

ISSN 1561-8358 (Print)

ISSN 2524-244X (Online)

УДК 622.363.2.014.3:551.25(045)(476)

<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-4-497-510>

Поступила в редакцию 24.07.2019

Received 24.07.2019

И. И. Головатый¹, А. Б. Петровский¹, В. Я. Прушак²

¹ОАО «Беларуськалий», Солигорск, Беларусь

²Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством, Солигорск, Беларусь

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫЕМКИ ОСТАВЛЕННЫХ ЗАПАСОВ ТРЕТЬЕГО КАЛИЙНОГО ГОРИЗОНТА СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ОТРАБОТАННЫХ КАМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ

Аннотация. Разработана методика обоснования возможности и целесообразности выемки оставленных запасов, отработанных более 40 лет назад камерной системой, с поддержанием в безопасном состоянии подземных горнотехнических сооружений. Методика включает выявление путем изучения геолого-маркшейдерской документации участков с оставленными запасами в пределах шахтных полей; расчет объемов и качественных показателей оставленных запасов на этих участках; определение состояния выработок, имеющих непосредственный доступ к рассматриваемым запасам, и возможности их повторного использования, а также возможности проведения новых подготовительных выработок и обеспечения их устойчивости и поддержания в безопасном состоянии; установление особенностей геомеханических процессов в породном массиве и наличия опасных нарушений в зоне выработанного пространства, степени нарушения и характера деформирования жестких и податливых целиков в очистных камерах, в том числе с использованием специально проведенных вскрывающих исследовательских выработок; разработку технологических схем безопасной отработки оставленных запасов. С использованием этой методики впервые выполнено обоснование технологической возможности и экономической целесообразности выемки полезного ископаемого из отработанных более 40 лет назад очистных блоков Первого и Второго рудников ОАО «Беларуськалий». Показана возможность выемки оставленных запасов в 4-м силвинитовом слое и слоях 2, 2–3, 3 в междукамерных целиках на участках, отработанных ранее камерной системой, с общим объемом более 57 млн т. Приводятся результаты обследований состояния капитальных и подготовительных выработок в местах возможного доступа на эти участки, согласно которым для повторной отработки большинства отработанных блоков потребуется проведение новых капитальных и подготовительных выработок. Описываются результаты визуальных обследований панельных и блоковых штреков, их сопряжений с очистными ходами, а также состояния и степени нарушенности междукамерных целиков в очистных камерах. Предложены возможные способы повторной отработки оставленных запасов Третьего калийного горизонта очистными лавами и камерной системой, отличающиеся высокой технико-экономической эффективностью и безопасностью ведения горных работ.

Ключевые слова: калийный горизонт, силвинитовый слой, выработка, целик, очистная камера

Для цитирования: Головатый, И. И. Обоснование возможности выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения, отработанных камерной системой / И. И. Головатый, А. Б. Петровский, В. Я. Прушак // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2019. – Т. 64, №4. – С. 497–510. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-4-497-510>

I. I. Golovaty¹, A. B. Petrovskij¹, V. Ya. Prushak²

¹Belaruskali JSC, Soligorsk, Belarus

²Soligorsk Institute of Resource Saving Problems with Pilot Production, Soligorsk, Belarus

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF DEVELOPING RESERVES OF THE THIRD POTASH HORIZON OF THE STAROBIN DEPOSIT, PREVIOUSLY WORKED OUT BY THE CHAMBER SYSTEM

Abstract. A technique has been developed of justification of possibility and expediency of extraction of the reserves left, which were mined more than 40 years ago by chamber system with maintenance in a safe condition of underground mining constructions. The methodology includes the identification by studying the geological and mine surveying documentation of districts with reserves in the mine fields; calculation of volumes and quality indicators of reserves left at these areas; assessment of a condition of mine workings that have direct access to the reserves concerned, and the possibility of their re-use, as well as the possibility of new development workings and ensuring their sustainability and maintenance in a safe condition; establishing the features of geomechanical processes in the rock mass and the presence of dangerous violations in the worked-out zone, the degree of the violation and the nature of the deformation of rigid and pliable pillars in the extraction chambers, including the use of specially conducted mine openings; development of technological schemes for safety extraction of abandoned minerals. With the use of this technique for the first time the technological opportunities and economic feasibility of mining minerals from the treatment units of the First and Second Mines of JSC Belaruskali, worked out more than 40 years ago, has been estimated.

The possibility of excavating abandoned reserves in the sylvinitic layer 4 and layers 2, 2–3, 3 in inter-chamber pillars in areas previously worked out by the chamber system with total volumes of more than 57 million tons is shown. The results of surveys of the state of capital and development workings are given, according to which for the re-mining of most of the worked-out blocks, new capital and development workings will be required. The results of visual examinations of panel and block drifts, their conjugations with treatment passages, as well as the state and degree of violation of inter-passage and inter-chamber pillars in the treatment chambers are described. Possible methods for re-mining the reserves of the Third potash horizon with treatment long-walls and a chamber system are proposed, which are distinguished by high technical and economic efficiency and mining safety.

Keywords: potash horizon, sylvinitic layer, mine workings, pillar, extraction chambers

For citation: Golovaty I. I., Petrovskij A. B., Prushak V. Ya. Substantiation of the possibility of developing reserves of the Third potash horizon of the Starobin deposit, previously worked out by the chamber system. *Vestsi Natsyyanal'най akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnych navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2019, vol. 64, no. 4, pp. 497–510 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-4-497-510>

Введение. Оработка пласта Третьего калийного горизонта Старобинского месторождения, который является основным промышленным горизонтом месторождения (около 80 % балансовых запасов калийных солей [1]), началась на шахтном поле Первого рудника в начале 1960-х годов. На Втором руднике промышленный пласт Третьего калийного горизонта начал обрабатываться в 1968 г. Первоначально, на обоих рудниках применялась камерная система разработки с поддержанием кровли на жестких и податливых целиках. Оработка очистных камер производилась комбайнами ШБМ-2 в сочетании с буровзрывными работами (БВР). Отгрузка руды выполнялась на скребковые конвейеры скреперными лебедками. В дальнейшем для отработки камер использовались комбайны типа ПК-8 и Урал-10КС в комплексе с самоходными вагонами. При этом коэффициент извлечения полезного ископаемого чаще всего не превышал 50 %. В 1970-е годы камерная система постепенно стала вытесняться более прогрессивной столбовой с обработкой слоев пласта лавами, которая отличалась более высоким коэффициентом извлечения полезного ископаемого, достигающим 85 % [2–4]. Вместе с тем к этому времени на Первом и Втором рудниках большие площади шахтных полей оказались отработаны с применением камерной системы разработки с оставлением значительных запасов полезного ископаемого в 4-м сивинитовом слое и в междукамерных целиках.

В настоящее время для сохранения достигнутых высоких показателей добычи и переработки руды, а также продления срока службы рудников назрела необходимость более рационального использования недр Старобинского месторождения за счет вовлечения в обработку ранее оставленных и списанных запасов, которые сосредоточены преимущественно в 4-м сивинитовом слое и в междукамерных целиках Третьего калийного горизонта Первого и Второго рудников на участках, отработанных более 40 лет назад с применением камерной системы. При этом опыта выемки таких запасов полезного ископаемого на рудниках Старобинского месторождения нет. Ранее практически не проводились и соответствующие научные исследования, при том что проблема выемки этих запасов является актуальной и сложной научно-технической задачей, решение которой требует учета многих горнотехнических, технологических, экономических и социальных факторов [5]. Можно указать только две работы [6, 7], посвященные разработке способов отработки запасов, оставленных в целиках выемочных панелей Старобинского месторождения, которые не нашли практического применения в силу экономической нецелесообразности и технической сложности реализации. Известны работы по данной проблеме, выполненные применительно к условиям Верхнекамского месторождения калийных солей [8, 9], результаты которых, однако, не могут быть использованы на рудниках ОАО «Беларуськалий».

