

ISSN 1561-8358 (Print)

ISSN 2524-244X (Online)

<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-4-307-319>

УДК 622.363.2.012.22:622.373.12(476)



Оригинальная статья

Н. А. Высоцкая^{1*}, В. Я. Прушак¹, А. Л. Поляков²

¹Закрытое акционерное общество «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», ул. Козлова, 69, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь

²Филиал Белорусского национального технического университета (г. Солигорск),
ул. Гуляева, 2, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СЛОЕВОЙ ВЫЕМКИ
ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНОГО ПЛАСТА ДЛЯ ГЛУБОКИХ УЧАСТКОВ
ШАХТНОГО ПОЛЯ РУДНИКА ЧЕТВЕРТОГО РУДОУПРАВЛЕНИЯ
ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»**

Аннотация. С учетом накопленного на Старобинском месторождении практического опыта были разработаны четыре варианта технологических схем слоевой выемки Третьего калийного пласта на глубине свыше 900 м. Сравнение представленных вариантов технологических схем осуществлялось по следующим показателям: удельный объем горно-подготовительных работ; среднее содержание хлористого калия и нерастворимого остатка в руде; объем добычи руды в стандарте; коэффициент извлечения полезного компонента из недр. Отмечено, что более эффективными являются технологические схемы с последовательным порядком отработки выемочных столбов, где выемочные (панельные) выработки проводят отдельно для верхней и нижней лав, а существенным недостатком, усложняющим работу забойного конвейера и ведущим к ухудшению качества руды, является наличие в верхней лаве наклонного участка. Выбор определенного варианта слоевой выемки Третьего пласта с вовлечением в отработку 4-го сильвинитового слоя на глубинах более 900 м предлагается осуществлять с учетом привязки к горно-геологическим и горнотехническим условиям конкретного участка шахтного поля, поскольку представленные в работе данные свидетельствуют о незначительном отличии вариантов технологических схем по всем принятым для сравнения показателям. Технологические схемы будут использованы при составлении проектов отработки выемочных столбов слоевыми лавами и войдут в соответствующие нормативные документы ОАО «Беларуськалий».

Ключевые слова: Третий калийный пласт, 4-й сильвинитовый слой, слои 2, 2–3, 3, слоевая выемка, большие глубины, технологические схемы, лава, горная выработка, глубокие горизонты, выемочный столб

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах: Высоцкая Надежда Александровна – начальник отдела научно-технической информации Закрытого акционерного общества «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», e-mail: onti@sipr.by; Прушак Виктор Яковлевич – академик Национальной академии наук Беларусь, доктор технических наук, профессор, технический директор Закрытого акционерного общества «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», e-mail: ipr@sipr.by; Поляков Андрей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование разработки месторождений полезных ископаемых» филиала Белорусского национального технического университета (г. Солигорск), e-mail: alphinxx@list.ru

Вклад авторов: Высоцкая Надежда Александровна – работа с текстом рукописи, литературными источниками, подготовка графического материала, проведение сравнительного анализа полученных результатов; Прушак Виктор Яковлевич – разработка методологии исследования, проведение исследований, проверка воспроизводимости результатов, обобщение результатов исследования, критический пересмотр текста рукописи; Поляков Андрей Леонидович – проведение исследований, формулировка выводов, обобщение результатов исследования, подготовка графического материала, редактирование текста рукописи.

Для цитирования: Высоцкая, Н. А. Разработка технологических схем слоевой выемки Третьего калийного пласта для глубоких участков шахтного поля рудника Четвертого рудоуправления ОАО «Беларуськалий» / Н. А. Высоцкая, В. Я. Прушак, А. Л. Поляков // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных наукаў. – 2025. – Т. 70, № 4. – С. 307–319. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-4-307-319>

Поступила в редакцию: 16.05.2025

Доработанный вариант: 04.11.2025

Утверждена к публикации: 03.12.2025

Подписана в печать: 19.12.2025

*Original article***Nadejda A. Vysotskaya^{1*}, Victor Ya. Prushak¹, Andrei L. Paliakou²**¹*Joint Stock Company “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”,
69, Kozlov St., 223710, Soligorsk, Minsk region, Republic of Belarus*²*Branch of the Belarusian National University of Technology (Soligorsk),
2, Gulyaev St., 223710, Soligorsk, Minsk region, Republic of Belarus***DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR LAYERED MINING
OF THE THIRD POTASH SEAM FOR THE DEEP SECTIONS OF THE FOURTH PRODUCTION
UNIT MINE FIELD OF JSC “BELARUSKALI”**

Abstract. Taking into account the practical experience gained at the Starobinski Deposit, the four variants of technological schemes for layered extraction of the Third Potash Seam at a depth of over 900 m were developed. The comparison of the presented variants of technological schemes was carried out according to the following indicators: the specific volume of the mining and preparation work; the average content of potassium chloride and insoluble residue in the ore; the volume of ore extraction in the standard; the coefficient of the useful component extraction from the subsoil. It was noted that technological schemes with a sequential order of extraction pillars mining, where extraction (panel) workings are carried out separately for the upper and lower longwalls are more effective, and the presence of an inclined section in the upper longwall is a significant disadvantage that complicates the operation of the face conveyor and leads to a deterioration in ore quality. It is proposed to select a specific variant of layered extraction of the Third Seam with the involvement of the 4th sylvinitic layer in the development at depths of more than 900 m taking into account the mining-geological and mining-technical conditions of a specific section of the mine field, since the data presented in the work indicate an insignificant difference in the variants of technological schemes for all accepted indicators for comparison. The process flow charts will be used in the development of projects for the development of mining pillars using layered longwalls and will be included in the relevant regulatory documents of JSC “Belaruskali”.

Keywords: the Third potash seam, the 4th sylvinitic layer, the layers 2, 2–3, 3, layered extraction, great depths, technological schemes, the longwall, mine working, deep horizons, extraction column

Conflict of interest: authors declare no conflict of interest.

Information about the authors: Nadejda A. Vysotskaya – Head of the Department of Scientific and Technical Information at JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”, e-mail: onti@sipr.by; Victor Ya. Prushak – Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Technical Director at JSC “Soligorsk Institute of Resources Saving Problems with Pilot Production”, e-mail: ipr@sipr.by; Andrey L. Paliakou – Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department “Technology and Equipment for Mining” of the Branch of the Belarusian National University of Technology (Soligorsk), e-mail: alphinxx@list.ru

Contribution of the authors: Nadejda A. Vysotskaya – work with the text of the manuscript, literary sources, preparation of graphic material, conducting a comparative analysis of the results obtained; Victor Ya. Prushak – development of research methodology, conducting research, verification of reproducibility of results, generalization of research results, critical revision of the manuscript text; Andrey L. Paliakou – conducting research, conclusions formulation, generalization of research results, preparation of graphic material, editing the manuscript text.

