

УДК 622:504.55

**СНИЖЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ  
ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*канд. техн. наук, доц. А.А. КОЛОГРИВКО  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

*Рассматриваются проблемы снижения геоэкологических последствий подземной разработки калийных месторождений. Представлены результаты проведенных исследований и предложены практические решения в части минимизации потерь при добыче калийных руд, способов предотвращения затопления калийных рудников, применения технологий складирования галитовых и шламовых отходов для горно-геологических и горнотехнических условий подземной разработки Старобинского месторождения калийных солей.*

**Введение.** Крупнейшими по величине запасов калийными месторождениями являются Саскачеванский соленосный бассейн (Канада), месторождения калийных солей в Германии, Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (Российская Федерация), Старобинское месторождение калийных солей (Республика Беларусь). Эти страны занимают лидирующие позиции среди экспортеров калийной продукции, значительно опережая другие страны. В ближайшей перспективе значительный рост спроса на калийные удобрения следует ожидать в странах Азии, Латинской Америки, Восточной Европе и СНГ. Неравномерное расположение калийных месторождений обуславливает интенсивную международную торговлю на рынке калийных удобрений. Более ста стран мира импортируют калийную продукцию.

Основное производство калийных удобрений в СНГ базируется на эксплуатации руд Старобинского месторождения калийных солей (ОАО «Беларуськалий») и Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ОАО «Уралкалий»). Содержание хлористого калия в добываемых рудах находится в пределах 24...32 %. При обогащении сильвинитовой руды 65...75 % составляют отходы. Твердые отходы на 92...95 % представлены хлористым натрием, а жидкие – глинисто-солевыми шламами. На 1 тонну основной продукции приходится 2,3...5,7 тонн отходов. В перспективе наращивание мощностей в области производства калийных удобрений следует рассматривать за счет Гремячинского, Непского и Эльтонского (Российская Федерация), Петриковского (Республика Беларусь), Гарлыкского (Туркменистан) месторождений.

Анализ развития техники и технологии подземной разработки калийных месторождений и последующего обогащения калийных руд, принимая во внимание значительные мощности предприятий, показывает сохранение негативного, иногда масштабного или катастрофического изменения геоэкологической ситуации в промышленных районах [1; 2]. В основном такое изменение связано с истощением запасов старых и отработкой новых шахтных полей, опасностью проникновения слабоминерализованных и пресных вод в горные выработки, технологией обогащения руд с последующим складированием и хранением твердых отходов в солеотвалах, жидких – в шламохранилищах.

Геоэкологическим последствиям калийного производства подвергаются все элементы биосферы: ее минеральная основа – геологическая среда с подземными водными ресурсами, земельные угодья, поверхностные водные ресурсы, воздушный бассейн и растительный мир [3–5].

Так, в результате ведения подготовительных и очистных работ наблюдаются сдвиги и деформации горного массива, вызывающие оседания, обрушения и провалы земной поверхности. Например, оседания поверхности, особенно для территорий с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод, приводят к затоплению и заболачиванию отдельных участков. При провалах земной поверхности, вызванных, например, затоплением калийных рудников, при самом неблагоприятном развитии событий возможна миграция газов в приповерхностные области горного массива и на поверхность [6].

Отходы калийного производства, образующиеся при флотационном и галургическом способах обогащения, складываются в солеотвалы и шламохранилища, устраиваемые вблизи промышленных площадок. Хранение на поверхности земли в больших количествах и на значительных площадях легко растворимых солевых отходов, особенно в районах, относящихся к климатической зоне с избыточным увлажнением, приводит к образованию насыщенных по NaCl рассолов в результате растворения отходов атмосферными осадками. В результате скопления избыточных рассолов на участках солеотвалов и шламохранилищ происходит их утечка в пресные водные горизонты.

Анализ и обобщение результатов ранее проведенных исследований по оценке геоэкологической ситуации на калийных предприятиях, разработок природоохранных мероприятий для условий Солигорского горнопромышленного района [1–6] показывает, что на современном этапе развития калийно-

го производства проводится большой комплекс исследований по снижению негативного влияния производства на окружающую среду [7]. Вместе с тем эти исследования направлены в основном на ликвидацию локальных последствий негативного влияния калийного производства и не решают комплексно вопросы прогнозирования геоэкологических последствий с целью их снижения или предотвращения [3]. В свою очередь, результаты геоэкологических ущербов являются катализаторами социальных и экономических последствий [8].

Так, социальные последствия проявляются в необходимости переселения из опасных зон проживающего там населения, в ухудшении транспортной инфраструктуры населенных пунктов, также возможны несчастные случаи на производстве. Снижение объемов производств и закрытие калийных предприятий влечет за собой сокращение персонала, снижение оплаты труда работников, требование компенсаций. При миграции горючих газов на поверхность возможно их скопление в подвалах жилых зданий с соответствующими негативными последствиями для населения.