В статье приводятся результаты комплексного исследования возможности выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта в 4-м сивинитовом слое и междукамерных целиках на участках шахтных полей Первого и Второго рудников, очистные работы на которых были закончены в период до начала 1980-х годов. При этом особое внимание уделялось поддержанию в безопасном состоянии подземных горнотехнических сооружений и выработок при повторной отработке указанных участков. В процессе исследования решались следующие задачи:

- разработать методику оценки возможности и целесообразности выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта, отработанных более 40 лет назад камерной системой;
- выявить участки с оставленными запасами в пределах шахтных полей рудников, установить технологии и параметры выемки, которые применялись для отработки этих участков;
- рассчитать объемы и качественные показатели оставленных запасов на этих участках;

оценить состояние выработок, имеющих непосредственный доступ к рассматриваемым запасам, возможность их повторного использования, а также проведения новых подготовительных выработок и обеспечения их устойчивости и поддержания в безопасном состоянии в течение всего срока отработки оставленных запасов;

установить состояние оставленных запасов полезного ископаемого, отработанных камерной системой разработки, степень их нарушенности, характер деформирования жестких и податливых целиков в очистных камерах;

разработать технологические схемы отработки оставленных запасов.

Основные методы исследования заключались в анализе геолого-маркшейдерской документации на участках шахтных полей Первого и Второго рудников, визуальных и инструментальных наблюдениях за состоянием капитальных и подготовительных выработок Третьего калийного горизонта в местах возможного доступа на участки, ранее отработанные камерной системой, в визуальных и инструментальных наблюдениях за состоянием участков шахтного поля из специальных исследовательских выработок.

Результаты проведенных исследований участков Третьего калийного горизонта Первого рудника. Выявление перспективных к повторной отработке участков шахтного поля.

Для оценки возможности выемки оставленных после отработки камерной системой запасов Третьего калийного горизонта Первого рудника был выполнен анализ геолого-маркшейдерской документации. При анализе принимались во внимание блоки камерной системы, отработанные до 1982 г., с учетом того, что в случае принятия решения по вовлечению в отработку оставленных запасов потребуется не менее двух-трех лет на выполнение подготовительных работ. Таким образом, к началу очистных работ пройдет не менее 40 лет после завершения ранее выполненных очистных работ, что является, по мнению авторов, гарантией окончания активных деформационных процессов в отработанном массиве, приведения его в устойчивое состояние.

По результатам анализа геолого-маркшейдерской документации шахтное поле рудника было разделено на восемь участков (рис. 1), при этом были выделены пять участков (№1–5), отработанных с оставлением 4-го сильвинитового слоя, и три участка (№6–8) с отработкой всех балансовых слоев 2, 3, 4.

Установлено, что схемы вариантов выемки сильвинитовых слоев и параметры очистных камер на отработанных участках шахтного поля характеризуются большим разнообразием. Это объясняется различными горно-геологическими условиями залегания пласта в пределах шахтного поля, поисками на начальном этапе освоения месторождения наиболее рациональных способов выемки слоев пласта с оптимизацией параметров поддержания кровли камер жесткими и податливыми целиками. В частности, оставление 4-го сильвинитового слоя на участках №1–5 вызвано следующими причинами: отсутствие отработанной технологии выемки, сложные горно-геологические условия залегания пласта, большая изменчивость или малая мощность слоя, низкое (некондиционное) содержание хлористого калия, частичное или полное выклинивание слоя и т. п.

Оценка целесообразности выемки оставленного 4-го сильвинитового слоя производилась по следующим факторам: мощность и изменчивость слоя, содержание хлористого калия,



Рис. 1. План горных работ Третьего горизонта Первого рудника с цветовым выделением блоков камерной системы разработки, отработанных более 40 лет назад (зеленый цвет – без отработки 4-го сильвинитового слоя, желтый цвет – с отработкой 4-го сильвинитового слоя)

Fig. 1. The plan of mining operations on the First Mine with highlighted areas of the mine field, in which more than 40 years ago the mineral was seized with the chamber mining system (green – with extraction of sylvinitic layer no. 4, yellow – without extraction of sylvinitic layer no. 4)

объем оставленных запасов, примененная технология подработки, доступность и возможность вскрытия запасов, ограничения по водозащитной толще.

Объем оставленных запасов на участках № 1–5 в 4-м сильвинитовом слое был рассчитан исходя из площади участков и средней мощности слоя. При этом получены следующие результаты.

Вследствие близкого расположения друг к другу участок № 1 (объем запасов 2270 тыс. т при содержании хлористого калия (KCl) в слоях сильвинита 32,2 %) и участок № 2 (700 тыс. т, 26 % KCl) необходимо рассматривать совместно. Целесообразность вовлечения в отработку оставленных запасов на этих участках вытекает из значительной средней мощности слоя (1,26 м и 0,95 м соответственно), небольшой изменчивости мощности (в пределах 0,03–0,05 м), значительного объема оставленных запасов (суммарно около 3 млн т), однотипности примененных технологий выемки очистных камер. Данные участки не имеют доступа к действующим выработкам, и для их отработки потребуется восстановление погашенных выработок главного южного направления или проведение новых.

Участок № 3 (1910 тыс. т, 20,3 % KCl) отличается высокой изменчивостью мощности слоя полезного ископаемого (0,32–1,07 м) и может быть вовлечен в отработку оставленных запасов лишь на тех участках, где возможно обеспечить необходимое средневзвешенное качество руды. Участок имеет доступ к действующим выработкам.

Нецелесообразно вовлекать в отработку оставленных запасов участок № 4 (660 тыс. т, 20,4 % KCl), так как он отличается высокой изменчивостью мощности сильвинитового слоя (0,60–1,03 м) и примененных технологических параметров подработки. Кроме того, участок не имеет доступа к действующим выработкам, и для его вскрытия потребуется проведение выработок через участок, где была выполнена гидрозакачка выработанного пространства.

Участок № 5 (2375 тыс. т, 34,7 % KCl) перспективен для отработки оставленных запасов сильвинитового слоя за счет хороших показателей средней мощности (1,25 м) и содержания хлористого калия в руде, больших объемов запасов, однотипности примененных технологий выемки при подработке. Данный участок не имеет доступа к действующим выработкам, и для его вскрытия потребуется восстановление погашенных выработок главного северного направления или проведение новых.

Таким образом, полученные результаты позволили дать положительную оценку целесообразности выемки 4-го сильвинитового слоя на участках № 1, 2, 5, части запасов участка № 3 и отрицательную оценку для участка № 4.

Определение целесообразности выемки оставленных запасов в междукамерных целиках по слоям 2, 2–3, 3 Третьего калийного горизонта осуществлялось по следующим параметрам: примененная технология отработки, средняя мощность слоев, коэффициент извлечения запасов, средняя ширина жестких целиков и ее изменчивость в пределах выделенного участка, объем оставленных запасов, возможность прямого доступа из действующих выработок, ограничения, связанные с горно-технологической ситуацией.

Оценка объемов оставленных запасов. Оценка объемов оставленных запасов в целиках на отработанных камерной системой участках производилась по следующему алгоритму: рассчитывалась площадь участков S , затем вычислялись усредненный коэффициент извлечения полезного ископаемого по блокам $K_{\text{извл.ср}}$ и объем оставленных запасов участка в междуходовых и междукамерных целиках V :

$$K_{\text{извл.ср}} = \sum \frac{(K_{\text{извл.}i} \cdot n_i)}{n}, \quad (1)$$

$$V = S \cdot m_{\text{ср.}2-3} \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{K_{\text{извл.ср}}}{100 \%} \right), \quad (2)$$

где $K_{\text{извл.}i}$ – коэффициент извлечения полезного ископаемого по каждому варианту отработки, %; n_i – количество отработанных блоков на участке по каждому варианту; n – общее количество отработанных блоков на участке; $m_{\text{ср.}2-3}$ – средняя вынимаемая мощность слоев 2–3 по блокам, м; γ – удельный вес полезного ископаемого, т/м³.

