


4. Войтенко В. С., Смычник А. Д., Шемет С. Ф. Применение колтюбинговых технологий при разработке соляных залежей // *Время колтюбинга*. 2006. № 2 (016). С. 18–23. 

Войтенко Владимир Сергеевич,
тел.: + 375 (29) 663-08-41

Шемет Сергей Федорович,
e-mail: bmci@bmci.by
Гречко Анатолий Михайлович,
тел.: + 375 (17) 234-74-94
Шутин Сергей Георгиевич,
тел.: + 375 (17) 234-60-86

SEARCH OF EFFICIENT TECHNOLOGIES OF DEVELOPMENT OF THIN POTASSIUM LAYERS BY UNDERGROUND DISSOLUTION METHOD

Voytenko V. S.¹, Chairman, Professor, Doctor of Engineering Sciences, phone: + 375(29) 663-08-41
Shemet S. F.², Chief Executive Officer, Assistant Professor, Doctor of Engineering Sciences
Grechko A. M.², Deputy Chief Executive Officer, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
Shutin S. G.², Head of Department, Candidate of Chemical Sciences

¹ Belorussian Mining Society (Minsk, Republic of Belarus)

² «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

This article gives the exploration developments of schemes of designs and technologies of extraction of thin potassium salt layers (as applied to the conditions of Starobinsky deposit) by method of underground dissolution of salts as an efficient alternative to traditional underground mining method. In authors' opinion, industrial mastering of the given technologies allows to expand the raw materials base of potassium enterprises and increase the efficiency of extraction of sylvinit reserves by method of underground dissolution of salts.

This possibility requires the following operations:

- transition from the stage of exploration works to complex scientific-research, design-development and experimental-design activities, which include the development of detailed schemes, technological parameters and regulations of formation of tunnel chambers;
- carrying out of low-scale experiments on wash-outs of layer part in mine conditions;
- development of target designs of coiled tubing unit for underground dissolution of potassium salts;
- creation of high-accuracy instruments of positioning of working unit of installation;
- development of methods and parameters of wave influence on deposit and other tasks.

Key words: *underground dissolution of salts, Starobinsky potassium salt deposit, thin layers, wash-out control, brines, tunnel chambers, shock wave, coil tubing, experiments, modeling.*

REFERENCES

1. Permyakov R. S., Romanov V. S., Beldy M. P. *Tekhnologiya dobychi soley* (Salt extraction technology). Leningrad : Nedra, 1981. 272 p.
2. Karatygin E. P., Kublanov A. V., Pustynnikov L. M., Chantsev V. P. *Podzemnoe rastvorenie solyanykh zalezhey* (Underground dissolution of salt deposits). Saint Petersburg : Gidrometeoizdat, 1994. 220 p.
3. A. I. Bazhal et al. Certificate of Authority No. 1701896, USSR, MKI E 21B 43/28. Bulletin No. 48. 1991.
4. Voytenko V. S., Smychnik A. D., Shemet S. F. *Primenenie koltyubingovykh tekhnologiy pri razrabotke solyanykh zalezhey* (Application of coil tubing technologies during the development of salt deposits). *Vremya koltyubinga – Coiled tubing times*, 2006, No. 2 (016), pp. 18–23.

УДК 622.844:622.514/.515:622.363.2

С. Ф. ШЕМЕТ, С. Г. ШУТИН (ОАО «Белгорхимпром»)

ЗАЩИТА КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ ОТ РАССОЛОПРИТОКОВ



С. Ф. ШЕМЕТ,
генеральный директор,
д-р техн. наук



С. Г. ШУТИН,
зав. отделом,
канд. хим. наук

Рассмотрена одна из важнейших и сложных проблем защиты калийных рудников от затопления минерализованными и другими водами. Дан обзор основных способов, конструктивных и технических решений по гидроизоляции подземных выработок от рассолопритоков и предотвращению затопления рудников. Подчеркнута необходимость комплексного решения водозащитных задач, в том числе с учетом специфики минерально-химического состава рассолов и вмещающих пород, физико-химических процессов их взаимодействия (межфазного обмена) на границе «рассол–порода».