Экономические последствия включают: экологические штрафы; штрафные санкции за нарушение условий договоров; досрочное прекращение контрактов; прекращение инвестиций в транспортную инфраструктуру, разрушенную аварией; дополнительные расходы по консервации или ликвидации калийных рудников, в том числе дополнительные расходы на проведение научных исследований и мониторинг последствий аварий; снижение капитализации предприятия на фондовых рынках; увеличение транспортных расходов в связи с ростом расстояния транспортировки; ограничения транспортировки грузов; необходимость изменения организации производств. Потеря части промышленных запасов и оборудования ведет к снижению объемов добычи и производства товарной продукции и, как следствие, общее ухудшение экономических показателей предприятия.

Масштабность негативного влияния калийного производства на биосферу, влекущего значительные социальные и экономические ущербы обществу, требует системного подхода к решению актуальной проблемы снижения геоэкологических последствий на основе их прогнозирования в процессе эксплуатации калийных месторождений.

**Результаты исследований по снижению геоэкологических последствий в процессе эксплуатации калийных месторождений.** В результате истощения старых шахтных полей приходится вовлекать в отработку сложноструктурные калийные пласты, участки месторождений со сложными горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки, в том числе находящиеся на больших глубинах, новых горизонтах, часто осложненных газодинамическими явлениями (далее – ГДЯ).

Важным направлением в области снижения геоэкологических последствий в период ведения добычных работ на калийных рудниках ОАО «Беларуськалий» следует считать совершенствование технологии добычи, при которой снижаются эксплуатационные потери полезного ископаемого путем внедрения бесцеликовой отработки пластов, в том числе при ведении работ в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях разработки [9–13]. Перспективными для Старобинского месторождения являются бесцеликовые варианты столбовой системы разработки с поддержанием выемочных штреков бутовыми полосами из разрушенного галита. Варианты сплошной и столбовой систем разработки с полевой подготовкой могут рассматриваться в качестве базовых для отработки участков шахтных полей Старобинского месторождения со сложными горно-геологическим и горнотехническими условиями ведения очистных работ.

В основу разработки технологических схем бесцеликовой отработки калийных пластов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, принимая во внимание результаты ранее проведенных исследований и шахтных экспериментов [9–13], положены два основных принципа проведения и поддержания подготовительных выработок на границе с выработанным пространством: повторное использование выемочных штреков и проведение их вприсечку к выработанному пространству.

В результате исследований разработаны перспективные технологические схемы бесцеликовой отработки Второго и Третьего калийных пластов Старобинского месторождения [12; 13]. Уменьшение размеров или полное отсутствие межстолбовых целиков достигается за счет проведения выработки на границе с выработанным пространством позади фронта очистных работ опережающей смежной лавы; повторного использования выработки путем поддержания ее позади очистного забоя отработываемой лавы или восстановления погашенной выработки для отработки смежного столба отстающей лавой; оставления между выемочными столбами временного целика, вынимаемого очистным комбайном отстающей смежной лавы одновременно с ведением очистной выемки в самой лаве.

Совершенствование технологии селективной выемки сложноструктурных пластов возможно за счет внедрения в очистных и проходческих забоях высокопроизводительного оборудования. Вместе с тем анализ ведения добычных работ [14; 15] показывает, что ресурсы технического перевооружения во многом исчерпаны и без совершенствования технологии отработки новых участков шахтных полей с минимальными потерями полезного ископаемого достичь снижения геоэкологических последствий не представляется возможным.

Так, на рисунке 1, а, б представлены принципиальная технологическая схема и параметры слоевой селективной выемки Третьего пласта с надработкой верхней лавой выемочных штреков нижней лавы для условий Старобинского месторождения. Технологическая схема предусматривает одновременную подготовку слоевых лав на всю длину панели с использованием общего панельного конвейера в конвейерном штреке нижней лавы. Подготовка слоевых лав осуществляется тремя выемочными штреками для каждой лавы и предусматривает повторное использование выемочных штреков смежных слоевых лав только для проветривания прилегающих к ним частей очистных забоев. При этом вентиляционные штреки лав проводят в центральных частях столбов, а между транспортным и конвейерным штреками в верхнем слое оставляется ленточный целик шириной  $b$  (рис. 1, б). Технологические сбойки в данном целике по мере выхода их из технологического процесса изолируются перед забоем лавы вентиляционными перемычками с заполнением пространства между ними соляными породами (например, штыбом от нарезки компенсационных щелей).