Кроме двух указанных показателей для оценки целесообразности отработки междукамерных целиков с точки зрения учета технологических параметров выемки, примененных ранее,

и их разнообразия использовались показатели средней ширины жестких целиков по блокам участка $b_{\text{жест.ср}}$ и величины стандартного отклонения от среднего значения ширины жестких междукламерных целиков по вариантам, которые вычисляются следующим образом:

$$b_{\text{жест.ср}} = \sum \frac{b_{\text{жест.}i} \cdot n_i}{n}, \quad (3)$$

$$\Delta b_{\text{жест.ср}} = \sum \frac{|b_{\text{жест.ср}} - b_{\text{жест.}i}|}{n_{\text{вар}}}, \quad (4)$$

где $b_{\text{жест.}i}$ – ширина жесткого целика по варианту отработки, м; n_i – количество отработанных блоков на участке по варианту отработки; $n_{\text{вар}}$ – количество применяемых вариантов отработки по участку. Влияние этих показателей на оценку целесообразности отработки междукламерных целиков следующее: чем выше значение средней ширины целиков ($b_{\text{жест.ср}}$) и чем меньше разброс ширины жестких целиков от среднего значения ($\Delta b_{\text{жест.ср}}$) по применяемым на участке вариантам отработки слоев, тем лучше горнотехнические условия будущей отработки.

В результате проведенных исследований состояния оставленных запасов в междукламерных целиках по слоям 2, 2–3, 3 установлено следующее.

Участки №1 (объем оставленных запасов 3,3 млн т) и №2 (1 млн т) за счет близкого расположения друг к другу следует рассматривать совместно. Они не имеют доступа к действующим выработкам, и для их отработки потребуется восстановление погашенных выработок главного южного направления или проведение новых. Данные участки нецелесообразно вовлекать в отработку оставленных запасов в междукламерных целиках, учитывая, что они были отработаны технологией с податливыми целиками и высоким коэффициентом извлечения (66 % и 68 % соответственно).

Участок №3 (5,5 млн т) может быть вовлечен в отработку оставленных запасов вследствие невысокого коэффициента извлечения (47,1 %) и достаточно большой средней ширины жестких целиков (5,9 м). Участок имеет прямой доступ к действующим выработкам.

Участок №4 (1,9 млн т) был отработан камерной системой разработки с жесткими междукламерными целиками со средней шириной 7,3 м и коэффициентом извлечения 48,3 %. Участок не имеет доступа к действующим выработкам, при этом для его вскрытия потребуется проведение выработок через участок №7, где была выполнена гидрозакачка выработанного пространства, что в настоящее время не представляется возможным без детальной оценки гидрогеологической ситуации.

Участок №5 (4,2 млн т) перспективен для отработки оставленных запасов в междукламерных целиках вследствие с невысокого коэффициента извлечения ($K_{\text{извл.ср}} = 48,7 \%$), значительной средней ширины жестких междукламерных целиков ($b_{\text{жест.ср}} = 5,5$ м), больших объемов запасов, однотипности примененных технологий выемки. Участок не имеет доступа к действующим выработкам и для его вскрытия потребуется восстановление погашенных выработок главного северного направления или проведение новых.

Участок №6 (6,7 млн т) может быть вовлечен в отработку оставленных запасов в междукламерных целиках с учетом небольшого коэффициента извлечения ($K_{\text{извл.ср}} = 40,2 \%$), значительной средней ширины жестких междукламерных целиков ($b_{\text{жест.ср}} = 7,2$ м), малой изменчивости ширины жестких целиков ($\Delta b_{\text{жест.ср}} = 0,51$ м) и больших объемов оставленных запасов.

Участок №7 (8 млн т) по рассматриваемым показателям ($K_{\text{извл.ср}} = 45,5 \%$, $b_{\text{жест.ср}} = 8,36$ м) является перспективным для вовлечения в отработку оставленных в междукламерных целиках запасов и имеет доступ к действующим выработкам главного южного направления. Основным недостатком этого участка является то, что в части очистных блоков была выполнена гидрозакачка выработанного пространства, поэтому для принятия решения по вовлечению целиков в повторную отработку должно быть проведено исследование гидрогеологической ситуации.

Участок №8 (5,7 млн т) перспективен для отработки оставленных запасов в междукламерных целиках за счет удовлетворительных показателей коэффициента извлечения ($K_{\text{извл.ср}} = 43,1 \%$), средней и выдержанной ширины жестких междукламерных целиков ($b_{\text{жест.ср}} = 8,0$ м, при $\Delta b_{\text{жест.ср}} = 0$ м), больших объемов запасов. Данный участок не имеет доступа к действующим выработкам, и для его вскрытия потребуется восстановление погашенных выработок главного северного направления или проведение новых.

Таким образом, была дана положительная оценка целесообразности выемки оставленных в целиках запасов по четырем участкам – №3, 5, 6 и 8, и отрицательная оценка для участков №1 и №2. Окончательное решение по вовлечению в отработку оставленных запасов на участках №4 и №7 может быть принято только после дополнительных исследований гидрогеологической ситуации на участке №7. Пока такая работа представляется нецелесообразной с экономической точки зрения, однако в случае дефицита запасов полезного ископаемого данная рекомендация может быть пересмотрена.

Оценка состояния горных выработок. Были выполнены также визуальные и инструментальные обследования состояния капитальных и подготовительных выработок для определения возможности их повторного использования при отработке оставленных запасов. В результате исследования геолого-маркшейдерской документации установлено, что выработки главного северного и южного направления в местах возможного доступа на рассматриваемые участки проходили в 1963–1965 гг. и позже. Подготовительные выработки западных панелей осуществлялись в период с 1964 по 1965 г. Привязка кровли выработок на главных направлениях в первые годы их эксплуатации выполнялась с оставлением 0,3 м 3-го сильвинитового слоя, а в последующие годы после ремонтных работ на некоторых участках – под каменную соль 4-го и 5-го слоев. За период эксплуатации выработок, срок службы которых к настоящему времени составляет более 50 лет, в некоторых из них выполнялся капитальный ремонт. Предполагалось, что при положительном результате обследования, ремонтно-восстановительные работы будут производиться в ранее пройденных выработках главных направлений и панельных выработках, имеющих доступ к участкам отработанным камерной системой разработки. В ином случае потребуются проведение новых подготовительных выработок.

Выполненные обследования включали следующие работы: измерение параметров выработок (высота, ширина) в их сечении; зарисовка (фотографирование) разрушенных элементов выработок (кровли, боков); оценка состояния крепи и параметры крепления (шаг установки, количество рядов, тип крепи); определение безопасности и объемов ремонтных работ.

Оценка состояния контура выработок выполнялась по шкале: «хорошее», «удовлетворительное», «неудовлетворительное». «Хорошее» состояние выработки характеризуется отсутствием явно видимого прогиба кровли и нарушений (расслоений) козырьков и берм, а также пучений почвы. Для «удовлетворительного» состояния выработки присуще «шелушение» и прогиб кровли до 0,1 м, пучение почвы до 0,2 м, наличие трещин в кровле с раскрытием не более 5 мм, отслоение берм мощностью не более 0,1 м. «Неудовлетворительное» состояние характеризуется прогибом кровли свыше 0,1 м, наличием трещин в кровле выработки с раскрытием свыше 5 мм, разрушением козырьков и берм, пучением почвы свыше 0,2 м, срезанием шайб на анкерной крепи.