Ключевые слова: *месторождения растворимых солей, водозащитная толща, прорывы воды, гидроизоляционные перемычки, гидравлический напор, водоносные горизонты, рассолы, вмещающие породы, минерально-химический состав, межфазный обмен, мониторинг.*

Наиболее серьезной проблемой разработки месторождений растворимых солей являются внезапные прорывы пресных вод или ненасыщенных рассолов, которые, попадая в горные выработки, легко растворяют соли и сопутствующие им породы. При этом остановить возникший приток чаще всего не удается. Известны аварийные затопления рудников БКРУ-3 и БКРУ-1 ОАО «Уралка-
© Шемет С. Ф., Шутин С. Г., 2014

лий» в 1986 и 2006 гг., более 15 рудников в Германии («Иессенитц», «Фридрих-Франц» и др.), более 15 — в Канаде: (Unity, Yarrow, Allan, Gerald, Vanscoy и др.). Продолжается борьба с прорывом воды на руднике K2 канадской компании Mosaik, где объем рассолопритока за 2010 г. составил 3,9 млн м³ (454 м³/ч). Убытки от затопления калийных шахт и потери запасов полезного



ископаемого измеряются миллиардами и десятками миллиардов долларов США. По приблизительным оценкам, они составляют порядка 7 млрд долл. в расчете на 70 млн т эксплуатационных запасов.

Внезапные прорывы вод и рассолов в подземные горные выработки имеют место и при разработке углей, металлических руд и других полезных ископаемых. Разработанные для них способы ликвидации водопритоков в значительной мере применимы к калийным месторождениям, но являются недостаточными: их ликвидация на калийных рудниках представляет собой гораздо более сложную задачу, что связано со спецификой геологического строения месторождений и физико-химического взаимодействия воды (рассола) с вмещающими породами калийных выработок.

Проблемы ликвидации внезапных прорывов воды в горные выработки не остаются без внимания исследователей. В работе [1] обобщен мировой опыт ликвидации подобных аварий, предложены критерии их систематизации и дано описание наиболее распространенных способов борьбы с водопритоками. В работе [2] рассмотрены случаи затопления калийных и каменно-соляных шахт в Германии, Канаде, Конго и СССР; предложены критерии безопасной выемки полезного ископаемого в условиях подработки водных объектов и меры по предотвращению аварийных расслопритоков. Вопросам гидроизоляции калийных и каменно-соляных выработок, в том числе с применением перемычек, посвящен ряд обзорных работ [3–9]. В частности, в работе [6] проанализированы результаты ликвидации и предупреждения прорывов воды в горизонтальные выработки каменно-соляных рудников Week Island (Луизиана, США) и Wilhelmine-Carlsgluck Mine, а также калийных рудников: Hope Mine в Северной Германии, Rocanville Potash Mine и K2 Mine (Esterhazy) в Канаде. Рассмотрен также опыт гидроизоляции вертикальных шахтных выработок.

К настоящему времени предложено много конструкций гидроизоляционных перемычек, однако опыт их успешного применения на калийных месторождениях невелик. В связи с этим сохраняет актуальность конструкция гидроизоляционной перемычки с трубой-лазом, люком и воздушной контрольной камерой, разработанная еще в 1960-х годах специалистами ВНИИГ и Стебниковского калийного комбината и использованная впоследствии на рудниках СКПРУ-2 ОАО «Уралкалий» и ПО «Артемсоль» [3, 4]. В руководстве по проектированию и строительству водоизолирующих перемычек в действующих шахтах [10] обобщен лучший, по мнению его авторов, современный опыт применения безврубных перемычек, приведены их параметры для различных напоров и даны практические рекомендации, многие из которых вполне приемлемы и для врубных вариантов, в частности, критерии выбора конструкции перемычки в зависимости от гидравлического напора и подготовки места их установки, последовательности возведения, оценки минимальной длины и допустимых сдвиговых напряжений, конструкционных материалов, опалубки, способов и допустимых давлений тампонажа, испытаний и мониторинга.

Результаты исследований по гидроизоляции подземных выработок с помощью перемычек для целей хранения ядерных отходов, полученные в ряде лабораторий Франции, Японии, Чехии,

Кореи, Швейцарии, Швеции, Канады [11], представляют интерес для калийных рудников ввиду определенных аналогий и жестких требований к конструкции перемычек и местам их возведения. В ОАО «Белгорхимпром» проводят системные исследования способов ликвидации и предотвращения затоплений рудников; новые технические решения, касающиеся конструкций временных и постоянных перемычек, а также иных способов борьбы с расслопритоками в калийные выработки защищены патентами [12–16] и заявками на регистрацию патентов.