For citation: Vysotskaya N. A., Prushak V. Ya., Paliakou A. L. Development of the technological schemes for layered mining of the Third potash seam for the deep sections of the fourth production unit mine field of JSC “Belaruskali”. *Vestsi Natsyyanal’nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tehnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2025, vol. 70, no. 4, pp. 307–319 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-4-307-319>

Received: 16.05.2025

Modified: 04.11.2025

Approved for publication: 03.12.2025

Signed to the press: 19.12.2025

Введение. Крепление и поддержание в безопасном состоянии подземных горных выработок, пройденных на глубоких горизонтах месторождений, является одним из наиболее ответственных и ресурсоемких технологических процессов горного производства [1]. Неверный выбор типа применяемой крепи приводит к риску внезапных обрушений, повышает вероятность разрушения участков выработки и, как следствие, незапланированных простоев в работе рудника.

Деятельность горнодобывающих предприятий неразрывно связана с вовлечением в отработку все новых участков месторождений [2]. Условия отработки месторождения калийных солей постоянно усложняются. Прежде всего это связано с увеличением глубины ведения очистных работ и заложения капитальных и вспомогательных выработок [3].

Старобинское месторождение калийных солей, расположенное в южной части Республики Беларусь, находится в эксплуатации с 1962 г. [4] с запасами 3,4 млрд т. Около 80 % запасов сильвинитовой руды на месторождении сосредоточены в пласте Третьего калийного горизонта (в Третьем калийном пласте), который представляет собой моноклиналь, залегающую с падением под углом 2–3° в северо-восточном направлении на глубинах 450–1200 м. Калийный горизонт состоит из шести сильвинитовых слоев, разделенных слоями каменной соли (галита); 1-, 5- и 6-й сильвинитовые слои из-за малой мощности отнесены к балансовым, а для отработки 2-, 3- и 4-го сильвинитовых слоев используют слоевую выемку [5] с последовательной выемкой слоев лавами. При слоевой выемке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения в нижних лавах, отрабатывающих слои 2, 2–3, 3 после извлечения верхнего 4-го сильвинитового слоя, наблюдаются интенсивные динамические проявления горного давления при обрушениях кровли [6]. В настоящее время слоевая выемка – это основная технология отработки Третьего калийного пласта на всех рудниках Старобинского месторождения [7].

Опыт разработки месторождения свидетельствует, что одним из основных факторов, влияющих на проявления горного давления, является глубина заложения выработок [8]. Более 20 % промышленных запасов Третьего калийного пласта на Старобинском месторождении располагается в сложных горно-геологических условиях на глубинах разработки более 900 м. С увеличением глубины до 900 м и более в кровле верхнего 4-го сильвинитового слоя промышленного пласта существенно (в 2–2,5 раза) возрастает среднее содержание глинистых пород, что снижает агрегатную прочность пород кровли и вместе с большой глубиной вызывает интенсивное деформирование, а затем преждевременное разрушение выемочных штреков [9; 10], поддерживаемых с применением стандартных мер охраны и крепления. В таких условиях запасы данного слоя в настоящее время не извлекаются из-за низкой устойчивости подготовительных выработок при их расположении в нем. В таких условиях пласт отрабатывается только по нижним слоям 2, 2–3 и 3, а верхний сильвинитовый слой после его подработки обрушается и остается в выработанном пространстве. Потери балансовых запасов при этом составляют до 30 %.

Интенсивная разработка Старобинского месторождения калийных солей диктует необходимость более рационального использования недр, в том числе за счет снижения потерь полезного ископаемого, оставляемого в межстолбовых целиках. С этой целью разрабатываются технологические схемы слоевой выемки калийных пластов [11–13].

В настоящей статье авторами предложены варианты технологических схем с последовательной выемкой слоев пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения в сложных горно-геологических условиях на глубине 900 м и более и выполнено их технико-экономическое сравнение. Выбор конкретных участков исследования осуществлялся с учетом плана развития горных работ рудника [14].

Основные требования к разработке технологических схем слоевой выемки Третьего калийного пласта на больших глубинах. При разработке возможных вариантов слоевой выемки Третьего калийного пласта на больших глубинах залегания был учтен опыт применения такой выемки на угольных и калийных месторождениях в подобных горно-геологических условиях. Применительно к Старобинскому месторождению, исходя из практического опыта и результатов ранее выполненных исследований, были выделены принципы, обуславливающие разработку новых технологических схем, и сформулирован ряд требований к разрабатываемым технологическим схемам слоевой выемки Третьего калийного пласта в следующих сложных горно-геологических условиях.

Во-первых, при наличии в кровле 4-го сильвинитового слоя до 50 % слабых пород подготовительные выработки необходимо располагать в пределах более устойчивых нижних слоев пласта.

Во-вторых, сохранность выработок на границе с выработанным пространством зависит от времени их нахождения в зоне бокового остаточного опорного давления смежной лавы и в зоне временного опорного давления собственной лавы. Поэтому выработки на границе с выработанным пространством смежной лавы проще сохранять в эксплуатационном состоянии при пост-

дыйном их проведении небольшими участками (в пределах выемочного блока), чем при проходке сразу на всю длину выемочного столба.

В-третьих, применение технологических схем слоевой выемки Третьего калийного пласта при опережающей отработке 4-го сильвинитового слоя верхней лавой с охраной бортовых штреков целиками больших размеров (более 50 м) между выемочными столбами является одной из основных причин динамического проявления горного давления с воздействием на призабойное пространство и механизированную крепь нижних лав при периодических обрушениях кровли. В случае применения бесцеликовых технологических схем кровле не на чем зависать в выработанном пространстве у бортовых штреков верхних лав, поэтому вероятность динамических обрушений пород высокой интенсивности существенно снижается.

В-четвертых, использование для отработки Третьего калийного пласта технологии селективной выемки на полную мощность одной лавой с расположением всех подготовительных выработок под сравнительно устойчивой 30-сантиметровой пачкой 3-го сильвинитового слоя позволяет исключить вероятность динамических обрушений кровли. Однако валовая выемка пласта в этом случае исключена из-за существенного разубоживания отбиваемой руды, а для селективной лавы будет необходима разработка новой конструкции комбайна, при этом ожидается производительность лавы значительно ниже достигнутой в слоевых лавах.

В-пятых, устойчивость подготовительных выработок в технологических схемах слоевой выемки Третьего калийного пласта зависит и от порядка отработки верхнего и нижнего слоев в пределах выемочного столба или панели. При одновременной отработке слоев выработка верхней и нижней лав могут оказаться в зоне совместного влияния опорного давления от обеих лав и быстро накопить критические деформации. При последовательной отработке слоев совместное влияние на выработки очистных работ верхних и нижних лав исключается. Кроме того, при таком порядке отработки слоевую выемку пласта можно вести с применением бесцеликовых технологических схем.