В результате исследования установлено следующее:

1) расположенные в центральной части шахтного поля действующие выработки главных направлений находятся в удовлетворительном состоянии (например, участок транспортного штрека №1 5-й западной панели, на котором ранее проводился ремонт кровли, козырьков и берм, находится в хорошем состоянии, см. рис. 2, *a*);

2) выработки главного северного направления за сопряжениями с подготовительными выработками лавы №35 находятся в неудовлетворительном состоянии. Для вскрытия запасов, оставленных в северной части шахтного поля на участках №5 и №8, потребуются проведение новых или восстановление выработок главного северного направления (участок главного северного конвейерного штрека, который находится в неудовлетворительном состоянии – отслоения берм, трещины в кровле с вывалом породы, заколы в козырьках, трещины в почве до 0,3 м, показан на рис. 2, *b*);

3) подготовительные выработки западных панелей, через которые производилась отработка запасов участков №4 и №7 в центральной части шахтного поля, от выработок главного направления до «глухих» перемычек, ограждающих отработанное пространство очистных блоков камерной системы, находятся в удовлетворительном состоянии. При вовлечении в отработку оставленных запасов потребуются приведение панельных выработок в безопасное состояние и далее проходка новых подготовительных выработок на разрушенных участках (на рис. 2, *c* показан участок сопряжения подготовительных и очистных выработок 4-й западной панели, на котором требуется ремонт кровли, козырьков и берм);



Рис. 2. Состояние горных выработок Первого рудника: *a* – транспортный штрек № 1 5-й западной панели; *b* – главный северный конвейерный штрек; *c* – сопряжение подготовительных и очистных выработок 4-й западной панели; *d* – главный южный транспортный штрек № 1

Fig. 2. The state of mining of the First Mine: *a* – transport drift no. 1 from the 5th Western bar; *b* – the main Northern transport drift; *c* – pairing of preparation and cleaning workings of the 4th Western bar; *d* – the main South transport drift

4) выработки главного южного направления на участке за сопряжениями выработок 20-й юго-западной панели закрыты «глухими» перемычками, заскладированы или находятся в неудовлетворительном состоянии. При вовлечении в отработку оставленных запасов на участках № 6, 3, 2, 1 потребуется восстановление погашенных и проходка новых вскрывающих и подготовительных выработок. В подтверждение сказанному на рис. 2, *d* приведено изображение участка главного южного транспортного штрека № 1, на котором произошли отслоение и частичное разрушение берм, разрушение утюгов, пучение почвы до 0,15 м.

Результаты проведенных исследований участков Третьего калийного горизонта Второго рудника. Выявление перспективных к повторной отработке участков шахтного поля. В результате анализа параметров очистных блоков камерной системы с учетом времени выемки на шахтном поле Третьего калийного горизонта Второго рудника были выделены участки № 1–5 (рис. 3). Участки № 4 и № 5, отработанные через выработки главного северо-восточного направления, с точки зрения безопасности ведения горных работ решено не рассматривать, так как в наиболее углубленный и отработанный северо-восточный участок шахтного поля в последние несколько лет закачиваются рассолы.

Оценка объемов оставленных запасов. Методика оценки объемов оставленных запасов полезного ископаемого в целиках на отработанных камерной системой участках Второго рудника отличалась от методики, примененной для расчета объемов оставленных запасов в целиках на отработанных камерной системой участках Первого рудника. В отличие от Второго рудника, по участкам Первого рудника была подробная статистическая информация о величине коэффициента извлечения полезного ископаемого по каждому отработанному блоку. Соответственно потребовалось изменение методики расчета.

Первоначально был произведен расчет площади участков *S*. Далее с учетом ширины очистных ходов, ширины камер, ширины жестких целиков, средней мощности слоев, применения или не применения БВР при ведении выемки полезного ископаемого вычислялись коэффициент извлечения полезного ископаемого ($K_{извл}$) и объем оставленных запасов участка (*V*) в междуходовых и междуканальных целиках:

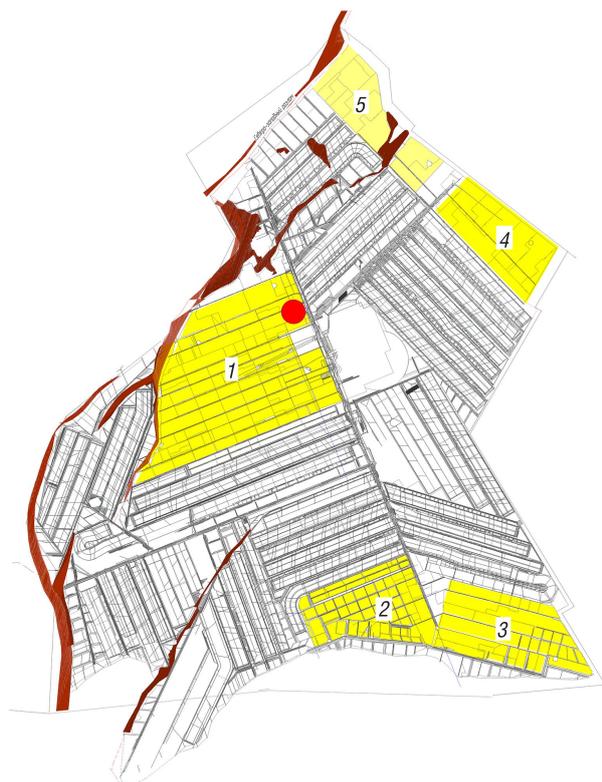


Рис. 3. План горных работ Третьего горизонта Второго рудника с цветовым выделением блоков камерной системы разработки, отработанных 40 лет назад (желтый цвет), и места проведения исследовательской выработки (красная точка)

Fig. 3. The plan of mining operations of the Third Horizon Second Mine, with highlighted areas of the blocks of chamber mining system, developed for more than 40 years ago (in yellow), and places of the exploratory hole (red dot)

ку исходя из большого объема оставленных запасов (более 25 млн т по силвинитовым слоям 2, 3, 4), невысокого коэффициента извлечения (46 %) и достаточно большой средней ширины жестких целиков (8,6 м). Участок доступен для вскрытия из действующих выработок главного направления, и для его отработки потребуются восстановление или проведение новых панельных выработок.

Участок №2 обладает сравнительно небольшим объемом оставленных запасов при коэффициенте извлечения запасов 51 % и средней ширине жестких междукамерных целиков (5,8 м). Данный участок не имеет доступа к действующим выработкам, и для его вскрытия понадобится проведение новых подготовительных выработок.

Участок №3 имеет существенный объем оставленных в целиках запасов, высокий коэффициент извлечения (58 %), небольшую ширину жестких целиков (4,9 м). Он не имеет доступа к действующим выработкам, и для его вскрытия понадобится проведение новых подготовительных выработок.

Если рассматривать участки №2 и №3 отдельно, то их использование для повторной отработки следует признать нецелесообразным. В связи с тем что эти участки являются смежными и могут быть вскрыты одними выработками главного южного направления, то с учетом общего объема оставленных в целиках запасов окончательное решение о возможности совместной отработки этих участков было отложено до уточнения сопутствующих горнотехнических факторов.

Оценка состояния горных выработок. Далее было обследовано состояние капитальных и подготовительных выработок для определения возможности доступа к участкам №1, 2 и 3. По результатам проведенных обследований установлено следующее:

без применения БВР:

$$K_{\text{извл}} = \frac{n_{\text{ход}} \cdot b_{\text{ход}}}{b_{\text{кам}} + b_{\text{жест}}}; \quad (5)$$

с применением БВР:

$$K_{\text{извл}} = \frac{n_{\text{ход}} \cdot b_{\text{ход}} + n_{\text{ход}} \cdot 1,5}{b_{\text{кам}} + b_{\text{жест}}}; \quad (6)$$

$$V = S \cdot m_{\text{ср.2-3}} \cdot \gamma \cdot (1 - K_{\text{извл}}), \quad (7)$$

где $n_{\text{ход}}$ – количество ходов в камере; $b_{\text{ход}}$ – ширина очистного хода, м; $b_{\text{кам}}$ – ширина очистных камер, м; $b_{\text{жест}}$ – ширина жестких целиков, м.