Для калийных рудников наиболее распространенным случаем является прорыв рассола в выработку. Даже если источник представлен относительно пресной водой, то она, фильтруясь, например через трещины в водозащитной толще (ВЗТ) (обычно каменная соль или глинисто-мергелистая толща), становится высокоминерализованной. Источниками прорывов воды (рассола) в калийные выработки являются водоносные горизонты; обводненные горные породы, локализованные в замкнутых объемах (мульды, каверны, карст); ранее затопленные горные выработки; поверхностные водоемы; ливневые и паводковые воды. В 85–90 % случаев прорывы происходят из подземных водоемов и водоносных горизонтов [1]. В природных условиях существует квазистатическое равновесие между рассолами и вмещающими их породами горного массива. При этом состав рассолов зависит прежде всего от состава водорастворимых пород, с которыми он контактирует. Их минерализация может быть различной, однако максимальные ее значения наблюдаются в приконтактной зоне, например между рассольными горизонтами и подстилающими их породами.

Пути для движения рассола могут возникать в зонах трещиноватости или пористости; по геологическим нарушениям (разломам); в ВЗТ при прогибах пластов-коллекторов, наличии крупных эрозийных зон, карстовых нарушений и др. При проведении горной выработки в относительной близости от источника рассола может происходить ослабление вмещающих пород деформацией массива на участке между выработкой, источником рассола или природным коллектором, с формированием фильтрационных каналов и проникновением в них, а затем и в выработку, рассолов. В процессе дренажа концентрированных рассолов из приконтактной зоны они могут замещаться и перемешиваться с более слабыми, что способствует дальнейшему размыву канала фильтрации, если он образовался в глинистых или водорастворимых породах.

Возникновение гидравлической связи источника с калийной выработкой возможно также через ненарушенные техногенными воздействиями пласты хорошо растворимых пород при вымывании в них включений, пропластков и жил [2, 5]. При этом расслопроводящий канал размывается, дебит нарастает, а минерализация снижается, что ускоряет развитие канала и затопление выработки. По этой причине водоотлив как долговременный способ ликвидации прорывов воды в калийные выработки в общем случае неэффективен и даже опасен, но в комплексе с другими мероприятиями при благоприятных горно-геологических условиях может продлить срок эксплуатации рудника. Например, на канадской шахте K2 компании Mosaic затопление рудника K2 и связанного с ним горными выработками рудника K1, находящегося на

расстоянии около 10 км от К2, предотвращают непрерывной откачкой воды из подземного рассолоприемника с выдачей на поверхность, одновременно закачивая в зону подтопления хлорид кальция, реагирующий с солями рассола (сульфаты) с образованием гипса, который связывает воду и осаждается, снижая фильтрацию. При этом затраты на откачку рассола и поддержание возможности дальнейшей эксплуатации рудника непрерывно растут и в 2012 финансовом году были запланированы в объеме 249 млн долл. США, включая 44 млн долл. капитальных затрат.

При добыче сильвинитов борьба с рассолопритоком осложняется наличием в составе вмещающих подтапливаемую выработку пород, как правило, сразу нескольких водорастворимых минералов: хлоридов, сульфатов, карбонатов, бромидов и других солей — калия, натрия, магния, кальция и т. д. Часто, оценивая опасность размыва пород горной выработки при появлении в ней рассола, оперируют величиной его общей минерализации, не учитывая специфики физико-химических процессов, протекающих при растворении вмещающих выработки пород. Между тем без учета специфики межфазного обмена на границе «рассол–вмещающие породы» проблему обеспечения герметичности перемычек, возводимых в калийных выработках, решить невозможно.

Учитывая особенности геологии калийных месторождений и физико-химическую природу растворения минеральных солей, защита горных выработок от рассолопритоков предполагает осуществление комплекса мероприятий, включающих воздействие на источник рассола, сам рассол, рассолопроводящий канал и подземную выработку.

Снижение вероятности разрушения (растворения) слагающей горную выработку породы может быть достигнуто путем восстановления природного равновесия замещением ненасыщенных рассолов насыщенными в устье рассолопроводящего канала, например, закачкой раствора заданного состава через пробуренную с поверхности земли или из горной выработки скважину в зону образования рассолопроводящего канала. Для этой цели могут быть использованы глинистая и соляная пульпа, содержащая кристаллы всех солей, необходимых для насыщения рассола. При этом глинистые частицы совместно с кристаллами солей будут не только препятствовать разбавлению рассола, но и кольматировать фильтрационные каналы.

