геомеханических процессов по оценке сдвижения земной поверхности, чтобы подобрать оптимальные условия и параметры добычи полезных ископа-

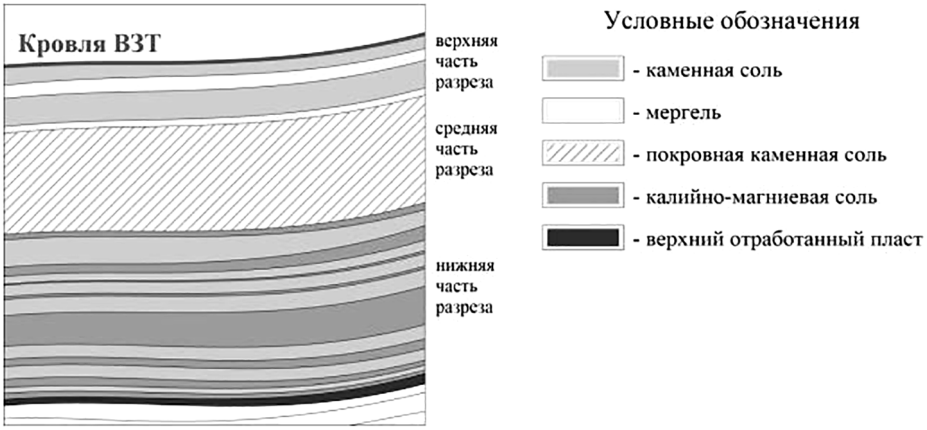

Рис. 1. Структура ВЗТ
Fig. 1. The structure of the water-protective layer

емых, проводить мониторинг и обязательно производить закладку выработанного пространства [12, 13].

По статистике в мировой практике при освоении водорастворимых месторождений можно проследить тенденцию постоянного геоэкологического риска, связанного с затоплением рудников. Причем все эти затопления связаны с неконтролируемым водопритоком. На сегодняшний день число таких предприятий около ста. Многие из них находятся в Германии, РФ, Канаде, Конго, Украине, т.е. география обширная, и, если верить статистике, любое водорастворимое месторождение сталкивается с проблемами, связанными с водопритоками в выработки.

Первые аварийные ситуации возникли на шахтах Германии, запущенных в середине XIX века. Они были связанны с прогибами кровли и с трещинами в целиках, которые привели к поступлению растворов в шахтное поле, гибели рудника и, как следствие, к активизации процессов провалообразования в районе затопления шахт. Примером влияния на затопление рудников геологических факторов, неверных представлений о характеристиках ВЗТ, недостаточности сведений о результатах тектонических воздействий на соленосную толщу можно считать потери шахт в Канаде.

На соляной шахте Ретсоф (Нью-Йорк, США) за счет выявленной породы-коллектора, заполненной солевым рассолом и газом, а также зоны трещиноватости, находящейся неглубоко над выработанным пространством, произошло обрушение вышележащих пород, результатом чего стало землетрясение мощностью в 3,6 баллов, приведшее к потере шахты [14].

На Соль-Илецком месторождении (на территории СССР) из-за аварийного водопритока произошло обрушение потолочины, что послужило причиной образования на земной поверхности провала диаметром 20 м и глубиной 15 м [8].

В 1950-е гг. на руднике (Закарпатская обл., Украина) при отработке продуктивной залежи произошел прорыв надсолевых вод в шахтное поле с появлением водопроводящих каналов в ВЗТ, которые привели к интенсивному развитию карста.

На месторождении Сент-Поль в Конго в 1969 г. при вскрытии зоны тек-

тонического нарушения разведочной выработкой произошел прорыв воды. Причиной аварии стали водопроводящие каналы при вскрытии залежи и их изоляция от остальной площади шахтного поля.

Анализ показал, что можно выделить геолого-геофизический и геохимический методы контроля как наиболее перспективные способы мониторинга сплошности ВЗТ.

С помощью геолого-геофизического метода контроля можно получать данные оседания дневной поверхности, регистрируя изменения структуры цвета соляных пород горными выработками в зонах тектонических нарушений [14].