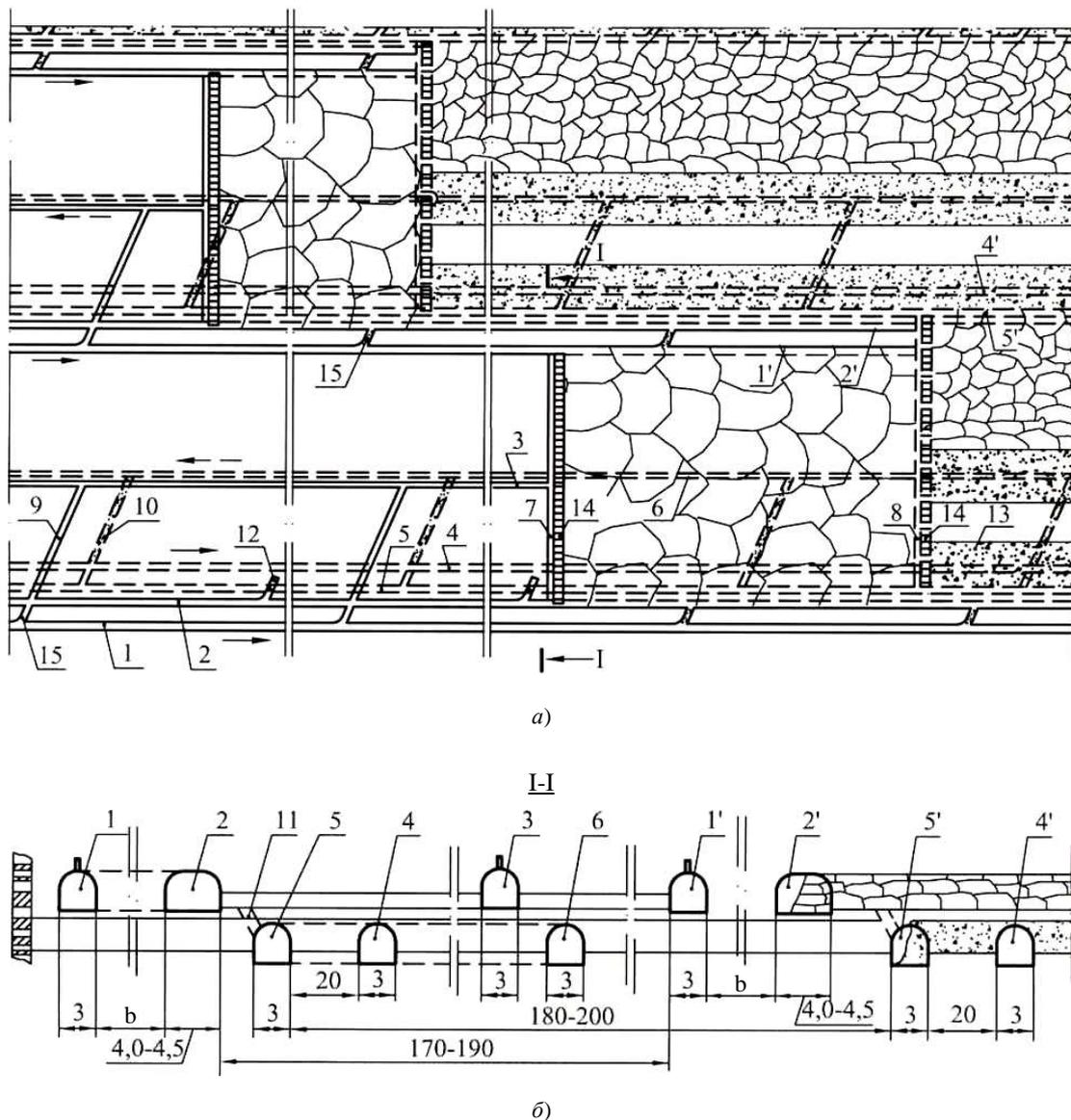


Рис. 1. Технологическая схема бесцеликовой селективной выемки Третьего пласта с надработкой выработок нижней лавы:

- 1, 1' – транспортные штреки верхней лавы; 2, 3 – конвейерный и вентиляционный штреки верхней лавы;  
 4, 5, 6, 5' – закладочный (транспортный), конвейерный (панельный), вентиляционный  
 и повторно используемый панельный конвейерный штреки; 7, 8 – забои верхней и нижней лавы;  
 9, 10 – вспомогательные выработки верхней и нижней лав; 11 – рудоспуски; 12 – конвейерные сбойки;  
 13 – закладочные полосы; 14 – забойная крепь; 15 – технологические сбойки

В представленной технологической схеме при проведении выемочных штреков верхней лавы выше кровли нижней лавы селективная выемка слоев в нижней лаве ведется без оставления межстолбовых целиков с повторным использованием конвейерного штрека смежной лавы для проветривания прилегающей к нему части очистного забоя. При этом транспортный штрек проводится в поле лавы и служит для установки на его сопряжении с лавой закладочного оборудования.

Вспомогательные выработки для проведения вентиляционного и закладочного штреков по мере выхода их из технологического процесса подготовки заполняются рудой из подготовительных забоев. Заполнение выработок может осуществляться закладочной установкой, оснащенной, например, роторным метателем с увлажнением закладки. Плотное заполнение вспомогательных выработок закладкой обеспечивает безопасный переход их очистными комплексами.

При использовании в нижней лаве конвейерной линии из телескопических конвейеров представляется возможным вести селективную выемку слоев на выемочные штреки шириной 3,0...3,2 м, что значительно снизит затраты на их поддержание после надработки верхней лавой.

Одновременная выемка слоев пласта на общий панельный конвейер на участках пласта с относительно низким (20...25 % KCl) качеством IV силвинитового слоя дает возможность эффективно усреднять качество руды, выдаваемой одновременно из верхней и нижней лав при селективной выемке силвинитовых слоев в нижней лаве.

Внезапные выбросы соли и газа, обрушения пород кровли и разрушения пород почвы, сопровождающиеся газовыделениями, явления комбинированного типа и отжимы призабойной части пород разрушают проходческое и очистное оборудование, нарушают проектные сечения выработок, ритмичность работы калийных рудников.