Восстановить существовавшее до начала прорыва рассола природное равновесие можно также путем закачки через скважину, пробуренную с поверхности, тампонажного материала в зону фильтрации рассола из источника. Это затратный, но один из наиболее кардинальных путей решения проблемы, особенно учитывая суффозию глинистых частиц с рассолом (как это происходит во многих случаях затопления рудников), которая разуплотняет породу в районе рассолопроявления, провоцирует различные подвижки и обрушения, вплоть до оседания земной поверхности, дальнейшее увеличение дебита рассолопритока.

Широко распространенным способом борьбы с рассолопритоками в подземные горные выработки на угольных и других месторождениях твердых полезных ископаемых является сооружение гидроизоляционных перемычек, конструкции которых должны вы-

держивать расчетное гидростатическое давление и исключать фильтрацию флюида в зону ведения горных работ как через тело перемычки, так и по контакту ее с породой. При конструировании перемычки следует применять технические решения, обеспечивающие возможность контроля герметичности и гидростатического напора перед перемычкой, и материалы, устойчивые к агрессивному действию рассола, а также учитывать многие другие факторы. Перемычки могут быть с лазером и без него, тубингового типа, с уплотняющими элементами и др. Для обеспечения герметичности контакта перемычек с вмещающими породами применяют опрессовку, герметики, расширяющиеся бетоны и другие способы.

При этом создание даже очень надежной бетонной «пробки» не исключает попадания рассола в охраняемую зону, если поступающие рассолы насыщены не по всем водорастворимым солевым компонентам в составе вмещающих выработку пород. В этом случае создается ситуация возможного движения рассолов в обход гидроизоляционных сооружений (рис. 1).

Для предотвращения размыва выработки и обхода перемычки необходимо насыщать поступающий в выработку рассол либо с поверхности, либо закачкой насыщенного по всем необходимым компонентам рассола непосредственно в зону рассолопроявления через временную перемычку. В последнем случае закачку насыщенного рассола за перемычку можно осуществить вблизи кровли выработки для лучшего смешения с поступающим рассолом. Лучший результат достигается при использовании, вместо чистого насыщенного рассола, пульпы глины и кристаллов солей в насыщенном рассоле, не допуская при этом забивки рассолопроводов. Такие меры позволяют предотвратить возможный прорыв рассола в обход временной перемычки и обеспечить нормальные условия возведения постоянной перемычки и закладки пространства между перемычками. В связи с этим необходимым требованием для перемычки в калийной выработке является наличие систем контроля минерализации и состава рассола, а также давления за перемычкой.

Перемычки в калийных выработках необходимо возводить оперативно и качественно с подготовкой вруба, повышающего

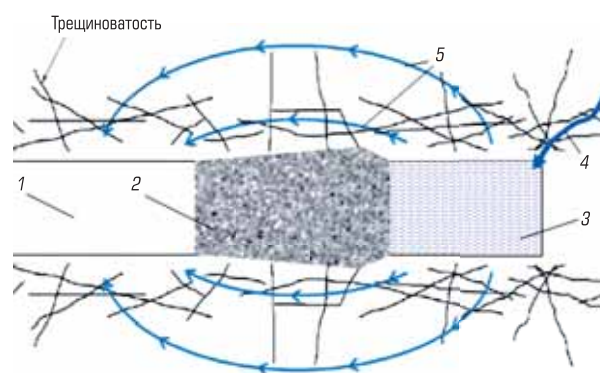


Рис. 1. Схема возможного движения рассолов в обход гидроизолирующей перемычки:

1 — охраняемая часть выработки; 2 — перемычка; 3 — зона затопления; 4 — рассолопроводящий канал; 5 — пути обхода перемычки рассолом

несущую способность перемычки относительно гидростатического напора, закладкой трубопровода для организованного рассолоотлива, монтажом средств отбора проб рассола, контроля давления за перемычкой и др.