Кроме того, для учета разнообразия примененных технологических параметров выемки использовались еще два показателя – средняя ширина жестких целиков по блокам участка ($b_{\text{жест.ср}}$) и величина стандартного отклонения от среднего значения ширины жестких междукамерных целиков по блокам участка ($\Delta b_{\text{жест.ср}}$), вычисляемые по формулам:

$$b_{\text{жест.ср}} = \sum \frac{b_{\text{жест.}i}}{n}, \quad (8)$$

$$\Delta b_{\text{жест.ср}} = \sum \frac{\left[\frac{b_{\text{жест.ср}} - b_{\text{жест.}i}}{n} \right]}{n}. \quad (9)$$

На основе анализа геолого-маркшейдерской документации и выполненных расчетов сделаны следующие выводы.

Участок №1 является наиболее доступным и перспективным для выемки оставленных запасов. Он может быть вовлечен в отработку

1) действующие выработки главных направлений, располагающиеся в центральной части шахтного поля, находятся в удовлетворительном и хорошем состоянии (например, участок главного северного транспортного штрека, на котором ранее проводился ремонт кровли, козырьков и берм, рис. 4, *a*);

2) выработки главного северного направления находятся в неудовлетворительном состоянии. Для вскрытия оставленных запасов на 5, 7 и 9-й западных панелях участка №1 потребуются проведение новых подготовительных выработок. На рис. 4, *b* показан участок главного северного конвейерного штрека, который находится в неудовлетворительном состоянии. Несмотря на то, что на штреке ранее производился ремонт, видны многочисленные нарушения – заколы и трещины до 0,1 м по козырькам; отслоение берм до 0,2 м, местами вывалы; трещины на утюгах до 0,1 м; почва завалена породой;

3) подготовительные выработки западных панелей № 1, 2, 3 за счет проведения в них ремонтных работ находятся в удовлетворительном и хорошем состоянии. При вовлечении в отработку оставленных запасов в очистных блоках потребуются приведение панельных выработок в безопасное состояние и проходка новых подготовительных выработок на разрушенных участках. На рис. 4, *c* изображен участок конвейерного штрека 3-й западной панели, который находится в удовлетворительном состоянии. Имеют место только заколы по козырькам, шелушение по бермам, а также частичная заштыбовка почвы;

4) в главном южном транспортном штреке и главном южном конвейерном штреке на отдельных участках производился капитальный ремонт, при этом деформация и разрушение выработок продолжается. Участок главного южного конвейерного штрека, находящийся в неудовлетворительном состоянии, показан на рис. 4, *d*. Несмотря на то что ранее штрек восстанавливался, в настоящее время наблюдаются частичное разрушение утюгов, прогиб кровли около 0,1 м и заштыбовка почвы породой. Остальные выработки главного южного направления находятся в разрушенном состоянии.

В связи с выявленной неблагоприятной ситуацией с выработками южного направления смежно расположенные участки №2 и №3 были оценены как неперспективные к отработке оставленных запасов.

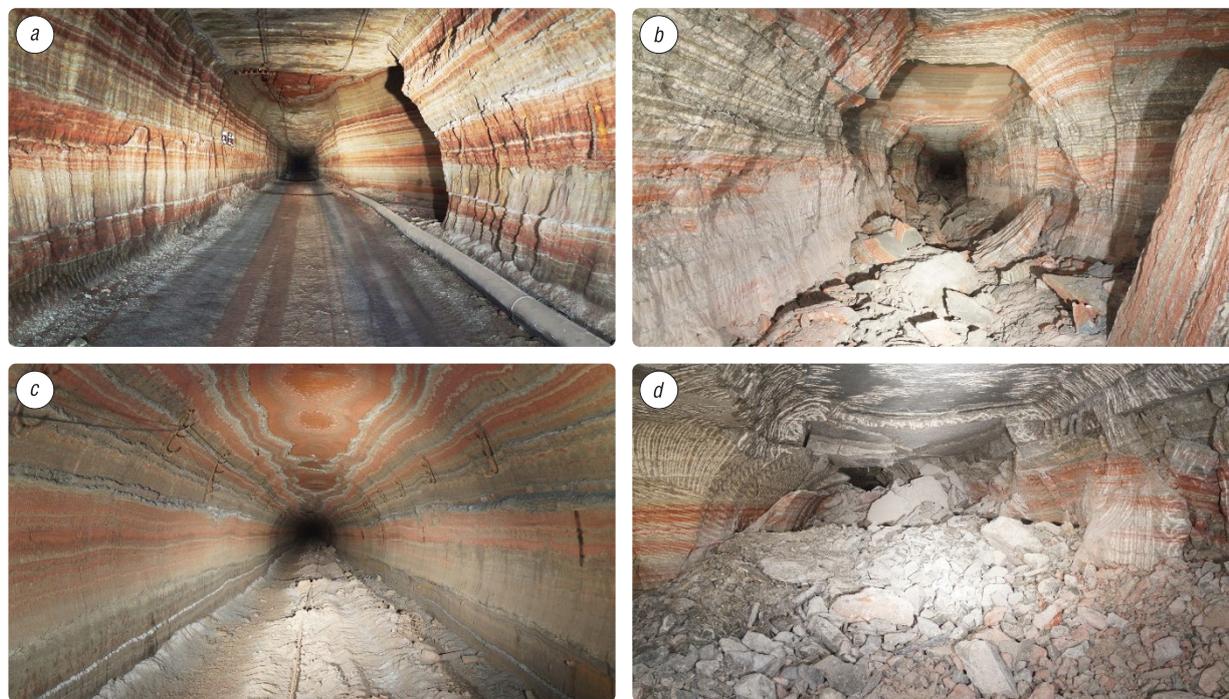


Рис. 4. Состояние горных выработок Второго рудника: *a* – главный северный транспортный штрек, западный ход; *b* – главный северный конвейерный штрек; *c* – конвейерный штрек 3-й западной панели; *d* – главный южный конвейерный штрек

Fig. 4. State of mining of the Second Mine: *a* – the Main Northern transport drift (west); *b* – the Main Northern pipeline drift; *c* – conveyor drift (third Western bar); *d* – the Main South

Результаты визуальных и инструментальных наблюдений особенностей деформирования междуходовых и междукамерных целиков в очистных камерах. Приведенные в предыдущих разделах статьи исследования по оценке объемов и состояния оставленных запасов полезного ископаемого, отработанных камерной системой разработки, ожидаемой степени их нарушенности, характера деформирования жестких и податливых целиков в очистных камерах были выполнены преимущественно на основе анализа геолого-маркшейдерской документации. Для того чтобы убедиться в соответствии полученных теоретических результатов фактическому горнотехническому состоянию исследуемых участков шахтных полей, а также более полно и достоверно оценить возможность выемки запасов на выделенных участках, было выполнено визуально-инструментальное исследование степени деформирования и разрушения междуходовых и междукамерных целиков в очистных камерах участка №1 рудника №2, вскрытых двумя исследовательскими выработками. Исследовательские выработки проводились с главного северного вентиляционного штрека перпендикулярно по отношению к очистным ходам блока 51. План очистных камер блока 51 на 5-й западной панели в месте проведения исследовательских выработок приведен на рис. 5, *a*.