Разработка вариантов слоевой выемки Третьего калийного пласта для больших глубин разработки. Для разработки технологических схем слоевой выемки Третьего калийного пласта с вовлечением в отработку 4-го сильвинитового слоя необходим выбор участка в пределах шахтного поля на горизонте –670 м, имеющего глубину заложения более 900 м. Наиболее перспективным для применения разрабатываемых технологических схем является северо-восточный участок шахтного поля. На рис. 1 показана часть плана горных работ восточнее 8-й северной панели горизонта –670 м, где имеются неотработанные запасы полезного ископаемого, расположющиеся на глубине от 910 м на юге до 990 м на севере. План выполнен с использованием геоинформационной системы MapManager, разработанной в Белорусском государственном университете (авторы разработки – М. А. Журавков, В. В. Видякин).

На глубинах свыше 900 м и слабоустойчивых породах кровли наиболее подходящим способом является проведение и поддержание выработок вприсечку к выработанному пространству. При этом способы бесцеликовой отработки 4-го сильвинитового слоя Старобинского месторождения во многом зависят от горно-геологических условий, в зависимости от этого возможны следующие варианты поддержания бортового штрека лавы, проводимого со стороны выработанного пространства смежной лавы:

- проведение выработки отстающей смежной лавы вприсечку (с целиком 3–5 м) к выработанному пространству опережающей лавы;
- оставление между выемочными столбами временного целика, частично вынимаемого комбайном отстающей смежной лавы одновременно с ведением очистной выемки в самой лаве;
- повторное использования выработки для отработки смежного выемочного столба.

С учетом требований, изложенных в первой части статьи, для отработки Третьего калийного пласта в северо-восточной части шахтного поля рудника Четвертого рудоуправления разработаны четыре варианта технологических схем слоевой выемки.

Вариант 1 – бесцеликовая выемка Третьего калийного пласта с последовательным порядком отработки выемочных столбов верхней лавой по 4-му сильвинитовому слою и нижней лавой по слоям 2, 2–3, 3 в пределах панели (рис. 2).

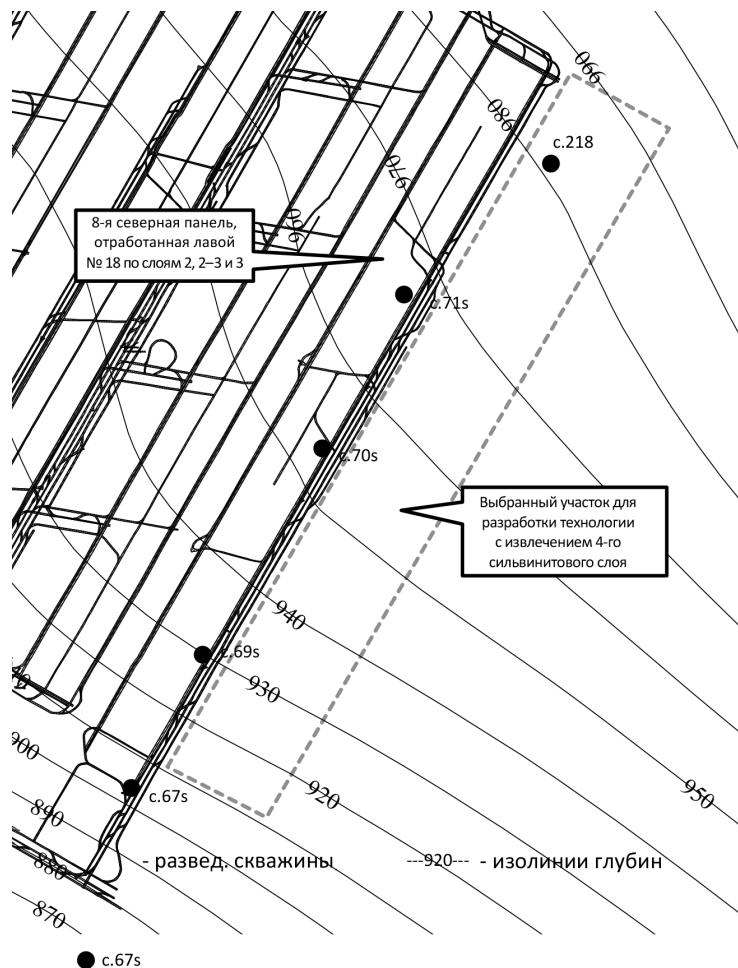


Рис. 1. Выкопировка из плана горных выработок ГИС MapManager северо-восточной части шахтного поля рудника Четвертого рудоуправления с изолиниями глубины залегания Третьего калийного пласта

Fig. 1. Copying of northeastern parts of mining of the mine 4th Mining Department with isolines of depth of occurrence of the Third potash formation from the GIS MapManager plan of mountain mining sites

В данной технологической схеме вначале от выработок главного направления на всю длину выемочного столба проходятся транспортный (1), конвейерный (2) и вентиляционный № 1 (3) штреки верхней лавы. Очистные работы по этой схеме начинаются после оконтуривания первого от монтажного штрека короткого выемочного столба длиной 300–400 м. Для этого от транспортного штрека проводится вспомогательная выработка (5), а затем вприсечку с целиком 5 м – вентиляционный штрек № 2 (4). Вентиляционный штрек № 2 можно использовать только для проветривания очистного забоя без установки в нем крепи сопряжения и присутствия людей. Данное техническое решение использовано и в следующих двух вариантах.

Вентиляционный штрек № 1 (3) для повышения безопасности его перехода нижней лавой может закладываться рудой из верхней лавы.

После отработки первых двух выемочных столбов верхней лавой начинается подготовка нижней лавы с проходкой на всю длину столба транспортного (8), конвейерного (9), вентиляционных № 1 и № 2 (10 и 11) штреков под выработанным пространством первой верхней лавы. Для проходки вентиляционного штрека № 2 (10) на границе с выработанным пространством используются вспомогательные выработки (5). Отработка выемочного столба нижней лавой может вестись короткими столбами с постадийным проведением вентиляционного штрека № 2 (11).

Вариант 2 – с последовательным порядком отработки выемочных столбов верхней и нижней лавами в пределах панели и формированием в концевой части верхней лавы наклонного участка на нижний 3-й сильвинитовый слой (рис. 3).