Благодаря анализу аварийные водопроявлений на калийных предприятиях появилась возможность существенно снизить дебит аварийных притоков, но устранить все причины не удалось. Для того, чтобы сохранить шахту и более рационально проводить разработку водорастворимых месторождений, необходимо выделять прогнозно-опасные зоны кливажирования карналита и выхода глинистых пород на поверхность при проведении систематической геодезической съемки по закладываемым станциям. Данный метод контроля с проведением структурного картирования по кровле ПКС и производственным пластам позволяет найти зону динамического влияния сдвига и ослабленности ВЗТ [1, 12].

Геохимический метод контроля позволяет определить среднестатистические концентрации ^{40}Ar посредством лазерной спектроскопии. Изотопы аргона могут проникать в атмосферу выработанного пространства только при нарушении целостности ВЗТ. В случае обнаружения превышения концентрации аргона при разработке продуктивных пластов проводят геомеханические изыскания в данной зоне и разрабатывают комплекс мероприятий для недопущения аварийныхводопроявлений. Данные мероприятия проводят при различных технологических параметрах, создавая геомеханические модели, описывающие напряженно-деформированное состояние ВЗТ [15].

Мероприятия по безопасности горных работ

Система разработки водорастворимых месторождений напрямую влияет на сохранность ВЗТ. Обеспечение целостности ВЗТ должно занимать продолжительное время, распространяться на весь период эксплуатации месторождения и даже до окончания процессов сдвижения дневной поверхности. При разработке пластов пробуренные скважины являются источником потенциального попадания надсолевых вод в шахтное поле. Применение специальных технологий, связанных с растворимостью пород, ужесточает требования к мощности и количеству отрабатываемых пластов. Возле границ выработанного пространства формируют зоны смягчения, таким образом, все эти мероприятия уменьшают извлекаемость полезного ископаемого. Для выявления действительной причины водопритока, выбора безопасных систем разработки и оценки реальности выполнения мероприятий, направленных на повышение безопасности работ, является достоверная и полная исходная геологическая информация.

К особенностям разработки водорастворимых месторождений можно отнести большие масштабы горных выработок, расчлененность массива, высокую гигроскопичность солей, а вследствие этого — быстрое возрастание водопритоков, которые способствуют выделению в рудничную атмосферу свободных и микровключенных

Рис. 2. Систематизация причин аварийных ситуаций в соляных рудниках
Fig. 2. Systematization of the causes of accidents in salt mines

вредных газов и ее отравлению [8, 16]. Систематизация причин аварийных ситуаций в соляных рудниках представлена на рис. 2.

Для защиты рудника от аварийных ситуаций и от затопления применяется комплекс спецмероприятий: тампонирование, использование специальных перемычек («ловушек») и кессонирование выработок для предупреждения и купирования водо- и рассолопритоков в выработанное пространство, а также гидрозакладочные работы, применяемые для защиты МЦК и ВЗТ.

Для недопущения водопритоков в горные выработки применяют тампонирование — это меры, обеспечивающие герметичную изоляцию водоносного пласта за счет заполнения вяжущими и затвердевающими материалами трещин и полостей в горных породах. Выбор типа тампонажного материала зависит от характера включающих пород, для водоизоляции могут применять цементацию, химизацию, глинизацию, битумизацию, силикатизацию и др. [17—19].

В случае больших объемов водопритоков на водорастворимых месторождениях в подземных выработках ставят глухие перемычки — «ловушки», которые отделяют затопляемый участок от других выработок месторождения. Далее рассол перекачивают на поверхность или в специальные места (рис. 3).

Широко распространенным способом борьбы с рассолопритоками в подземные горные выработки является кессонирование выработок с целью их купирования. При перекрытии стволов глухими перемычками через один ствол нагнетается воздух, и в руднике создается давление, которое будет сдерживать поступление рассолов (рис. 3) [20].