Практика ведения горных работ на калийных пластах Старобинского и Верхнекамского месторождений, опасных по ГДЯ, показывает, что наиболее простым и эффективным способом предотвращения ГДЯ в силу слоистости и анизотропии газопроницаемости соляного массива является бурение дегазационных шпуров и скважин. Для условий Первого калийного горизонта рудника 1 РУ ОАО «Беларуськалий» для дегазации пород почвы подготовительных выработок разработаны параметры мелкошпурового и глубокого профилактического бурения дегазационных шпуров [16]. Так, например, по мере проходки выработки высотой 3 м и шириной менее 4,5 м в почву предлагается бурить дегазационные шпуровы с шагом не более 2,5 м. Глубина шпура меняется в зависимости от типа комбайна.

Итак, внедрение бесцеликовой выемки калийных пластов с использованием технологических схем подготовки и отработки участков шахтных полей ограниченных размеров, в том числе на локальных участках, для условий ограниченных объемов шахтного строительства, для сложных условий разработки, принимая во внимание применение эффективных дегазационных мероприятий и мероприятий по разгрузки массива от горного давления, например, созданием камуфлетных полостей вокруг выработок [17], способствует снижению эксплуатационных потерь полезного ископаемого, что позволяет снижать геологические последствия в процессе ведения подготовительных и очистных работ.

Другим слагаемым негативных или катастрофических геологических последствий при разработке калийных месторождений является опасность проникновения слабоминерализованных и пресных вод в горные выработки. Аварийные проникновения рассолов связаны с особенностями геологического строения и гидрогеологических условий конкретных локальных участков шахтных полей, а также с происходящими в них физико-химическими и геомеханическими процессами природного и техногенного характера. Особую опасность представляют краевые участки и зоны тектонических нарушений, места литологической неоднородности отложений водозащитной толщи (ВЗТ), а также подработанные геологоразведочные скважины. К масштабным изменениям геомеханической ситуации приводит подработка пород кровли калийных пластов и большие сроки эксплуатации калийных рудников. Деформации подработанного массива приводят к образованию трещин, которые могут стать водопроводящими. Следует отметить, что зоны повышенной трещиноватости мигрируют с течением времени и по мере развития горных работ. Наиболее значительные изменения в водозащитной толще происходят при ведении работ длинными очистными забоями с обрушением кровли и на рудниках с длительными сроками эксплуатации. Это приводит к значительным оседаниям и провалам земной поверхности на подрабатываемых территориях.

За последние сто лет в мире затоплено порядка 80 калийных и соляных рудников (каждый четвертый из эксплуатировавшихся), что соответственно привело к ликвидации предприятий и потере полезных ископаемых. Так, примерами в СНГ могут служить аварии на рудниках, работавших на базах Стебниковского и Солотвинского месторождений, аварии на рудниках БКПРУ-3 и БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий», приведшие к их затоплению соответственно в 1986 и 2006 годах (рис. 2), аварийная ситуация на 2РУ ОАО «Беларуськалий» в 2011 году.

Анализ причин затопления калийных и соляных рудников свидетельствует о том, что преобладающее значение в возникновении аварийных ситуаций имеют следующие факторы [1; 18]:

- особенности геологического строения и гидрогеологические условия конкретных участков месторождения;
- наличие локальных зон тектонических нарушений и зон литологической неоднородности водозащитной толщи;
- недооценка возможного изменения состояния и свойств толщи водозащитных пород над отработанным пространством с течением времени;
- несоответствие параметров ведения очистных работ и высокой степени извлечения полезного ископаемого конкретным геологическим и гидрогеологическим условиям.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Общий вид провалов земной поверхности:  
на руднике БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» в июне 2008 года (а) и январе 2009 года (б);  
на руднике БКПРУ-3 ОАО «Уралкалий» (в, г)

Практика показывает, что структурно-тектонические и гидрогеологические условия калийных и соляных месторождений настолько сложны, что вряд ли могут быть изучены в полной мере в обозримом будущем. Предотвратить поступление слабоминерализованных рассолов и вод через нарушенные породы и подработанные геологоразведочные скважины ни на одном из рудников не удалось.

Мировой опыт свидетельствует о том, что весь спектр существующих в настоящее время способов и технических средств борьбы с водопритоками (тампонирование, устройство гидроизоляционных перемычек, организация рассолосборников, погружение рассолов в глубокие горизонты, утилизация рассолов и слабоминерализованных вод на дневной поверхности и др.) эффективен лишь при условии наличия ненарушенной трещиноватостью потолочины водозащитных отложений. В настоящее время не существует надежных способов и технических средств борьбы с поступлением высоконапорных вод (рассолов)

в подземные горные выработки калийных и соляных рудников в случае нарушения водозащитных отложений. Катастрофическое поступление агрессивных пресных вод (рассолов) в нарушенные трещиноватостью водозащитные отложения, содержащие легкорастворимые породы, неотвратно приводит к затоплению выработанного пространства.

Анализ ведения закладочных работ, их эффективность в районе аварии на руднике БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» показал, что процесс и технология ведения закладочных работ не могли являться самой причиной аварии [1]. Причину аварии на руднике объясняла совокупность геологических и техногенных факторов [18].