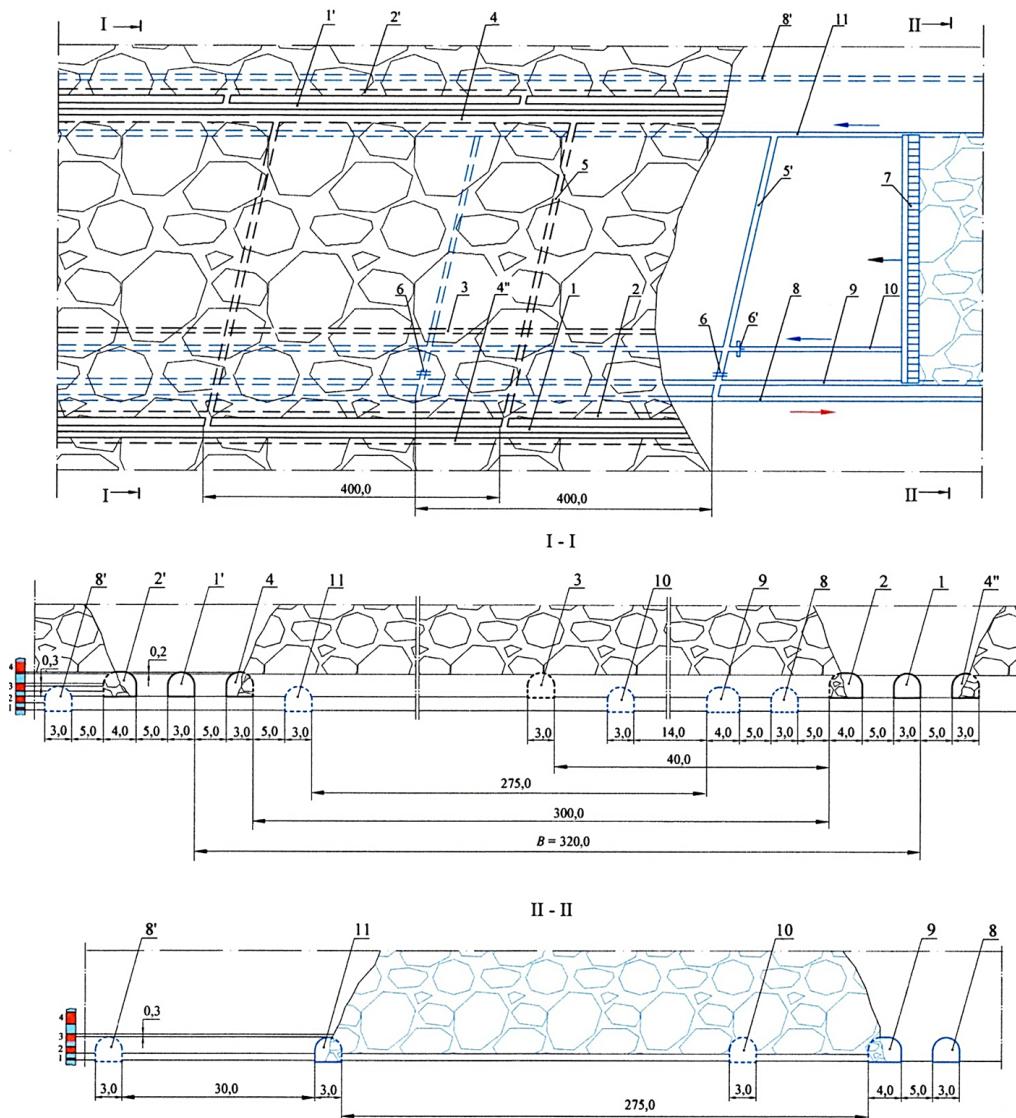


Рис. 2. Технологическая схема слоевой бесцеликовой выемки Третьего калийного пласта с последовательной отработкой 4-го сильвинитового слоя верхней лавой и слоев 2, 2–3, 3 нижней лавой в пределах панели; I, II – разрез; I – I вид I; II – II – вид II; 1, 2, 3, 4 – транспортный, конвейерный, вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки отрабатываемой верхней лавы; 1', 2' – транспортный и конвейерный штреки отработанной верхней лавы; 4" – вентиляционный штрек № 2 последующей верхней лавы; 5, 5' – вспомогательные выработки; 6, 6' – изолирующая и вентиляционная перемычки; 7 – забойная крепь; 8, 9, 10, 11 – транспортный, конвейерный, вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки отрабатываемой нижней лавы; 8' – транспортный штрек отработанной нижней лавы; B – величина максимального пролета

Fig. 2. Technological scheme of a layered excavation of the Third potash reservoir with sequential mining of 4th silvinitic layers by upper lava and layers 2, 2–3, 3 by lower lava within the panel; I, II – section; I – I – view I; II – II – view II; 1, 2, 3, 4 – transport, conveyor, ventilation no. 1 and ventilation no. 2 galleries of the upper lava being worked out; 1', 2' – transport and conveyor shafts of the spent upper lava; 4" – ventilation mining operations no. 2 of the subsequent upper lava; 5, 5' – auxiliary workings; 6, 6' – insulating and ventilation bridges; 7 – downhole support; 8, 9, 10, 11 – transport, conveyor, ventilation no. 1 and ventilation no. 2 mining operations of the worked-out lower lava; 8' – transport mining operations of the spent lower lava; B – maximum span value

Подготовка выемочного столба для его отработки верхней лавой заключается в проходке от выработок главного направления на всю длину транспортного (1), конвейерного (2), вентиляционных штреков № 1 и № 2 (3 и 4).

После отработки первых двух выемочных столбов верхней лавой начинается подготовка нижней лавы от выработок главного направления с проходкой на всю длину столба транспортного (8), конвейерного (9) и вентиляционного (10) штреков под выработанным пространством