Для обеспечения ненарушенности ВЗТ месторождения и защиты целиков, а также уменьшения оседания земной поверхности, проводят закладку очистных камер выработанного пространства. На калийных и соляных рудниках используют гидравлическую «самотвердеющую» закладку на основе солеотходов, её подают в виде пульпы,

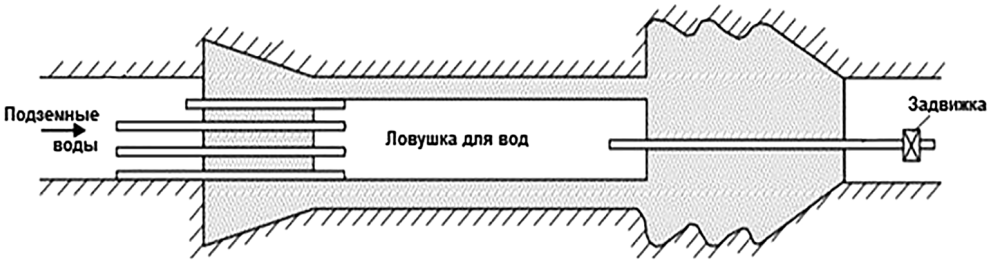

Рис. 3. Перемычки-«ловушка»
Fig. 3. Jumpers–« trap»

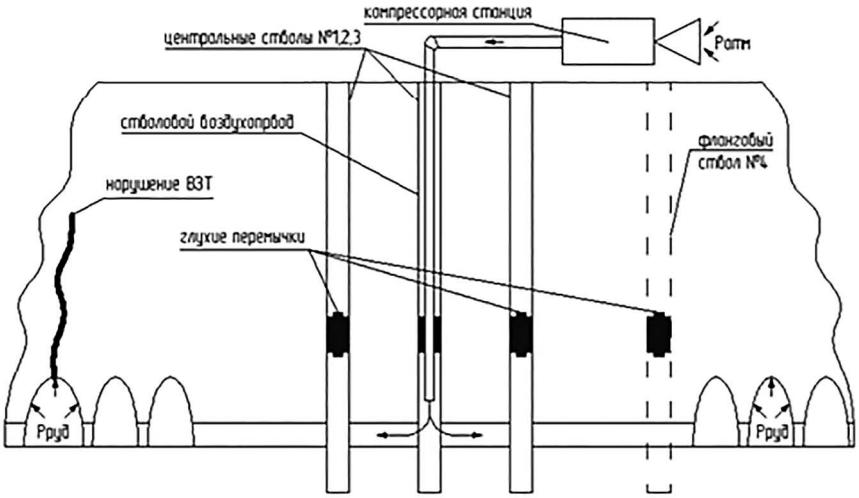

Рис. 4. Схема кессонирования рудника
Fig. 4. Scheme of mine caissoning

в дальнейшем она отдает рассол и кристаллизуются. Закладка укрепляет массив, а создаваемая сила бокового отпора, действующая на МКЦ, снижает скорость и величину его деформации.

Время устойчивого состояния МЦК определяется по формуле:

$$\Theta = \exp\left[\left(\frac{1-C}{\beta_t}\right)^{\alpha_t}\right], \text{ сут}, \qquad (1)$$

где С — степень нагружения МКЦ, доли ед.; β_t и α_t — параметры аппроксимации, равные $\beta_t = 5{,}75 \cdot 10^{-2}$; $\alpha_t = 1{,}0$.

Отсюда допустимая степень нагружения МКЦ С определяется по формуле:

$$C = 1 - 0{,}0575\ln(T_{отр} + T_{отс} + T_з + T_{ост}), \text{ сут}, \qquad (2)$$

где $T_{отр}$ — продолжительность отработки, сут; $T_З$ — продолжительность закладки, сут; $T_{отс}$ — продолжительность отставания закладочных работ от очистных работ, сут; $T_{ост}$ — продолжительность набора прочности закладочным массивом, сут [20].