Сооружение нескольких перемычек в виде каскада с заполнением (закладкой) пространства между ними значительно удлиняет путь возможного проникновения рассолов из зоны подтопления в охраняемую выработку и снижает вероятность растворения пород массива в направлении охраняемой выработки. Закладка может осуществляться, например, рудным материалом или различными солями для насыщения рассола. Свободное пространство заполняют насыщенным по всем компонентам рассолом, восстанавливая таким образом природное равновесие между рассолом и вмещающей породой в зоне перемычек и снижая вероятность «обхода» перемычек приточным рассолом. Насыщенный рассол, заполняя трещины и щели, препятствует проникновению в них приточного рассола и их размыву. Если же некоторое количество ненасыщенного рассола все же попадет в пространство между перемычками, в результате смешения с насыщенным рассолом его растворяющая способность резко снизится. Учитывая, что растворение солей является поверхностным процессом, насыщение рассола произойдет не за счет растворения стенок выработки, а вследствие растворения закладочного материала, имеющего за счет его дисперсности во много раз большую площадь контакта с рассолом. Состав закладочного материала выбирают в зависимости от составов подтапливающего выработку рассола и водорастворимых пород на участке между перемычками.

В связи с морским происхождением большинства соляных месторождений им присуща слоистость, наличие геологических неоднородностей и переслаивание глинами (рис. 2). При этом глинистые, глинисто-мергелистые слои и пропластки содержат растворимые соли, и если в выработке нарушена слоистость, и ненасыщенный рассол получил доступ к глинистым породам, то происходит растворение солей и разрушение (размыв) глин. В окружении крепких пород и в условиях горного давления глинистые минералы являются водоупором: набухая, они перекрывают каналы фильтрации воды. Однако в свободном или частично свободном состоянии (например, в стенках выработки) галопелиты под действием воды или рассола способны размягчаться и расслаиваться (рис. 3), что может способствовать обходу перемычки с возникновением канала фильтрации, суффозией глинистых частиц и увеличением притока рассола. Кроме того, наличие размягченных глинистых прослоев может привести к их

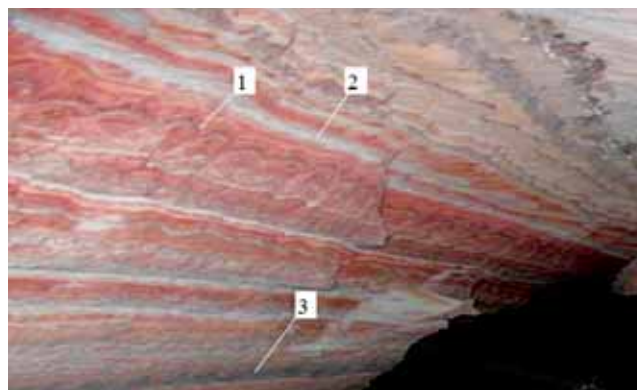


Рис. 2. Слоистость пород в калийной выработке:

1 — сильвинит; 2 — галит; 3 — серая глина

выдавливанию под напором рассола в охраняемую часть выработки. В связи с этим необходима расчетная и экспериментальная оценка ситуации для разработки соответствующих технических решений. Прежде всего необходимо выявлять ослабленные зоны, по которым может происходить выдавливание глины. Следует отметить также, что при проведении горной выработки находящиеся в состоянии естественной влажности глинистые прослои усыхают на контакте с атмосферным воздухом и растрескиваются (рис. 4). При этом трещины от усушки глинистых прослоев могут в дальнейшем стать проводниками рассола.

Одной из сложных проблем является обеспечение надежной гидроизоляции контакта перемычки с горной выработкой. Наряду с известными методами (применение специальных цементов и наполнителей, затворение цементной смеси рассолами, тампонаж и опрессовка цементными и полимерными составами) специалистами ОАО «Белгорхимпром» предложен физико-химический способ предохранения стенок выработки от растворения, герметизации контакта «бетон—выработка», предусматривающий залечивание рассолопроводящих щелей и трещин путем выкристаллизации солей из насыщенных растворов при добавлении высаливающего агента.

Необходимо также учитывать такую специфическую особенность соляных пород, как ползучесть — способность к пластическому течению при высоких давлениях на больших глубинах. При этом в рассольной среде интенсивность пластических деформаций резко возрастает, что в силу анизотропии деформационно-прочностных свойств вмещающих пород создает опасность появления трещин и разгерметизации их контакта с перемычкой. В связи с этим после возведения перемычек и остановки рассолопритока необходимо обеспечить