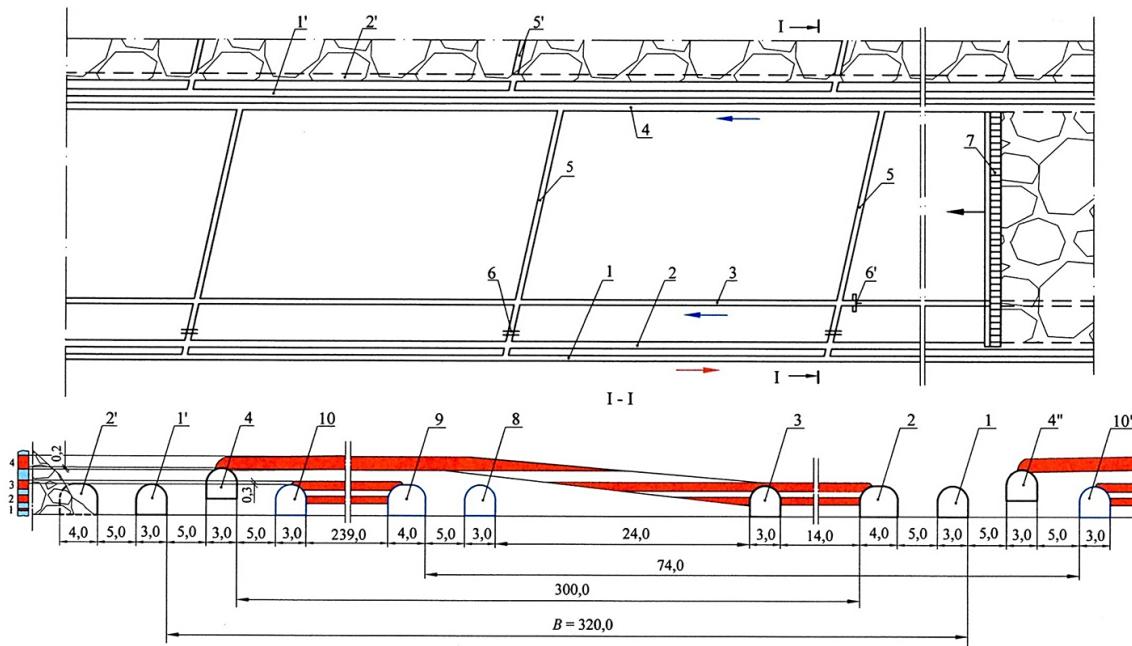


Рис. 3. Технологическая схема слоевой выемки Третьего калийного пласта с последовательным порядком отработки выемочных столбов верхней и нижней лавами в пределах панели и формированием в концевой части верхней лавы наклонного участка на нижний; I – разрез; I – I – вид I; 1, 2, 3, 4 – транспортный, конвейерный, вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки отрабатываемой верхней лавы; 5, 5' – вспомогательные выработки; 6, 6' – изолирующие и вентиляционные перемычки; 7 – забойная крепь; 1', 2' – транспортный и конвейерный штреки отработанной смежной лавы; 4'', 10'' – вентиляционные штреки верхней и нижней лав, подлежащих отработке (на плане не показаны); 8, 9, 10 – транспортный, конвейерный и вентиляционный штреки нижней лавы (на плане не показаны); B – величина максимального пролета

Fig. 3. Technological scheme of the layered excavation of the Third potash reservoir with a sequential order of working

out the excavation pillars of the upper and lower lavas within the panel and the formation of an inclined section at the end of the upper lava on the lower one; I – section; I – I – view I; 1, 2, 3, 4 – transport, conveyor, ventilation no. 1 and ventilation no. 2 galleries of the upper lava being worked out; 5, 5' – auxiliary workings;

6, 6' – insulating and ventilation bridges; 7 – mining support; 1', 2' – transport and conveyor shafts of spent adjacent lava; 4'', 10'' – ventilation galleries of the upper and lower lavas to be worked out (not shown on the plan);

8, 9, 10 – transport, conveyor and ventilation galleries of the lower lava (not shown on the plan); B – maximum span value

первой верхней лавы. Для проходки вентиляционного штрека (10) на границе с выработанным пространством используются вспомогательные выработки.

Данная технологическая схема предусматривает формирование наклонного участка длиной до 30 м, расположенного в концевой части верхней лавы со стороны вентиляционного штрека № 1 (3) для соединения с нижним слоем, в котором пройдены транспортный, конвейерный и вентиляционный № 1 штреки лавы.

Выемочный столб отрабатывается нижней лавой в обратном порядке к выработкам главного направления и при необходимости может вестись также короткими столбами с постадийным проведением вентиляционного штрека.

Вариант 3 – со смещением выемочных столбов в слоях, последовательным порядком их отработки верхней и нижней лавами в пределах панели с формированием в концевой части верхней лавы наклонного участка на нижний слой (рис. 4).

В данной технологической схеме подготовка выемочного столба для отработки его верхней лавой и привязка подготовительных выработок к пласту аналогичны предыдущей схеме. Выемочный столб нижней лавы смещен относительно столба верхней лавы за счет проходки дополнительного вентиляционного штрека (11) в ненадработанном массиве вприсечку к выработанному пространству смежной лавы. Этот штрек служит только для проветривания лавы. Остальные подготовительные выработки нижней лавы проходятся под выработанным пространством верхней лавы.

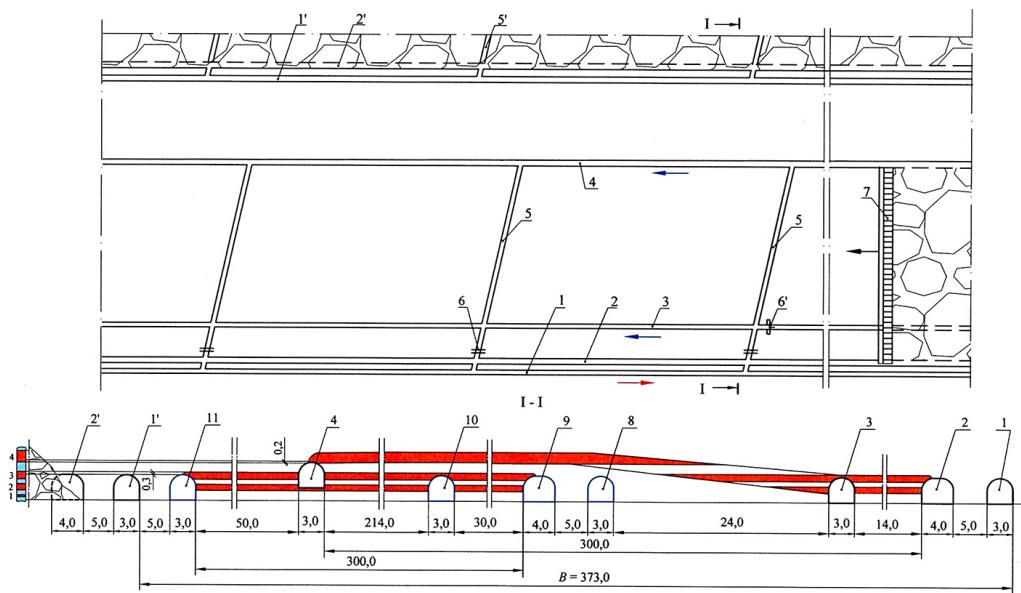


Рис. 4. Технологическая схема слоевой выемки Третьего калийного пласта со смещением выемочных столбов в слоях, последовательном порядке их обработки верхней и нижней лавами в пределах панели с формированием в концевой части верхней лавы наклонного участка на нижний слой; I – разрез; I – I – вид I;
 1, 2, 3, 4 – транспортный, конвейерный, вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки отрабатываемой верхней лавы; 5, 5' – вспомогательные выработки; 6, 6' – изолирующие и вентиляционные перемычки;
 7 – забойная крепь; 1', 2' – транспортный и конвейерный штреки отработанной смежной лавы;
 8, 9, 10, 11 – транспортный, конвейерный и вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки нижней лавы (на плане не показаны); B – величина максимального пролета

Fig. 4. Technological scheme of the layered excavation of the Third potash reservoir with the displacement of the excavation pillars in the layers, the sequential order of their processing by the upper and lower lavas within the panel with the formation of an inclined section on the lower layer at the end of the upper lava; I – section; I – I – view I; 1, 2, 3, 4 – transport, conveyor, ventilation no. 1 and ventilation no. 2 adits of the upper longwall being mined; 5, 5' – auxiliary workings; 6, 6' – insulating and ventilation bridges; 7 – mining support; 1', 2' – transport and conveyor shafts of spent adjacent lava; 8, 9, 10, 11 – transport, conveyor and ventilation no. 1 and ventilation no. 2 adits of lower lava flows (not shown on the plan); B – maximum span value

Вариант 4 – бесцеликовая выемка с отработкой верхнего 4-го сильвинитового слоя через длительный (не менее 25 лет) промежуток времени после его подработки нижней лавой по слоям 2, 2–3 и 3 (рис. 5).