Данные мероприятия несут положительный геомеханический эффект, который исключает вывалообразования из стенок МКЦ и снижает интенсивность отслаивания и отшелушивания краевых частей. Также создаются силы отпора поперечным деформациям МКЦ, исключающие «расползание»

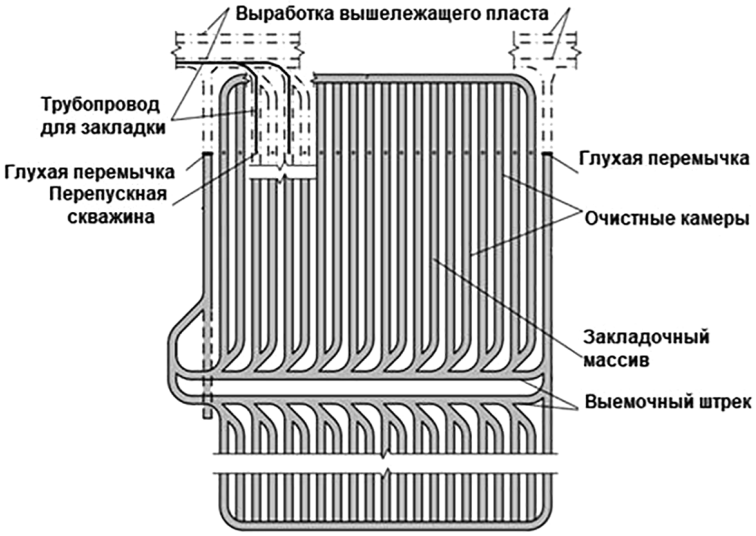

Рис. 5. Гидрозакладочные работы: [20]
Fig. 5. Hydraulic filling works: [20]

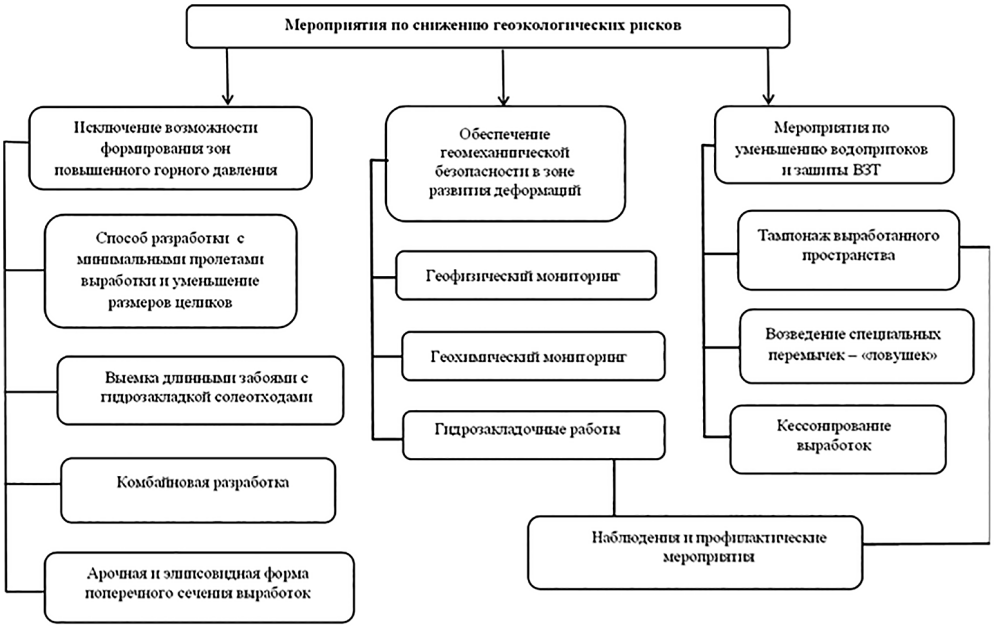

Рис. 6. Комплекс мероприятий по снижению геоэкологических рисков
Fig. 6. A set of measures to reduce geoecological risks

в стороны, в том числе и для части пород кровли, которая опускается со временем на закладочный массив. На рис. 5 представлены гидрозакладочные работы. Применением гидравлического закладочного массива на основе солеотходов достигается видимый прирост условно-мгновенной прочности МКЦ при степени закладки камер 50—90 % он составляет порядка

10 — 35 % от прочности МКЦ без закладки камер [20, 21].