Исследовательской выработкой №2 было выполнено пересечение очистных ходов камеры №5 и вскрытие первого очистного хода камеры №6. На рис. 5, *b* приведен общий вид на забой и состояние исследовательской выработки №2, пересекающей очистные ходы камер. По удовлетворительному состоянию исследовательской выработки №2, вскрывшей очистные камеры блока №51, подтверждена возможность вскрытия оставленных запасов в камерных системах

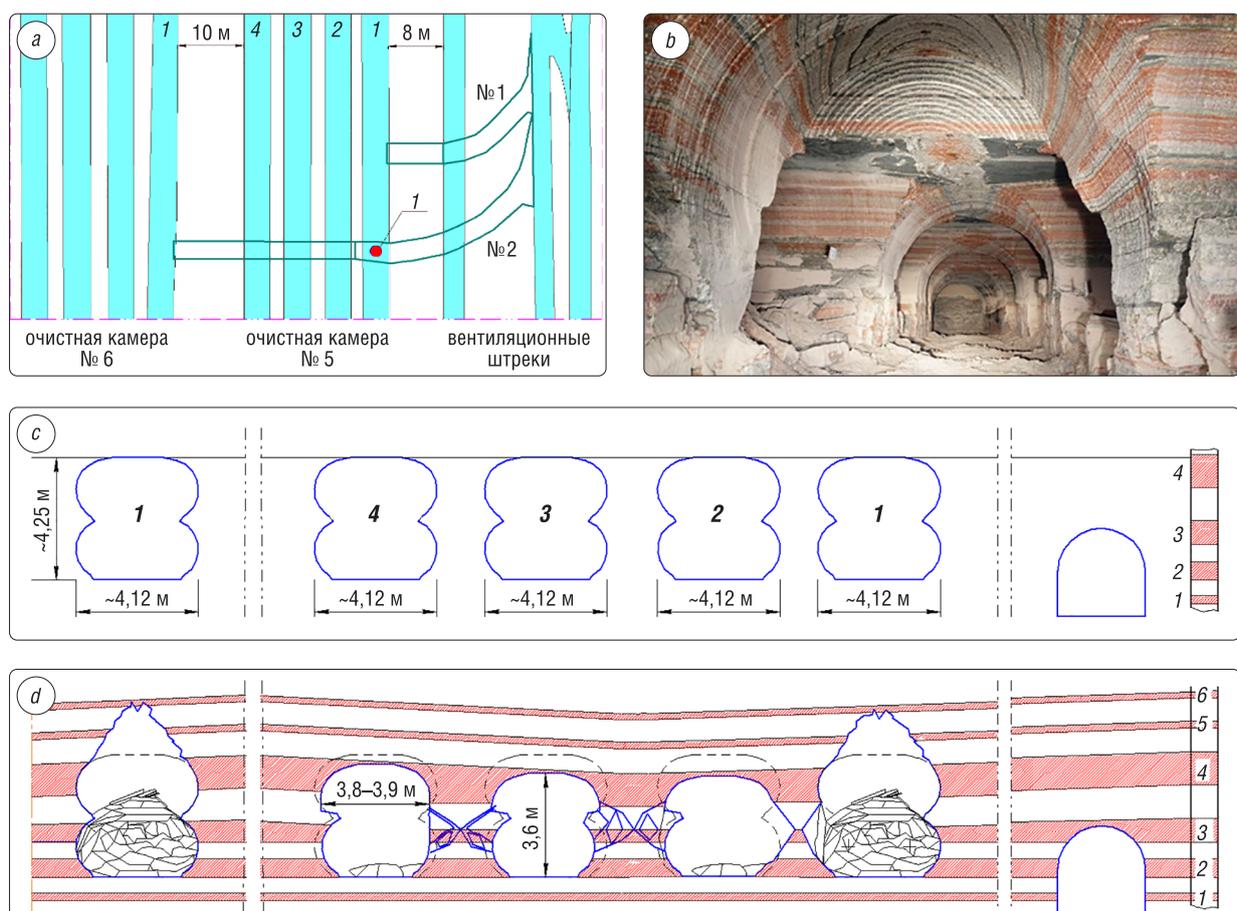


Рис. 5. Исследование характера деформирования целиков и отработанных очистных камер участка №1 Второго рудника: *a* – план исследовательских выработок; *b* – вид на забой исследовательской выработки №2 из точки 1; *c* – состояние очистных ходов и целиков на момент отработки блока в 1970 г.; *d* – состояние очистных ходов и целиков в настоящее время

Fig. 5. Investigation of the nature of the deformation of pillars and waste treatment section chambers no. 1 of the Second Mine: *a* – workings research plan; *b* – face view of the exploratory hole no. 2 from point 1; *c* – the condition of treatment courses and pillar mining at the time of the unit in 1970; *d* – a state clearing passages and pillars at the moment

разработки выработкой с привязкой кровли в 4-м сильвинитовом слое при удовлетворительном состоянии кровли в ходах очистных камер. На рис. 5, с показано изначальное состояние очистных ходов и целиков на момент отработки блока в 1970 г.

Общий характер разрушения податливых целиков и состояние очистных ходов в сечении исследовательской выработки №2 представлены на рис. 5, d. В ходе исследования установлено, что кровля первых очистных ходов камер №5 и 6 обрушена до свода естественного равновесия под 6-й сильвинитовый слой, что, вероятнее всего, связано с очередностью их проходки и влиянием жестких целиков в одном из бортов выработок. Кровля очистных ходов камер №2–4 находится в удовлетворительном состоянии. Высота очистных ходов четырех ходовых камер, пройденных более 45 лет назад, уменьшилась с 4,2 м до 3,6 м, а ширина – с 4,12 м до 3,0–3,8 м с разрушением берм и козырьков в некоторых очистных ходах. Междуходовые целики в очистных ходах разрушены по ширине до 0,3 м и сдавлены по высоте до 0,8 м, следовательно, на эту же величину в этом районе опущены и слои 4, 4–5, 5.

Между очистными ходами наблюдается классический характер деформирования и расслоения податливых целиков по диагональным трещинам при удовлетворительном состоянии в верхней сводчатой их части на пересечении с исследовательской выработкой. Состояние междуходовых целиков можно охарактеризовать как неудовлетворительное, что потребует некоторых корректив в отношении привязки кровли выработок при вскрытии оставленных запасов. По состоянию междуходовых целиков в камерах можно сделать заключение, что размещение подготовительных выработок в таких условиях нерационально, так как в зоне влияния опорного давления очистного забоя безопасное состояние контура выработки не обеспечивается. Следовательно, подготовительные выработки очистных столбов, отрабатывающих оставленные запасы в междуходовых и междуканальных целиках, должны размещаться в междупанельных или междублоковых целиках. Из состояния вскрытых очистных ходов камер следует, что выемку оставленных запасов в междуканальных и междуходовых целиках требуется проводить на полную мощность (на высоту очистных ходов) для обеспечения нормальной работы механизированной крепи и безопасности выполнения работ.

Возможные способы выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта по подработанному камерной системой 4-му сильвинитовому слою и слоям 2, 2–3, 3 в междуканальных целиках.

По результатам исследования было предложено несколько способов выемки оставленных запасов, разработанных с учетом требований нормативных документов, действующих в ОАО «Беларуськалий» («Инструкция по охране и креплению горных выработок на Старобинском месторождении», «Инструкция по применению систем разработки на Старобинском месторождении», обе приняты в 2018 г.). Наиболее простым и возможным вариантом выемки оставленных в жестких целиках запасов по сильвинитовым слоям 2 и 3 при хорошем и удовлетворительном состоянии подготовительных и очистных выработок (например, участок 3 Первого рудника) является применение камерной системы разработки с повторным использованием конвейерного и транспортного штреков в качестве стартовых, с которых в отступающем порядке производится проходка очистных ходов перпендикулярно ранее отработанным камерам (рис. 6). При этом жесткие и податливые ленточные целики камер превратятся в столбчатые.