К геологическим факторам относятся выявленное в процессе специальных исследований наличие аномальных особенностей геологического строения водозащитной толщи и надсоляных пород, которые впервые обнаружены после аварии и не учитывались в нормативно-технических документах по безопасной эксплуатации месторождения.

К техногенным факторам, способствующим возникновению и развитию аварийной ситуации, следует отнести:

- параметры камерной системы разработки пластов АБ и КрII определены исходя из предполагаемой длительности устойчивости кровли камер и междукамерных целиков на весь период отработки шахтного поля, что на практике не подтвердилось;

- не учтено влияние на активизацию процессов сдвижений горных пород и оседаний земной поверхности в период длительного срока эксплуатации месторождения значительных, постоянно возрастающих площадей отработки и объемов выработанного пространства, а также повторной подработки уже деформированных налегающих пород (в результате отработки пласта АБ) горными работами по пласту КрII.

Перечисленные техногенные факторы обусловлены недостаточным уровнем развития техники и технологии того времени. Техногенные факторы явились следствием использования в первоначальный период отработки шахтного поля рудника БКПРУ-1 несовершенных нормативно-технических документов по безопасному ведению горных работ.

Учитывая наличие на аварийном участке шахтного поля аномального строения, которое было определено и квалифицировано уже после аварии, и то, что новые нормативные технологические документы, регламентирующие закладочные работы, зоны смягчения и другие, были разработаны уже после фактически произведенной отработки этого участка шахтного поля, при сложившемся стечении обстоятельств было невозможно спрогнозировать возникновение аварийной ситуации. Как следствие, при данных условиях, аварию невозможно было и предотвратить.

Итак, учитывая на примере установления причин и обстоятельств аварии на руднике БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» сложность проблемы прогнозирования и защиты рудников от затопления, постоянное возникновение аварийных ситуаций в мировой практике [19], представляется целесообразным выполнять на современном техническом уровне в достаточном объеме организационно-технические мероприятия по минимизации рисков затопления калийных рудников, имеющих следующие цели:

- совершенствование методических положений нормативного документа по защите рудников от затопления в части классификации аномальных особенностей строения ВЗТ и оценке условий ее подработки на потенциально опасных участках;

- расширение рамок геомеханического обеспечения, направленного на применение методов математического моделирования состояния ВЗТ и уточнение адекватных критериев нарушения ее сплошности;

- оценки возможности (допустимости) определения относительных горизонтальных деформаций земной поверхности и горного массива через деформации кривизны в конкретных условиях.

Принимая во внимание вышеизложенное, можно заключить, что актуальными и эффективными средствами предотвращения неконтролируемых водопритоков в горные выработки должны стать предупредительные мероприятия, в частности сооружение гидроизоляционных перемычек, позволяющих изолировать потенциально опасные участки [19].

Особую составляющую снижения геоэкологической нагрузки в районе работ калийных предприятий приобретают вопросы, связанные с разработкой новых способов складирования отходов обогащения при организации хвостовых хозяйств, позволяющих сократить рост площадей, используемых для размещения этих отходов. Снизить техногенную нагрузку можно за счет уменьшения изъятия дополнительных площадей под солеотвалы, используя при этом отработанные шламохранилища в качестве оснований при расширении солеотвалов.

Так, в настоящее время ОАО «Белгорхимпром» продолжает разработку и реализацию проекта опытно-промышленного участка по складированию галитовых отходов на шламохранилище 3 РУ ОАО «Беларуськалий» способом гидронамыва. Намыв галитовых отходов на поверхность отработанного шламохранилища предусмотрен до образования угла намыва солеплиты (пласт-плиты) 1,5°. Формирование конечного профиля (с точки намыва) осуществляется с дополнительным использованием бульдозерной техники. Реализация проекта начата в 2005 году и осуществляется по настоящее время (рис. 3).

Исследованиями установлено [20; 21], что формирование солеотвала предпочтительно осуществлять гидронамывом галитовых отходов (смеси галитовых и шламовых отходов) рассредоточенно по всей поверхности солеплиты до проектной отметки формируемого солеотвала, но не ниже отметки +207,25 м. Гидронамыв предполагает процесс намыва галитовых отходов вместе с рассолом.



а)



б)

Рис. 3. Общий вид опытно-промышленного участка по складированию солеотходов на отработанном шламохранилище ЗРУ ОАО «Беларуськалий» в июне 2006 (а) и ноябре 2012 года (б)

Угол откоса формируемого отвала не должен превышать  $45^\circ$ , а вдоль ограждающих дамб по периметру формируемого отвала должен быть предусмотрен разрыв между ними и основанием солеплиты, составляющий 10...15 м. На участках наращивания дамб необходимо усилить их бермами шириной не менее 10 м. При достижении мощности намыва 29...30 м на всей площади шламохранилища в случае нарушения состояния намывного грунта и опасности дальнейшего его намыва возможно рассмотреть случай сухой отсыпки из галитовых отходов, а также формирование солеотвала из обезвоженных глинисто-солевых шламов. Установлено, что одним из способов складирования отходов может быть обезвоживание шламовых отходов и их складирование всухую, отдельно от галитовых отходов либо совместно с ними. Исследования показали возможность обезвоживания глинисто-солевого шлама с получением продукта влажностью около 30 %. Обезвоженный продукт имеет физико-химические и механические свойства, дающие возможность транспортировать его и складировать совместно с галитовыми отходами.