Таким образом, для снижения геоэкологических рисков необходимо проводить следующие мероприятия:

– выявление зон повышенного горного давления в выработанных пространствах;

– обеспечение геомеханической безопасности, проведение мониторинга в зонах развития деформаций;

– уменьшение водопритоков и защита ВЗТ с выявлением опасных зон;

– наблюдение и профилактика, устранение негативных последствий (дозакладка выработанного пространства после усыхания при гидрозакладочных работах, дополнительная гидроизоляция). Комплекс мероприятий по снижению геоэкологических рисков представлен на рис. 6.

Заключение

В связи с нарастающим спросом на калийную продукцию появляется необходимость более эффективно и полно отрабатывать солевые месторождения, а это ведет к негативным геоэкологическим последствиям. В процессе эксплуатации водорастворимых месторождений можно снизить геоэкологические риски только при системном подходе и прогнозировании результатов техногенных воздействий. Геоэкологические риски по добыче калийной руды можно минимизировать за счет исключения возможностей формирования зон повышенного горного давления, применяя технологические схемы подготовки и отработки участков с ограниченными размерами шахтных полей, комбайновой отработкой с гидрозакладкой выработанного пространства солеотходами.

Уменьшение геоэкологических рисков подтопления соляных месторождений связано с предотвращением неконтролируемых водопритоков в горные выработки и применением предупредительных мероприятий по возведению гидроизолирующих перемычек-«ловушек», тампонированию трещин и полостей в горных породах, а также созданию в руднике необходимого давления купированием выработок кессоном, который препятствует поступлению рассолов.

Для снижения геоэкологических рисков, обеспечения геомеханической безопасности в зонах развития деформаций необходимо проводить комплексный мониторинг. Внедрение и проведение мероприятий по снижению геоэкологического риска позволит выявить опасные зоны природного и техногенного характера, обеспечивая рациональное и комплексное использование ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пелипенко М.В.*, *Баловцев С.В.*, *Айнбиндер И.И.* К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180 — 192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

2. *Зиновьева О.М.*, *Колесникова Л.А.*, *Меркулова А.М.*, *Смирнова Н.А.* Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. — 2020. — № 10. — С. 62 — 67. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

3. *Kachurin N.M.*, *Vorobev S.A.*, *Korchagina T.V.*, *Sidorov R.V.* Scientific and practical results of monitoring of anthropogenic influence on mining-industrial territories environment // Eurasian mining. 2014. No 2. Pp. 44 — 48.

4. *Batugin A.S.* Reactivation of major faults during strong rock bursts as realization of tectonic process. Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development —

Full Papers: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering. Ed. by S.A. B. da Fontoura, R.J. Rossa, J.P. Mendoza. CRC Press/Balkema, 2020. Vol. 6. pp. 1261—1268.

5. *Колесов Е.В.*, *Шалимов А.В.*, *Семин М.А.* Разработка мероприятий по отводу взрывоопасных газов из выработанного пространства при затоплении калийного рудника // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 12. — С. 60—65. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-12-60-65.

6. *Скопинцева О.В.*, *Баловцев С.В.* Оценка влияния аэродинамического старения выработок на аэрологические риски на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6—1. — С. 74—83. DOI: 10.25018/0236—1493—2020—61—0-74—83.

7. *Баловцев С.В.*, *Скопинцева О.В.*, *Коликов К.С.* Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт// Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85—94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

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

9. *Гайдин А.М.* Техногенный соляной карст // Известия вузов. Горный журнал. — 2020. — № 6. — С. 48—57. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-48-57.

10. *Rybak J.*, *Ivannikov A.*, *Kulikova E.*, *Żyrek T.* Deep excavation in urban areas — defects of surrounding buildings at various stages of construction. // MATEC Web Conf. Vol.146, 2018. https://doi.org/10.1051/matecconf/20181460201.

11. *Kulikova E.* Yu. Defects of urban underground structure and their prediction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 451(1), 012108. DOI: 10.1088/1757—899X/451/1/012108.

12. *Kashnikov Y.*, *Ermashov A.*, *Shustov D.*, *Khvostantcev D.* The increasing of exploitation safety of potassium salt deposit based on geological-geomechanical simulation Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. Set of 2 volumes. 2018. Pp. 533—539.