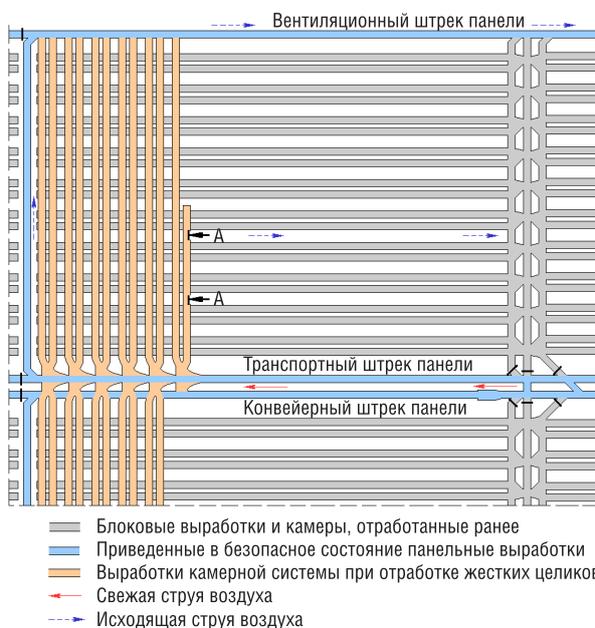


Рис. 6. Вариант отработки оставленных в жестких целиках запасов по слоям 2, 2–3, 3 камерной системой (без выемки 4-го сильвинитового слоя)

Fig. 6. Option of mineral reserves mining, left in the rigid pillars, by layers 2, 2–3, 3, using application of chamber mining system (without extraction of the 4th silvinitic layer)

Необходимо отметить, что скорость деформации «кровля–почва» очистных ходов при столбчатых целиках может быть повышенной, поэтому добычной комбайн должен иметь возможность отгона по выработке с учетом уменьшения первоначально проводимой высоты на 10–15 см, либо при проходке необходимо будет выполнять поддир почвы на 15–20 см в первой половине очистных ходов. Такая технологическая схема не потребует большого объема подготовительных работ по приведению в безопасное состояние панельных выработок и позволит извлечь до 45–50 % оставленных запасов по сильвинитовым слоям 2 и 3.

При достаточной длине панели (более 1,2–1,5 км) и однонаправленном положении очистных камер в блоках возможна более полная выемка оставленных запасов с использованием столбовой системы разработки. В этом случае должны проводиться новые панельные выработки в ближайших к штрекам жестких целиках, монтироваться лавы высотой 2,3–3,0 м (на высоту очистных камер) и осуществляться выемка целиков

вдоль отработанных ранее очистных камер обратным порядком (рис. 7). Коэффициент извлечения оставленных запасов при выемке лавы может составлять до 75–85 %.

Способ отработки лавы оставленных запасов по 4-му сильвинитовому слою, подработанных камерной системой с податливыми целиками на участках 1 и 2 Первого рудника, представлен на рис. 8. Наилучшим для выемки подработанного 4-го сильвинитового слоя является вариант с полным разрушением податливых целиков и полностью задавленным состоянием очистных ходов. Технология подготовки и отработки запасов в этом случае аналогична однослойным лавам.

Если производить выемку оставленных запасов валовым способом согласно рис. 8, то качество руды из забоя будет варьироваться в пределах 18–22 %. Для повышения качества руды можно применить селективную выемку со складированием каменной соли из слоя 3–4 в отработанное пространство и двухэтапный очистной цикл. На первом этапе режущими органами комбайна диаметром 1,2–1,3 м

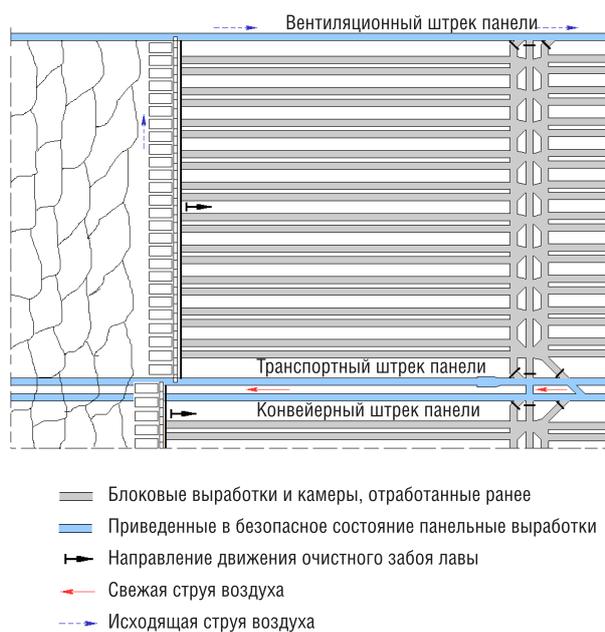


Рис. 7. Вариант отработки оставленных в жестких целиках запасов по слоям 2, 2–3, 3 столбовой системой (без выемки 4-го сильвинитового слоя)

Fig. 7. Option of mining of mineral reserves, left in the rigid pillars, by layers 2, 2–3, 3, using a system of extraction long clearing faces (without extraction of the 4th silvinitic layer)

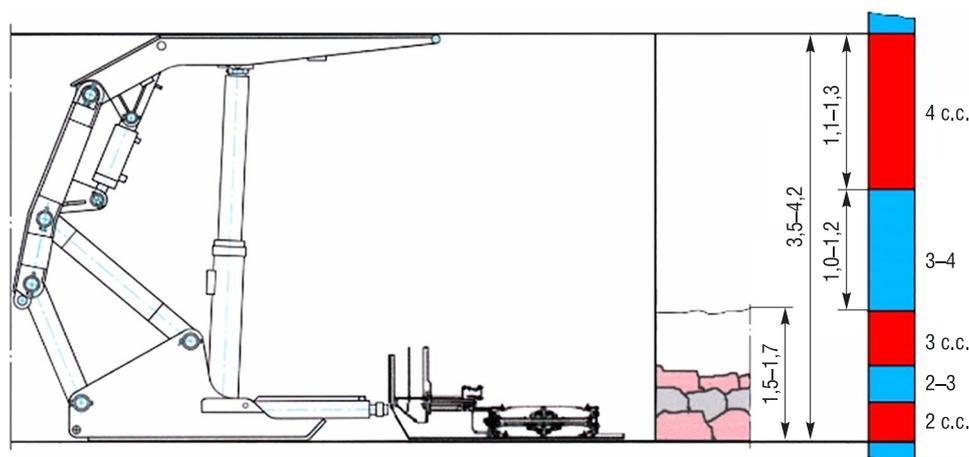


Рис. 8. Вариант отработки оставленных запасов валовым способом
 Fig. 8. Option of working off the remaining reserves in the gross way

должна производиться отбойка слоя каменной соли 3–4 и складирование его метателями в отработанное пространство. На втором этапе верхним режущим органом комбайна осуществляется выемка 4-го сильвинитового слоя, нижним режущим – по сильвинитовым слоям 2 и 3 с последующей задвижкой забойного конвейера. В этом случае содержание хлористого калия в руде можно повысить до 26–30 %.

Предлагаемый вариант вовлечения в отработку оставленного 4-го сильвинитового слоя может использоваться и при жестких целиках, а также в случае выемки лавой оставленных в жестких целиках запасов по сильвинитовым слоям 2, 3 и 4 с высотой очистных камер, захватывающих все балансовые слои Третьего промышленного пласта. При разрушенных податливых целиках и полностью задавленном состоянии очистных ходов в камерах отработку оставленного 4-го сильвинитового слоя можно выполнить по стандартной технологии для однослойных лав, применяемой на рудниках ОАО «Беларуськалий».

Таким образом, установлена возможность выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта, отработанных более 40 лет назад камерной системой, на отдельных участках шахтных полей Первого и Второго рудников общим объемом более 57 млн т. Разработаны принципиальные технологические схемы отработки указанных запасов. При этом выявлено, что до начала выемки этих запасов потребуются выполнение большого объема работ по проведению и ремонту подготовительных выработок, а для выполнения очистных работ с использованием столбовой системы разработки потребуются использование комбайнов, предназначенных для выемки пластов большой мощности.