Технологическая схема предусматривает опережающую отработку нижних (2, 2–3, 3) слоев с последующей выемкой подработанного 4-го сильвинитового слоя через длительный (не менее 25 лет) промежуток времени.

Подготовка выемочного столба для его отработки лавой по слоям 2, 2–3, 3 осуществляется проходкой от выработок главного направления четырех штреков – транспортного (1), конвейерного (2), вентиляционного № 1 (3) и вентиляционного № 2 (4). Вентиляционный штрек № 2 проводится вприсечку к выработанному пространству смежной лавы и предназначен только для проветривания очистного забоя.

Подготовительные выработки по 4-му сильвинитовому слою (транспортный (8), конвейерный (9), вентиляционные № 1 и № 2 (10 и 11)) располагаются в подработанном лавой по слоям 2, 2–3, 3 массиве и проходят с прихватом 0,4 м нижней части 4-го сильвинитового слоя.

Отработка выемочных столбов по слоям 2, 2–3, 3 и сильвинитовому слою 4 ведется в обратном порядке к выработкам главного направления. При необходимости возможно применение коротких столбов с оконтурированием их путем постадийного проведения вентиляционных штреков № 1 (4) и № 2 (11).

В варианте 1 все подготовительные выработки верхней лавы приходятся с прихватом 0,17–0,20 м нижней части 4-го сильвинитового слоя. В вариантах 2 и 3 с такой привязкой проводятся лишь вспомогательные вентиляционные штреки, предназначенные только для проветрива-

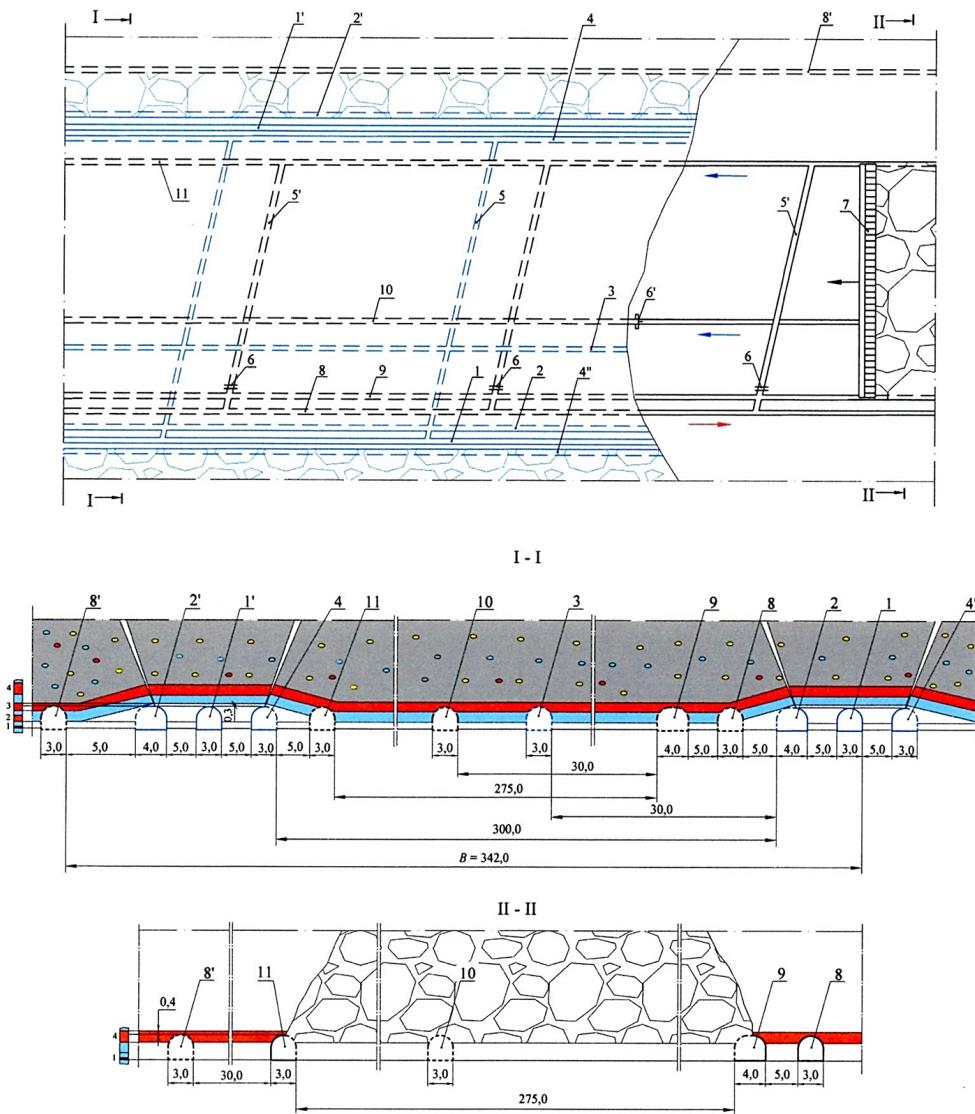


Рис. 5. Технологическая схема слоевой бесцеликовой выемки Третьего калийного пласта с отработкой 4-го сильвинитового слоя через длительный (не менее 25 лет) промежуток времени после его подработки лавой по слоям 2, 2–3 и 3; I, II – разрез; I – I вид I; II – II – вид II; 1, 2, 3, 4 – транспортный, конвейерный, вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки отрабатываемой лавы по слоям 2, 2–3, 3; 1', 2' – транспортный и конвейерный штреки отработанной лавы по слоям 2, 2–3, 3; 4'' – вентиляционный штрек № 2 последующей лавы по слоям 2, 2–3, 3; 5, 5' – вспомогательные выработки; 6, 6' – изолирующая и вентиляционные перемычки; 7 – забойная крепь; 8, 9, 10, 11 – транспортный, конвейерный, вентиляционный № 1 и вентиляционный № 2 штреки отрабатываемой лавы по 4-му сильвинитовому слою; 8' – транспортный штрек отработанной лавы по 4-му сильвинитовому слою; B – величина максимального пролета

Fig. 5. Technological scheme of layered excavation of the Third potash reservoir with the processing of the 4th silvinite layer after a long (at least 25 years) period of time after its underworking by lava in layers 2, 2–3 and 3; I, II – section; I – I view I; II – II – view II; 1, 2, 3, 4 – transport, conveyor, ventilation no. 1 and ventilation no. 2 galleries of lava flows by layers 2, 2–3, 3; 1', 2' – transport and conveyor galleries of spent lava for scrapping 2, 2–3, 3; 4'' – ventilation galleries no. 2 of the subsequent lava by layers 2, 2–3, 3; 5, 5' – auxiliary workings; 6, 6' – insulating and ventilation bridges; 7 – downhole support; 8, 9, 10, 11 – transport, conveyor, ventilation no. 1 and ventilation no. 2 lava galleries of along the 4th silvinite layer; 8' – transport drift of spent lava along the 4th silvinite layer; B – maximum span value

ния очистных забоев. В варианте 4 проходка подготовительных выработок для выемки 4-го сильвинитового слоя после его подработки лавой по слоям 2, 2–3, 3 осуществляется с прихватом 0,4 м нижней части 4-го сильвинитового слоя. Остальные выработки как по 4-му сильвинитовому слою, так и по слоям 2, 2–3, 3 проводятся в нижней более устойчивой части пласта с оставлением в кровле 0,3 м 3-го сильвинитового слоя.