13. *Baryakh A.A.*, *Lobanov S.Y.*, *Lomakin I.S.* Estimation of salt rocks long-term strength in natural conditions Solid State Phenomena. 2016. T. 243. Pp. 11—16.

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

15. *Евсеев А.В.* Разработка метода непрерывного контроля устойчивости элементов системы разработки для рудников ПАО «Уралкалий»: Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. — Пермь, 2016. — С. 120—121.

16. *Ганова С.Д.*, *Скопинцева О.В.*, *Исаев О.Н.* К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2019. — Т. 330. — № 6. — С. 109—115.

17. *Харламов К.А.*, *Майский Р.А.* Подбор оптимальной концентрации добавок-пластификаторов для тампонажных материалов // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2018. Сборник трудов международной научно-технической конференции: в 2-х томах. — 2018. — С. 212—215.

18. *Куликова Е.Ю.* Оценка экологичности полимерных материалов в подземном строительстве // Экология и промышленность России. — Т.20. — № 3. — 2016. — С. 28—31.

19. *Деревяшкин И.В.*, *Кузина А.В.*, *Спиридонов В.П.* Аналитический обзор статистических данных о причинах, вызывающих осадку поверхности калийных рудников и эффективности применяемых мероприятий по защите рудников от затопления // Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 6 (92). — С. 37—40.

20. *Шкуратский Д.Н.*, *Русаков М.И.* Использование отходов производства калийных удобрений в породных смесях для закладки выработанных пространств // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2015. — № 3. — С. 87—97.

21. *Токсаров В.Н.* Методика анализа и оценки риска нарушения сплошности водозащитной толщи // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Сборник научных трудов. — Пермь, 2013. — С. 91—93. ГИАБ

REFERENCES

1. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 180—192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192. [In Russ].

2. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M. & Smirnova N.A. Environmental analysis in coal mining regions. *Ugol' — Russian Coal Journal*, 2020, no. 10, pp. 62—67. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-10-62-67.

3. Kachurin N.M., Vorobev S.A., Korchagina T.V., Sidorov R.V. Scientific and practical results of monitoring of anthropogenic influence on mining-industrial territories environment. *Eurasian mining*. 2014. no. 2. Pp. 44—48.

4. Batugin A.S. Reactivation of major faults during strong rock bursts as realization of tectonic process. Rock Mechanics for Natural Resources and Infrastructure Development — Full Papers: Proceedings of the 14th International Congress on Rock Mechanics and Rock Engineering. Ed. by S.A. B. da Fontoura, R.J. Rossa, J.P. Mendoza. CRC Press/Balkema, 2020. Vol. 6. pp. 1261—1268.

5. Kolesov E.V., Shalimov A.V., Semin M.A. Development of the Activities for Explosive Gases Removal from the Worked-out Area in Case of Potash Mine Flooding. Occupational Safety in Industry. 2019, no. 12, pp. 60—65. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-12-60-65. [In Russ].

6. Skopintseva O.V., Balovtsev S.V. Evaluation of the influence of aerodynamic aging of production on aerological risks on coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6—1):74—83. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-74-83.

7. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):85—94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

8. Zubov V.P., Smychnik A.D. The concept of reducing the risks of potash mines flooding caused by groundwater inrush into excavations. *Journal of Mining Institute*. 2015. T. 215, pp. 29—37. [In Russ].

9. Gaidin A.M. Technogenic salt karst. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. *Mining Journal*. 2020; 6: 48—57 [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-6-48-57.

10. Rybak J., Ivannikov A., Kulikova E., Żyrek T. Deep excavation in urban areas — defects of surrounding buildings at various stages of construction. MATEC Web Conf. Vol. 146, 2018. https://doi.org/10.1051/matecconf/20181460201.

11. Kulikova E. Yu. Defects of urban underground structure and their prediction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 451(1), 012108. DOI: 10.1088/1757—899X/451/1/012108.

12. Kashnikov Y., Ermashov A., Shustov D., Khvostantcev D. The increasing of exploitation safety of potassium salt deposit based on geological-geomechanical simulation Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses. Set of 2 volumes. 2018. C. 533—539.