Заключение. Разработана методика обоснования технологической возможности и целесообразности выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта, отработанных более 40 лет назад камерной системой на рудниках ОАО «Беларуськалий», с поддержанием в безопасном состоянии подземных горнотехнических сооружений и выработок. Методика включает выявление путем изучения геолого-маркшейдерской документации участков с оставленными запасами в пределах шахтных полей; расчет объемов и качественных показателей оставленных запасов на этих участках; оценку возможности повторного использования выработок, имеющих непосредственный доступ к рассматриваемым запасам, а также проведения и поддержания в безопасном состоянии новых подготовительных выработок; определение состояния оставленных запасов полезного ископаемого, степень их нарушенности, особенностей геомеханических процессов в породном массиве и наличия опасных нарушений в зоне выработанного пространства, характера деформирования жестких и податливых целиков в очистных камерах с применением методов инструментально-визуального обследования, в том числе с использованием вскрывающих исследовательских выработок; разработку технологических схем отработки оставленных запасов, которая должна осуществляться с учетом технических характеристик очистных и проходческо-очистных комплексов.

Согласно разработанной методике выполнена оценка возможности и целесообразности выемки оставленных запасов Третьего калийного горизонта по подработанным более 40 лет назад камерной системой 4-му сильвинитовому слою и слоям 2, 2–3, 3 в междукамерных целиках на участках Первого и Второго рудников. Получены данные по особенностям формирования напряженно-деформированного состояния и разрушения горных пород на исследуемых участках шахтного поля, устойчивости выработанного пространства, характеру деформирования и разрушения целиков и горных выработок, эффективности принятых ранее мер защиты подземных сооружений. В результате исследования установлена целесообразность (с точки зрения имеющихся запасов) выемки оставленных запасов на участках, отработанных ранее камерной системой, с общим объемом более 57 млн т. При этом непосредственный доступ к очистным блокам на рудниках имеют только два участка – №3 на Первом руднике и №1 на Втором руднике, при условии выполнения определенного объема ремонтно-восстановительных работ. Доступ к оставленным запасам на остальных участках рудников потребует проведения новых капитальных и подготовительных выработок. Установлена также технологическая возможность на исследованных участках выемки оставленных запасов лавами или камерной системой. По результатам исследования разработаны ресурсосберегающие способы повторной отработки оставленных запасов, обеспечивающие высокую степень извлечения полезного ископаемого, безопасность ведения горных работ и поддержание горных выработок в безопасном состоянии в течение всего периода отработки.

Список использованных источников

1. Шаманин, А. В. Краткий обзор и классификация технологических схем отработки калийных пластов Старобинского месторождения / А. В. Шаманин // Горная механика и машиностроение. – 2008. – № 3. – С. 93–100.
2. Перспективные технологические схемы подготовки и отработки третьего калийного пласта на шахтном поле Краснослободского рудника / И. И. Головатый [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 24–35.
3. 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. – С. 15–18.
4. Сиренко, Ю. Г. Выбор рациональных параметров технологических схем отработки третьего калийного пласта на полную мощность по геомеханическому фактору / Ю. Г. Сиренко // Наука, техника и образование. – 2015. – № 4. – С. 23–26.
5. К вопросу о доизвлечении запасов сильвинитовых руд в условиях Старобинского месторождения / Ю. Г. Сиренко [и др.] // Горная механика. – 2004. – № 1–2. – С. 28–30.
6. Ковальский, Е. Р. Извлечение полезного ископаемого из целиков / Е. Р. Ковальский // Сборник научных трудов Sworld. – 2012. – Т. 8, № 4. – С. 44–49.
7. Мозер, С. П. Методические подходы к расчету целиков при разработке мощных соляных месторождений / С. П. Мозер, Е. Р. Ковальский // Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: тр. 10-й Междунар. науч.-практ. конф. – Воркута, 2012. – Т. 1. – С. 86–90.
8. Экспериментальные и теоретические исследования длительной устойчивости несущих элементов камерной системы разработки калийных пластов / В. А. Асанов [и др.] // Вестн. Перм. науч. центра Урал. отд-ния Рос. акад. наук. – 2017. – № 1. – С. 8–14.
9. Валишевский, К. А. Анализ состояния междукammerных целиков при отработке сильвинитовых пластов Верхнекамского калийного месторождения / К. А. Валишевский, Е. М. Балакирев // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сессии Горн. ин-та УрО РАН по результатам НИР в 2004 г. – Пермь, 2005. – С. 225–227.

References

1. Shamanin A. V. Brief overview and classification of technological schemes of potash layers mining of Starobin Deposit. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie = Mining Mechanical Engineering and Machine-Building*, 2008, no. 3, pp. 93–100 (in Russian).
2. Golovaty I. I., Petrovskii A. B., Petrovskii Yu. B., Prushak V. Ja., Petrovskii B. I., Polyakov A. L., Garnishevskii A. A. Long-term manufacturing schemes of the development and mining the Third potash seam in the mine field of the Krasnoslobodsky mine. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie = Mining Mechanical Engineering and Machine-Building*, 2014, no. 3, pp. 24–35 (in Russian)
3. Zubov V. P., Smychnik A. D., Kirienko V. M. Improving the development system of the third potash seam at the mines of JSC “Belaruskali”. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*, 2006, vol. 168, pp. 15–18 (in Russian).
4. Sirenko Yu. G. Selection of rational parameters of technological schemes of the third potash reservoir at full capacity by geo-mechanical factor. *Nauka, tekhnika, obrazovanie = Science, Technology and Education*, 2015, no. 4, pp. 23–26 (in Russian).
5. Sirenko Yu. G., Koval’skii E. R., Blokhin S. L., Shabun V. I. Concerning extraction of potash ore in conditions of deposit Starobinskoe. *Gornaya mekhanika [Mining Mechanics]*, 2004, no. 1–2, pp. 28–30 (in Russian).
6. Koval’skij E. R. Pillars extraction. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld [Collection of Scientific Papers Sworld]*, 2012, vol. 8, no. 4, pp. 44–49 (in Russian).
7. Mozer S. P., Koval’skij E. R. Methodical approaches to calculation of pillars dimensions for conditions of thick salt deposits. *Osvoenie mineral’nykh resursov Severa: problemy i resheniya: trudy 10-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. T. 1 [Development of mineral resources of the North: problems and solutions: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference. Vol. 1]. Vorkuta, 2012, pp. 86–90 (in Russian).*
8. Asanov V. A., Pankov I. L., Evseev A. V., Lobanov C. Yu., Lomakin I. S. Experimental and theoretical research of long term stability of load-carrying elements of the room-and-pillar system of potash beds. *Vestnik Permskogo nauchnogo centra Ural’skogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk [Bulletin of the Perm Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 2017, no. 1, pp. 8–14 (in Russian).
9. Valishevskii K. A., Balakirev E. M. Analysis of the state of interchamber pillars during mining of sylvinite layers of the Verkhnekamsk potash deposit. *Strategiya i protsessy osvoeniya georesursov: materialy ezhegodnoi nauchnoi sessii Gornogo instituta UrO RAN po rezul’tatam NIR v 2004 g. [Strategy and processes of development of geo-resources: materials of the annual scientific session of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences based on the results of research in 2004]. Perm, 2005, pp. 225–227 (in Russian).*

Информация об авторах

Головатый Иван Иванович – генеральный директор, ОАО «Беларуськалий» (ул. Коржа, 5, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: belaruskali.office@kali.by

Петровский Андрей Борисович – заместитель главного инженера по горным работам, ОАО «Беларуськалий» (ул. Коржа, 5, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: belaruskali.office@kali.by

Прушак Виктор Яковлевич – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, директор, Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством (ул. Козлова, 69, 223710, Солигорск, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: ipr@sipr.by

Information about the authors

Ivan I. Golovaty – General Director, JSC “Belaruskali” (5, Korzh Str., 223710, Soligorsk, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: belaruskali.office@kali.by

Andrey B. Petrovskij – Deputy Chief Engineer for Mining, JSC “Belaruskali” (5, Korzh Str., 223710, Soligorsk, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: belaruskali.office@kali.by

Viktor Y. Prushak – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Engineering), Professor, Director, Soligorsk Institute of Resource Saving Problems with Pilot Production (69, Kozlov Str., 223710, Soligorsk, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: ipr@sipr.by