Во всех вариантах принят последовательный порядок отработки слоев в пределах выемочного столба или участка шахтного поля, что позволяет исключить в технологических схемах оставление широких внутрипанельных и межстолбовых целиков и перейти на бесцеликовую отработку обоих слоев, при которой существенно сокращаются потери полезного ископаемого и снижается вероятность динамических проявлений горного давления в очистных забоях.

В разработанных вариантах технологических схем слоевой выемки охрана подготовительных выработок шириной 3 м осуществляется четырьмя компенсационными щелями (в кровле, почве и боках), а выработок шириной 3,8–4,0 м – тремя щелями без проведения компенсационной щели в кровле. В варианте 1 конвейерному штреку верхней лавы шириной 3,8 м придается плоская форма кровли и в ней оформляется компенсационная полость.

Кровля подготовительных выработок крепится анкерами первого уровня, и лишь в варианте 1 применяется дополнительное крепление подготовительных выработок верхней лавы анкерами второго уровня повышенной несущей способности.

Технико-экономическое сравнение разработанных вариантов технологических схем. Сравнение представленных вариантов технологических схем осуществляется по следующим показателям: удельный объем горно-подготовительных работ (ГПР); среднее содержание хлорида калия (KCl) и нерастворимого остатка (Н.О.) в руде; объем добычи руды в стандарте; коэффициент извлечения полезного компонента из недр.

Коэффициент извлечения полезного ископаемого (K_i) определялся из выражения (1)

$$K_i = \frac{Q_{\text{доб}}^{\text{ст}}}{Q_{\text{бал}}^{\text{ст}}} \cdot 100, \%, \quad (1)$$

где $Q_{\text{доб}}^{\text{ст}}$ – объем добываемой руды в стандарте из выемочного столба для рассматриваемого варианта; $Q_{\text{бал}}^{\text{ст}}$ – объем балансовых запасов для выемочного столба в рассматриваемом варианте.

Технико-экономические показатели для каждого из вариантов технологических схем представлены в таблице.

Технико-экономические показатели вариантов технологических схем
Technical and economic indicators of technological scheme options

Вариант Variant	Показатели Indicators				
	Удельный объем ГПР, % Specific volume of MPW, %	Качество руды Ore quality		Объем добычи руды в стандарте, тыс. т The volume of ore extraction in the standard, thousand tons	Извлечение KCl из недр, % Extraction of KCl from the depths, %
		Содержание KCl, % KCl content, %	Содержание Н.О., % Insoluble residue content, %		
Вариант 1 Variant 1	8,8	36,8	9,1	7062,6	91,8
Вариант 2 Variant 2	6,9	36,2	9,1	6523,3	84,8
Вариант 3 Variant 3	6,8	36,3	8,7	7490,6	83,5
Вариант 4 Variant 4	8,2	36,6	6,4	7088,6	92,1

Из таблицы видно, что удельный объем горно-подготовительных работ для предлагаемых технологических схем изменяется от 6,8 % (вариант 3) до 8,8 % (вариант 1), что не позволяет выделить лучший из предлагаемых вариантов технологических схем. Наиболее высокое содержание KCl в руде (36,8 %) характерно для варианта 1, а наименьшее (36,2 %) – для варианта 2. По содержанию полезного компонента рассматриваемые варианты практически равнозначны.

Содержание Н.О. в руде для вариантов 1–3 примерно одинаково и изменяется от 8,7 до 9,1 %. Для варианта 4 значение Н.О. минимально и составляет 6,4 %. Из опыта обогащения калийных руд известно, что увеличение содержания в них Н.О. на 1 % влечет за собой помимо роста потребления дорогостоящих реагентов снижение извлечения полезного компонента на 2–3 %, что необходимо обязательно учитывать.

Объем добычи руды в стандарте из выемочного столба для предложенных технологических схем максимален для варианта 3 (7 490,6 тыс. т), на втором и третьем месте соответственно варианты 4 и 1 (7 088,6 и 7 062,6 тыс. т). Минимальный объем добычи – у варианта 2 (6 523,3 тыс. т). При этом максимальный процент извлечения полезного компонента при добывче из выемочных столбов предложенных технологических схем характерен для варианта 4 (92,1 %) и варианта 1 (91,8 %); минимальное извлечение (83,5 %) – для варианта 3.

Таким образом, основным преимуществом вариантов 1 и 4 является высокое извлечение полезного компонента из недр по сравнению с вариантами 2 и 3. В то же время в варианте 1 при отработке 4-го сильвинитового слоя потребуется дополнительное крепление анкерами высокой несущей способности не только сопряжений и камер разворота самоходного транспорта, но и линейных участков конвейерного штрека, а в варианте 4 сильвинитовый слой 4 можно будет отрабатывать не ранее 25–30 лет после его подработки лавой по слоям 2, 2–3, 3.

Существенным недостатком вариантов 2 и 3 является наличие в верхней лаве наклонного участка, усложняющего работу забойного конвейера и снижающего качество руды. Но данный отрицательный элемент технологии перекрывается положительным фактором – возможностью расположения основных подготовительных выработок лавы по 4-му сильвинитовому слою в нижней части пласта, обеспечивая значительное повышение их устойчивости.

Как было отмечено ранее [2], более эффективными являются технологические схемы с последовательным порядком отработки выемочных столбов. В них выемочные штреки проводят отдельно для верхней и нижней лав, что позволяет использовать бесцеликовую отработку смежных выемочных столбов в каждом слое или с оставлением между ними целиков минимальных размеров.

Несмотря на отсутствие опыта отработки Третьего калийного пласта на полную мощность одной лавой с повторным использованием выемочных штреков или с проведением штреков вприсечку к выработанному пространству [1], данное направление также остается перспективным при отработке Старобинского калийного месторождения.

Заключение. В данной работе предложено четыре варианта технологических схем слоевой выемки Третьего калийного пласта с вовлечением в отработку 4-го сильвинитового слоя в северо-восточной части шахтного поля рудника Четвертого рудоуправления Старобинского месторождения с глубиной свыше 900 м.

Анализ представленных данных свидетельствует о незначительных отличиях вариантов технологических схем по всем принятым для сравнения показателям, поэтому отдать явное предпочтение какому-либо из них не представляется возможным. В связи с этим выбор варианта слоевой выемки Третьего калийного пласта с вовлечением с отработку 4-го сильвинитового слоя на глубинах более 900 м будет осуществляться с учетом привязки к горно-геологическим и горнотехническим условиям конкретного участка шахтного поля.