13. Baryakh A.A., Lobanov S.Y., Lomakin I.S. Estimation of salt rocks long-term strength in natural conditions Solid State Phenomena. 2016. T. 243. Pp. 11—16.

14. Laptev B.V. Istoriografiya avariy pri razrabotke solyanykh mestorozhdeniy [Historiography of accidents during the development of salt deposits]. Occupational Safety in Industry. 2011, no. 12, pp. 41—46 [In Russ].

15. Evseev A.V. *Razrabotka metoda nepreryvnogo kontrolya ustoychivosti elementov sistemy razrabotki dlya rudnikov PAO «Uralkaliy»: Strategiya i protsessy osvoyeniya georesursov. Sbornik nauchnykh trudov* [Development of a method for continuous monitoring of the stability of the elements of the development system for the mines of PJSC "Uralkali": Strategy and processes for the development of georesources. Collection of scientific papers]. Perm, 2016, pp. 120—121. [In Russ].

16. Ganova S.D., Skopintseva O.V., Isaev O.N. On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their potential hazard. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*. 2019, t. 330, no. 6, pp. 109—115. [In Russ].

17. Kharlamov K.A., Maisky R.A. *Podbor optimal'noy kontsentratsii dobavok-plastifikatorov dlya tamponazhnykh materialov. Sovremennyye tekhnologii v neftegazovom dele — 2018. Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno.-tekhnicheskoy konferentsii: v 2-kh tomakh* [Selection of the optimal concentration of additives-plasticizers for grouting materials // Modern technologies in oil and gas business — 2018. Proceedings of the international scientific and technical conference: in 2 volumes]. 2018, pp. 212—215 [In Russ].

18. Kulikova E. Yu. Assessment of polymer materials environmental compatibility in underground development. *Ecology and Industry of Russia*, 2016. Vol. 20. Iss. 3. Pp. 28 — 31. DOI: 10.18412/1816-0395-2016-3-28-31 [In Russ].

19. Derevyashkin I.V., Kuzina A.V., Spiridonov V.P. Analytical review of the statistical data about the reasons for the surface subsidence at potash mine yards and efficiency of applied protection measures from the mine flooding. *Marksheyderiya i nedropol'zovaniye [Mine survey and subsoil use]*. 2017. no. 6 (92). Pp. 37—40 [In Russ].

20. Shkuratskiy D. N, Rusakov M. I *Ispol'zovaniye otkhodov proizvodstva kaliynykh udobreniy v porodnykh smesyakh dlya zakladki vyrabotannykh prostranstv. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Use of potash fertilizers production waste in rock mixtures for backfilling of mined-out spaces. Bulletin of the Tula State University. Earth Sciences]. 2015. no. 3. Pp. 87—97. [In Russ].

21. Toksarov V.N. *Metodika analiza i otsenki riska narusheniya sploshnosti vodozashchitnoy tolshchi. Strategiya i protsessy osvoyeniya georesursov. Sbornik nauchnykh trudov* [Methods of analysis and assessment of the risk of disruption of the continuity of the water-protective strata. Strategy and processes of development of georesources. Collection of scientific papers]. Perm, 2013, pp. 91—93. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Александра Анатольевна — старший преподаватель, e-mail: alexaza_@mail.ru, НИТУ «МИСиС»;
Овчинникова Татьяна Игоревна — доктор технических наук, зав. кафедрой, e-mail: ovchinnikova_ti@mail.ru, НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Куликова А.А., e-mail: alexaza_@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kulikova A.A., Senior Lecturer, e-mail: alexaza_@mail.ru, NUST «MISiS», Moscow, Russia;
Ovchinnikova T.I., Dr. Sci. (Eng.), Head of Chair, e-mail: ovchinnikova_ti@mail.ru, NUST «MISiS», Moscow, Russia.
Corresponding author: A.A. Kulikova, e-mail: alexaza_@mail.ru.

Получена редакцией 14.12.2020; получена после рецензии 28.12.2020; принята к печати 01.02.2021.
Received by the editors 14.12.2020; received after the review 28.12.2020; accepted for printing 01.02.2021.