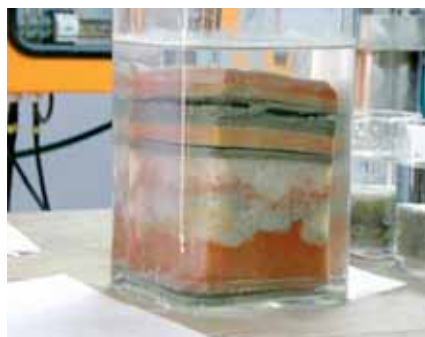


Рис. 3. Сильвинитогалитовый образец (калийное месторождение) с прослоями серой глины после набухания в насыщенном по KCl и NaCl рассоле



Рис. 4. Трещины усушки глинистых слоев на стенке горной выработки — потенциальные рассолопроводники



постоянный мониторинг состояния аварийного участка с проведением дополнительного комплекса геологоразведочных мероприятий по актуализации данных об источниках расслопления и предупреждению повторного прорыва рассола: гидрологические наблюдения, геофизические исследования, моделирование гидрогеологической ситуации, исследование влияния состава рассола и параметров горных пород на характер размыва массива в зоне ведения горных работ и др.

Библиографический список

1. Калмыков Е. П. Борьба с внезапными прорывами воды в горные выработки. — М.: Недра, 1973. — 240 с.
2. Швецов Г. И. Проблемы защиты калийных рудников от затопления // Горный журнал. 2007. № 8. С. 71–74.
3. Козлов С. С., Варламов А. А., Парфенов А. П. Гидроизоляция горных выработок на калийных рудниках в Советском Союзе и ГДР // Развитие калийной промышленности, обзорная информация. — М.: НИИТЭХИМ, 1976. — 32 с.
4. Хавротин Г. П., Крайнев Б. А., Корсаков А. Н. Строительство и эксплуатация гидроизоляционных сооружений на калийных и соляных рудниках. — М.: НИИТЭХИМ, 1989. — 33 с.
5. Berest P., Brouard B., Feuga B. Dry Mine Abandonment. — Wichita (Kansas, USA): SMRI — Spring 2004 Conference, 18–21 April.
6. Eyermann T. J., Van Sambeek L. L., Hansen F. D. Case Studies of Sealing Methods and Materials Used in the Salt and Potash Mining Industries. Sandia Report. — 1995. — 82 p.
7. Кондратов А. Б. Современные инъекционные технологии защиты калийных рудников от затопления с предварительным кессонированием выработанного пространства. Геомеханика в горном деле: докл. науч.-технич. конф., Екатеринбург, 14–15 октября, 2009 г. — Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2009. С. 298–310.
8. Швецов Г. И. Проблемы защиты калийных рудников от затопления // Горный журнал. 2007. № 8. С. 71–74.
9. Лаптев Б. В. Аварийные ситуации на Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 8. С. 28–31.
10. The Design and Construction of Water Impounding Plugs in Working Mines. — Sheffield (UK): HM Inspectorate of Mines Health and Safety Executive Foundry House, 2003.
11. Dixon, A. Plugs for deposition tunnels in a deep geologic repository in granitic rock. Concepts and experience / D. A. Dixon, L. Borgesson, D. Gunnarsson, A. J. Hansen — Stockholm: SKB, 2009. — Rapport R-09-50. — 53 p.
12. Патент ЕА 009799. Способ защиты калийного рудника от затопления.
13. Патент ЕА 009800. Способ защиты рудника от затопления.
14. Патент ЕА 012289. Шахтная гидроизоляционная перемычка.
15. Патент ЕА 014007. Способ возведения гидроизоляционной перемычки в подземной выработке.
16. Патент ЕА 015486. Способ сооружения шахтной самоуплотняющейся гидроизоляционной перемычки.

Шемет Сергей Федорович,

Шутин Сергей Георгиевич:

e-mail: bmci@bmci.by

PROTECTION OF POTASSIUM MINES FROM BRINE INFLOWS

Shemet S. F.¹, Chief Executive Officer, Assistant Professor, Doctor of Engineering Sciences, e-mail: bmci@bmci.byShutin S. G.¹, Head of Department, Candidate of Chemical Sciences¹ «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

Sudden intrusions of waters and brines into underground excavations take place during the development of coals, metallic ores and other minerals. Methods of liquidation of water inflows, developed for such intrusions, are considerably applicable to potassium deposits. However, these methods are insufficient: their liquidation at potassium mines is rather more complex task, connected with specifics of geological structure of deposits and physical-chemical influence of water (brine) with deads of potassium excavations.