Анализ исследований физико-механических свойств смеси галитовых и сгущенных глинисто-солевых шламов показывает, что наиболее рационально складировать в отвал смесь галитовых и шламовых отходов при содержании в смеси шлама 17...20 %. Шлам и галитовые отходы должны поступать в отвал уже перемешанными. Указанное содержание глинистых шламов является оптимальным и не вызывает существенного изменения показателей общей прочности смеси, а по сравнению со свежими чистыми галитами даже несколько ее повышает [22].

Правильное представление об изменении физико-механических свойств отходов обогащения калийного производства имеет существенное практическое значение для прогнозирования развития хвостового хозяйства калийных предприятий и, как следствие, снижения техногенной нагрузки в районе ведения горных работ по складированию отходов калийного производства.

Снижение геоэкологической нагрузки в районе работ калийных предприятий возможно за счет реконструкции действующих шламохранилищ калийного производства.

Так, эксплуатируемое шламохранилище четвертого рудоуправления ОАО «Беларуськалий» (далее – шламохранилище 4РУ), с учетом расчетного объема шламовых отходов 0,7 млн. м<sup>3</sup>/год до 2015 года и 0,9 млн. м<sup>3</sup>/год с 2015 года, будет заполнено к 2016 году. Реконструкция северной карты с получением дополнительной емкости 9,9841 млн. м<sup>3</sup> для складирования шламов обеспечит 4РУ емкостями до 2027 года. Таким образом, реконструкция обусловлена необходимостью обеспечения поддержания производственных мощностей 4РУ после 2015 года, когда ожидается заполнение существующих карт шламохранилища 4РУ до проектной отметки.

Для поэтапного ввода в эксплуатацию новых емкостей реконструкция северной карты шламохранилища 4РУ предусматривается в три пусковых комплекса. Строительство первого пускового комплекса пла-

нируется завершить к 2016 году, второго – в 2017, третьего – в 2019 году. В результате реконструкции общая емкость северной карты составит 14,27 млн. м<sup>3</sup>, в том числе дополнительная емкость – 9,984 млн. м<sup>3</sup>. Шламохранилище будет располагаться на площади 127,7 га, в том числе на вновь отведенной – 67,0 га.

Складируемые в шламохранилище 4РУ отходы – глинисто-солевые шламы (ж : т = 1), содержание солей NaCl, KCl от 200 до 220 г/л. В жидкой (ж) фазе содержание шлама составляет до 8,5 % KCl, до 13,5 % NaCl и до 1 % CaCl<sub>2</sub>, CaSO<sub>4</sub>. В твердой (т) фазе шлама 70...75 % нерастворимого остатка (карбонаты, сульфаты, полевой шпат, кварц, гидрослюда и др.).

Для предотвращения загрязнения грунтовых вод рассолами с содержанием KCl, NaCl в проектируемом шламохранилище предусмотрен противофильтрационный экран из полиэтиленовой пленки марки В согласно ГОСТ 10354-82. Конструкция экрана позволяет использовать материалы, производимые предприятиями Республики Беларусь. Отметим, что в шламохранилище предполагается хранение глинисто-солевых шламов и рассолов, относящихся к четвертому классу опасности (Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 31.12.2010 № 63). После 2036 года шламохранилище будет подрабатываться горными работами, проводимыми на Втором и Третьем калийных горизонтах столбовой системой разработки с валовой выемкой руды.

Согласно прогнозным данным, площадка строительства подвержена вредному влиянию деформаций земной поверхности на конец процесса сдвижения от отработки Второго (горизонт –440 м) и Третьего (горизонт –670 м) калийных горизонтов столбовой системой разработки с валовой выемкой руды. Так, очистная выемка руды горизонта –440 м (2038–2061 гг.) будет вестись лавами длиной ~250 м и вынимаемой мощностью ~2,3 м. Очистная выемка руды (отработка целиков) горизонта –670 м (2062–2077 гг.) будет вестись в сложных горно-геологических условиях лавами длиной от 100 до 200 м и вынимаемой мощностью ~2,2 м. Проектные величины ожидаемых деформаций составят следующие значения: оседание 2012...2386 мм, наклон  $(2,9...3,6) \cdot 10^{-3}$ , кривизна  $(-0,30...1,41) \cdot 10^{-4}$  1/м, горизонтальные деформации  $(-0,35...2,80) \cdot 10^{-3}$ .

В этой связи особую актуальность приобретают задачи исследований, связанные с геоэкологической оценкой возможности применения противофильтрационного экрана из полиэтиленовой пленки в условиях прогнозируемого воздействия на него пригрузки от шламов и деформаций от подработки горными работами для обеспечения геоэкологической безопасности реконструируемых шламохранилищ калийного производства, в частности района эксплуатации северной карты шламохранилища 4РУ.

В этой связи исследованы прочностные характеристики полиэтиленовой пленки, их изменение в условиях воздействия нагрузок; изучена возможность использования противофильтрационного экрана из полиэтиленовой пленки в условиях воздействия на него пригрузки от шламов и деформаций от подработки горными работами.