Разработанные технологические схемы с рекомендуемыми способами поддержания подготовительных выработок будут использованы при составлении проектов отработки выемочных столбов слоевыми лавами и войдут в соответствующие нормативные документы при их очередном пересмотре.

Список использованных источников

1. Технологии крепления горных выработок глубоких горизонтов Октябрьского месторождения / С. А. Вохмин, Г. С. Курчин, Е. С. Майоров [и др.] // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – № 7. – С. 45–52. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-7-45-52>
2. Морозов, И. А. Оценка устойчивости горных выработок в соляных породах Гремячинского месторождения: дис. ... канд. техн. наук: 2.8.6 / Морозов Иван Александрович; Гор. ин-т Урал. отд-ния Рос. акад. наук, фил. Федер. гос. бюджет. учр. науки Перм. федер. исслед. центра Урал. отд-ния Рос. акад. наук. – Пермь, 2022. – 153 л.
3. Прушак, В. Я. Закономерности взаимного влияния горных выработок на глубоких горизонтах Старобинского месторождения калийных солей / В. Я. Прушак // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных наукаў. – 2015. – № 4. – С. 41–45.
4. Двухшинковый селективный комбайн для отработки сложноструктурных калийных пластов Старобинского месторождения длинными очистными забоями / В. Я. Щерба, В. Я. Прушак, Б. И. Петровский [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – 2005. – № 6. – С. 202–206.

5. Технология слоевой выемки при разработке пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения / И. А. Подлесный, В. Н. Гетманов, Б. И. Петровский, И. Е. Носуля // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 59–63. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.08>
6. Петровский, Б. И. Прогноз опасных обрушений кровли при слоевой отработке пласта Третьего калийного горизонта / Б. И. Петровский, А. А. Гарнишевский, О. М. Чечуха // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 76–81. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.11>
7. Прушак, В. Я. Особенности проявления горного давления в лавах с труднообрушаемой кровлей при бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта Старобинского месторождения / В. Я. Прушак // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2016. – № 1. – С. 99–105.
8. Прушак, В. Я. Деформация контура горных выработок Старобинского месторождения калийных солей при различных глубинах заложения / В. Я. Прушак // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 2. – С. 97–101.
9. Тараканов, В. А. Поддержание горных выработок при разработке Старобинского месторождения на больших глубинах / В. А. Тараканов, И. И. Головатый, А. Л. Поляков // Горный журнал. – 2010. – № 8. – С. 36–38.
10. Патиюк, С. И. Поддержание капитальных и подготовительных выработок на глубоких горизонтах при отработке Старобинского месторождения / С. И. Патиюк, Ю. Б. Петровский, В. Я. Прушак // Горный журнал. – 2018. – № 8. – С. 70–75. <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.10>
11. Сокол, Д. Г. Направления совершенствования бесцеликовых технологических схем отработки калийных пластов / Д. Г. Сокол // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 4. – С. 93–98. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-4-93-98>
12. Зубов, В. П. Совершенствования систем разработки Третьего калийного пласта на рудниках ПО «Беларуськалий» / В. П. Зубов, А. Д. Смычник, В. М. Кириенко // Записки Горного института. – 2006. – Т. 168, вып. 3. – С. 15–18.
13. Петровский, А. Б. Особенности проявлений горного давления при слоевой бесцеликовой выемке Третьего калийного пласта на Старобинском месторождении калийных солей / А. Б. Петровский, В. Я. Прушак, Е. А. Лутович // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 3. – С. 350–360. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360>
14. Петровский, А. Б. Физико-механические свойства пород, слагающих и перекрывающих Третий калийный пласт Старобинского месторождения / А. Б. Петровский, В. Я. Прушак, Е. А. Лутович // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 484–495. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-4-484-494>

References

1. Vokhmin S. A., Kurchin G. S., Maiorov E. S., Kirsanov A. K., Kostylev S. S. An overview of deep horizons excavation lining technologies at Oktyabrsky deposit. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2019, no. 7, pp. 45–52 (in Russian). <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-7-45-52>
2. Morozov I. A. *Evaluation of the Stability of Mine Workings in Salt Rocks of the Gremyachinskoye Deposit* [dissertation]. Permian, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2022. 153 p. (in Russian).
3. Prushak V. Ya. Patterns of mutual influence of mine workings at deep horizons of the Starobin potash salt deposit. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tehnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2015, no. 4, pp. 41–45 (in Russian).
4. Shcherba V. Ya., Prushak V. Ya., Petrovskiy B. I., Kalinichenko P. I., Kirienko V. M., Pleskunov V. N. Twin-screw selective combine for mining complex-structured potash seams of the Starobinskoye deposit using longwall faces. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnye nauki* [Bulletin of Polotsk State University. Series B], 2005, no. 6, pp. 202–206 (in Russian).
5. Podlesnyi I. A., Getmanov V. N., Petrovskiy B. I., Nosulya I. E. Multi-slice mining technology for potash seam III at the Starobinsk deposit. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 8, pp. 59–63 (in Russian). <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.08>
6. Petrovskiy B. I., Garnishevskiy A. A., Chechuha O. M. Prediction of hazardous roof falls in slice mining of potash seam III. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 8, pp. 76–81 (in Russian). <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.11>
7. Prushak V. Ya. Peculiarities of manifestation of rock pressure in longwalls with difficult-to-collapse roof during non-core mining of the Third potash seam of the Starobin deposit. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tehnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2016, no. 1, pp. 99–105 (in Russian).
8. Prushak V. Ya. Deformation of the edge of the workings of the Starobin deposit of potash salts at different location depths. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2016, vol. 60, no. 2, pp. 97–101 (in Russian).
9. Tarakanov V. A., Golovatyj I. I., Polyakov A. L. Maintenance of mine workings during the development of the Starobinskoye deposit at great depths. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2010, no. 8, pp. 36–38 (in Russian).
10. Patiuk S. I., Petrovskij Yu. B., Prushak V. Ya. Maintenance of capital and development workings at deep levels during the development of the Starobinskoye deposit. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 8, pp. 70–75 (in Russian). <https://doi.org/10.17580/gzh.2018.08.10>

11. Sokol D. G. Principal directions of the development of mining methods potash seams. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Kuzbass State Technical University*, 2018, no. 4, pp. 93–98 (in Russian). <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2018-4-93-98>
12. Zubov V. P., Smychnik A. D., Kirienko V. M. Improving the development systems of the Third Potash Seam at the mines of Belaruskali. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*, 2006, vol. 168, iss. 3, pp. 15–18 (in Russian).
13. Petrovsky A. B., Prushak V. Ya., Lutovich E. A. Features of rock pressure manifestations whith the slice pillarless extraction of the Third potash layer at the Starobin potash salt deposit. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, vol. 64, no. 3, pp. 350–360 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-3-350-360>
14. Petrovskiy A. B., Prushak V. Ya., Lutovich E. A. Physical and mechanical properties of the rocks of the Starobinsky deposit forming the Third potash layer and its roof. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2021, vol. 65, no. 4, pp. 484–494 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2021-65-4-484-494>