Guaranteeing of safe hydroisolation of contact of dam with excavation is one of complex problems. Together with well-known methods (application of special cements and fillers, hydration of cement mix by brines, tamping and molding by cement and polymeric structures), the specialists by «Belgorkhimprom» JSC offered a physical-chemical method of protection of excavation walls from dissolution and capsulation of «concrete-excavation» contact. This method foresees the healing of brine-supply cracks and fissures by crystallization of salts from saturated brines with addition of salting agents.

Key words: deposits of soluble salts, waterproof strata, water irruptions, hydroisolation dams, hydraulic pressure, hydraulic head, water-supply horizons, brines, deads, mineral-chemical composition, interphase changing, monitoring.

REFERENCES

1. Kalmykov E. P. *Borba s vnezapnymi proryvami vody v gornye vyrabotki* (Prevention of sudden water inflows into excavations). Moscow: Nedra, 1973, 240 p.
2. Shvetsov G. I. *Gornyi Zhurnal – Mining Journal*, 2007, No. 8, pp. 71–74.
3. Kozlov S. S., Varlamov A. A., Parfenov A. P. *Gidroizolyatsiya gornykh vyrabotok na kaliynykh rudnikakh v Sovetskom Soyuze i GDR* (Waterproofing of excavations at potassium mines in Soviet Union and German Democratic Republic). *Razvitie kaliynoy promyshlennosti, obzornaya informatsiya* (Development of potassium industry. Review information). Moscow: Scientific-Research Institute of Engineering-Chemical Researches in Chemical Complex, 1976, 32 p.
4. Khavrotin G. P., Kraynev B. A., Korsakov A. N. *Stroitelstvo i ekspluatatsiya gidroizolyatsionnykh sooruzheniy na kaliynykh i solyanykh rudnikakh* (Construction and exploitation of waterproof buildings at potassium and salt mines). Moscow: Scientific-Research Institute of Engineering-Chemical Researches in Chemical Complex, 1989, 33 p.
5. Berest P., Brouard B., Feuga B. Dry Mine Abandonment. Wichita (Kansas, USA): SMRI – Spring 2004 Conference, 18–21 April.
6. Eyermann T. J., Van Sambeek L. L., Hansen F. D. Case Studies of Sealing Methods and Materials Used in the Salt and Potash Mining Industries. SANDIA REPORT. 1995, 82 p.
7. Kondratov A. B. *Sovremennye inektsionnye tekhnologii zashchity kaliynykh rudnikov ot zatopeniya s predvaritelnyim kessonirovaniem vyrabotannogo prostranstva. Geomekhanika v gornom dele: doklad nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Ekaterinburg, 14–15 oktyabrya, 2009* (Modern injection technologies of protection of potassium mines from flooding with preliminary compressed-air sinking of worked-out space. Geomechanics in mining: report of scientific-technical conference, Ekaterinburg, October 14–15, 2009). Ekaterinburg: Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2009, pp. 298–310.
8. Shvetsov G. I. *Gornyi Zhurnal – Mining Journal*, 2007, No. 8, pp. 71–74.
9. Laptev B. V. *Bezopasnost truda v promyshlennosti – Labor safety in industry*, 2009, No. 8, pp. 28–31.
10. The Design and Construction of Water Impounding Plugs in Working Mines. Sheffield (UK): HM Inspectorate of Mines Health and Safety Executive Foundry House, 2003.
11. Dixon, A. Plugs for deposition tunnels in a deep geologic repository in granitic rock. Concepts and experience. D. A. Dixon, L. Borgesson, D. Gunnarsson, A. J. Hansen. Stockholm: SKB, 2009. Rapport R-09-50. 53 p.
12. Patent EA 009799. *Sposob zashchity kaliynogo rudnika ot zatopeniya* (Patent EA 009799. Method of protection of potassium mine from flooding).
13. Patent EA 009800. *Sposob zashchity rudnika ot zatopeniya* (Patent EA 009800. Method of protection of mine from flooding).
14. Patent EA 012289. *Shakhtnaya gidroizolyatsionnaya peremychka* (Patent EA 012289. Mine waterproof dam).
15. Patent EA 014007. *Sposob vozvedeniya gidroizolyatsionnoy peremychki v podzemnoy vyrabotke* (Patent EA 014007. Method of construction of waterproof dam in underground excavation).
16. Patent EA 015486. *Sposob sooruzheniya shakhtnoy samouplotnyayushcheysoy gidroizolyatsionnoy peremychki* (Patent EA 015486. Method of construction of mine self-packing waterproof dam).