Установлено [23], что применение противофильтрационного экрана из полиэтиленовой пленки в условиях прогнозируемого воздействия на него давления от шламов и деформаций от подработки горными работами Второго (горизонт –440 м) и Третьего (горизонт –670 м) калийных горизонтов, где очистная выемка руды будет соответственно вестись лавами длиной ~250 м с вынимаемой мощностью ~2,3 м и лавами длиной от 100 до 200 м с вынимаемой мощностью ~2,2 м, при эксплуатации северной карты шламохранилища 4РУ обеспечивает геоэкологическую безопасность при толщине пленки как минимум 0,20 мм.

Исследование прочностных свойств полиэтиленовой пленки в условиях воздействия на нее давления от шламов и деформаций от подработки горными работами, а также испытания пленки на водонепроницаемость, позволили установить, что предусмотренная проектом [24] полиэтиленовая пленка марки В толщиной 0,20...0,35 мм полностью обеспечивает защиту грунтовых вод от минерализации и не требует увеличения ее толщины при условии обеспечения проектных требований по ее укладке.

Учет прочностных свойств противофильтрационного экрана позволит оптимизировать затраты на реконструкцию шламохранилищ, прогнозировать и снижать геоэкологические последствия при складировании шламовых отходов в условиях их подработки.

**Заключение.** Интенсификация подземной разработки калийных месторождений, принимая во внимание возрастающий мировой спрос на калийную продукцию, влечет негативные геоэкологические последствия, являющиеся катализаторами социально-экономических ущербов. Снижение или предотвращение геоэкологических последствий в процессе эксплуатации калийных месторождений может быть реализовано только при системном подходе к прогнозированию результатов техногенных воздействий.

Так, снизить геоэкологические последствия в процессе ведения подготовительных и очистных работ возможно минимизацией эксплуатационных потерь калийной руды за счет внедрения бесцеликовой выемки калийных пластов с использованием технологических схем подготовки и отработки участков шахтных полей ограниченных размеров, в том числе на локальных участках, для условий ограниченных объемов шахтного строительства, для сложных условий разработки, принимая во внимание применение эффективных дегазационных мероприятий и мероприятий по разгрузке массива от горного давления.

Минимизацию рисков затопления калийных рудников следует рассматривать за счет эффективных средств предотвращения неконтролируемых водопритоков в горные выработки, которыми должны стать предупредительные мероприятия, в частности сооружение гидроизоляционных перемычек, позволяющих изолировать потенциально опасные участки.

Снижение геоэкологической нагрузки в районе работ калийных предприятий в процессе обогащения калийных руд следует рассматривать за счет разработки новых способов складирования отходов обогащения при организации хвостовых хозяйств, позволяющих сократить рост площадей, используемых для размещения этих отходов. Снизить техногенную нагрузку можно за счет уменьшения изъятия дополнительных площадей под солеотвалы, используя при этом отработанные шламохранилища в качестве оснований при расширении солеотвалов. Одновременно снижение геоэкологической нагрузки в районе работ калийных предприятий возможно за счет реконструкции действующих шламохранилищ калийного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ уровня развития техники и технологий ведения горных работ в рамках проведения комплексной экспертизы по установлению причин и обстоятельств аварии на опасном производственном объекте БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» в октябре 2006 года: отчет о НИР / БНТУ; рук. темы В.И. Глуховский; исполн.: А.А. Кологривко [и др.]. – Минск, 2009. – 72 с.
2. Анализ состояния проблемы складирования отходов калийных предприятий на поверхности земли в мировой практике: отчет о НИР / БНТУ; рук. темы В.И. Глуховский; исполн.: А.А. Кологривко [и др.]. – Минск, 2009. – 56 с.
3. Смычник, А.Д. Геоэкология калийного производства / А.Д. Смычник, Б.А. Богатов, С.Ф. Шемет. – Минск: ЗАО «Юнипак», 2005. – 204 с.
4. Колпашников, Г.А. Техногенез и геологическая среда / Г.А. Колпашников. – Минск: Белорус. нац. техн. ун-т, 2006. – 182 с.
5. Гледько, Ю.А. Геоэкологические последствия горнодобывающей деятельности в Белорусском Полесье / Ю.А. Гледько, Е.Б. Антипин // Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2. – 2003. – № 1. – С. 69–78.
6. Андрейко, С.С. Оценка возможности формирования скоплений свободных газов в выработанном пространстве карналлитового пласта «В» при затоплении рудника БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» / С.С. Андрейко // Горная механика. – 2009. – № 3. – С. 12–17.
7. Шемет, С.Ф. Прогнозирование и предотвращение геоэкологических последствий подземной разработки калийных месторождений / С.Ф. Шемет, А.А. Кологривко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 8-й междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 1–2 нояб. 2012 г.: в 2 т. / Тул. гос. ун-т; ред.: Р.А. Ковалев. – Тула, 2012. – Т. 1. – С. 105–112.
8. Пономаренко, Т.В. Характер и масштабы последствий крупных аварий на горных предприятиях: корпоративный, региональный и национальный уровни / Т.В. Пономаренко // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 8-й междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, Тула, 1–2 нояб. 2012 г.: в 2 т. / Тул. гос. ун-т; ред.: Р.А. Ковалев. – Тула, 2012. – Т. 2. – С. 271–278.
9. Петровский, Б.И. Перспективы бесцеликовой выемки калийных пластов на Старобинском месторождении / Б.И. Петровский, В.С. Зубович // Горный журнал. – 2003. – № 1. – С. 31–34.
10. Бесцеликовые технологические схемы слоевой выемки Третьего калийного пласта / Б.И. Петровский [и др.] // Вопросы геомеханики подземной добычи калийных солей: сб. ст. Горного информационно-аналитического бюл. – М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2003. – № 10. – С. 3–16.
11. Повышение эффективности отработки калийных пластов Старобинского месторождения на глубоких горизонтах / В.Я. Щерба, В.Я. Прушак, Б.И. Петровский // Экономика и организация калийного производства: сб. ст. Горного информационно-аналитического бюл. – М.: Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2003. – № 10. – С. 3–10.
12. Кологривко, А.А. Технологические схемы бесцеликовой отработки калийных пластов в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях / А.А. Кологривко, С.Н. Дакуко // Горная механика. – 2009. – № 4. – С. 48–59.
13. Дакуко, С.Н. Технология отработки калийных пластов с минимальными потерями полезного ископаемого: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / С.Н. Дакуко. – Минск, 2010. – 190 с.
14. Кологривко, А.А. Возможность повышения добычи энергетических углей в условиях шахты «Шахтерская-Глубокая» (Донбасс) / А.А. Кологривко // Энергетика...Изв. высш. учеб. заведений и энергетических объединений СНГ. – 2001. – № 6. – С. 88–91.

15. Кологривко, А.А. Перспективы применения бесцеликовых схем подготовки пластов при ограниченных объемах шахтного строительства / А.А. Кологривко // Горная механика. – 2008. – № 4. – С. 41–51.
16. Андрейко, А.А. Борьба с газодинамическими явлениями из почвы подготовительных выработок при ведении горных работ на I калийном горизонте рудника 1РУ / А.А. Андрейко // Горная механика. – 2009. – № 4. – С. 5–10.
17. Кологривко, А.А. Применение способа взрывоуплотнения горных пород в промышленности / А.А. Кологривко // Горная механика. – 2003. – № 1. – С. 79–81.
18. Шемет, С.Ф. Предотвращение водопритоков на калийных рудниках / С.Ф. Шемет, А.А. Кологривко // Наука – образованию, производству, экономике: материалы десятой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19 апр. 2012 г.: в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюк, А.С. Калининченко. – Минск, 2012. – Т. 3. – С. 14–15.
19. Новые способы защиты от рудничных водопритоков с помощью гидроизоляционных перемычек / А.Д. Смычник [и др.]. // Горная механика и машиностроение. – 2010. – № 3. – С. 41–45.
20. Оценка технического состояния пласт-плиты на шламохранилище ЗРУ и расчет устойчивости селеотвала на слабом основании для архитектурного проекта «ОПУ по складированию галитовых отходов на шламохранилище ЗРУ способом гидронамыва. Вторая очередь»: отчет о НИР / БНТУ; рук. темы А.А. Кологривко; исполн.: А.А. Кологривко [и др.]. – Минск, 2012. – 137 с. – № ГР 20123395.
21. Формирование селеотвала из галитовых отходов способом гидронамыва / М.А. Журавков [и др.]. // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. науч. тр. 9-й междунар. конф. по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики / Белорус. нац. техн. ун-т; ред. А.Б. Копылов, И.А. Басалай. – Минск, 2013. – С. 246–253.
22. Исследование прочностных характеристик обезвоженного глинисто-солевого шлама и смеси шлама с галитовыми хвостами (шлама до 20 %) в зависимости от нагрузок и во времени, расчет устойчивости откоса формируемого из отходов отвала: отчет о НИР / БНТУ; рук. темы А.А. Кологривко; исполн.: А.А. Кологривко [и др.]. – Минск, 2010. – 37 с. – № ГР 20101950.
23. Исследование прочностных свойств противодиффузионного экрана из полиэтиленовой пленки в условиях воздействия на него пригрузки от шламов и деформаций от подработки горными работами: отчет о НИР / БНТУ; рук. Кологривко А.А.; исполн.: Кологривко А.А. [и др.]. – Минск, 2014. – 129 с. – № ГР 20132426.
24. Архитектурный проект «Техпереворужение СОФ 4РУ. Реконструкция северной карты шламохранилища. Первый пусковой комплекс. Второй пусковой комплекс. Третий пусковой комплекс». Пояснительная записка. Т. 1 / ОАО «Белгорхимпром», Минск, 2012. – 180 с.

Поступила 13.11.2014

## DECREASE IN GEOECOLOGICAL CONSEQUENCES BY UNDERGROUND MINING OF POTASH FIELDS

*A. KOLOGRIVKO*

*Relevance of a problem of decrease in geoeological consequences of underground mining of potash fields is stated. Results of researches are presented and practical solutions regarding minimization of losses at production of potash ores, ways of prevention of flooding of potash mines, applications of technologies of warehousing of galitovy and slurry waste for mining-and-geological and mining conditions of underground mining of the Starobinsky field of potash salts are proposed.*