

О.В.КОВАЛЕВ, *д-р техн. наук, профессор, spggi4@mail.ru*

Е.Р.КОВАЛЬСКИЙ, *канд. техн. наук, ассистент, e.r.kovalsky@gmail.com*

Ю.Г.СИРЕНКО, *канд. техн. наук, доцент, mozer1@yandex.ru*

И.Ю.ТХОРИКОВ, *канд. техн. наук, научный сотрудник, spggi4@mail.ru*

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

O.V.KOVALEV, *Dr. in eng. sc., professor, spggi4@mail.ru*

E.R.KOVALSKY, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, e.r.kovalsky@gmail.com*

Y.G.SIRENKO, *PhD in eng. sc. associate professor, mozer1@yandex.ru*

I.Y.THORIKOV, *PhD in eng. sc., research assistant, spggi4@mail.ru*

Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКИ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ СЛОЖНОГО СТРОЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Изложены подходы к выбору технологических схем отработки калийных пластов сложного строения с использованием селективной выемки. Рассмотрены условия залегания IV калийного горизонта и прогрессивные технологические схемы отработки запасов калийной руды на предприятиях РУП ПО «Беларуськалий». Отражены основные аспекты геомеханического обоснования параметров технологических схем отработки нового горизонта при наличии взаимовлияния вышезалегающих горизонтов. На базе анализа результатов моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород разработаны технологические схемы подготовки и отработки IV калийного горизонта в условиях 3-го рудоуправления РУП ПО «Беларуськалий».

Ключевые слова: калийная соль, методика, технологическая схема, перспективные технологии, моделирование, напряженно-деформированное состояние массива горных пород.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF THE SELECTIVE EXTRACTION OF THE COMPLEX POTASH SEAMS UNDER CONDITIONS OF THE STAROBIN DEPOSIT

Approaches to selection of technological mining schemes based on selective potash seam extraction are described. Progressive technological mining schemes for potash mining company «Belaruskaliy» and the geological conditions of the IV potash horizon are reviewed. Basic aspects of the geomechanical substantiation of parameters of technological mining schemes for conditions of the new potash horizon in the presence of influence of the overlying horizons are also presented. Guidelines for substantiation of progressive mining methods for the conditions of the IV potash horizon (Third Mine, «Belaruskaliy») are developed on the basis of the modeling of the stress-and-strain state of the rocks.

Key words: potash salt, method, technological scheme, progressive technologies, modeling, stress-and-strain state of the rocks.

История отработки сильвинитовых пластов на территории СНГ насчитывает немногим более полувека, однако в настоящее время возникают вопросы исчерпания руд-

ной базы в пределах горных отводов предприятий Верхнекамского и Старобинского месторождений калийных солей. В настоящее время на Верхнекамском месторожде-

нии разрабатываются мощные пласты простого строения, в то время как на Старобинском месторождении обрабатываются пласты сложного строения. Среднее содержание KCl в пластах уменьшается с увеличением глубины работ и переходом к разработке нижезалегающих горизонтов. Так, например, на Втором калийном горизонте обрабатывается пласт сложного строения мощностью ~ 2,2 м, состоящий из двух слоев сильвинита, разделенных прослоем каменной соли. На Третьем калийном горизонте обработка ведется двумя слоевыми лавами верхней лавой обрабатывается слой сильвинита мощностью ~ 1,45 м, нижней лавой обрабатывается пласт, состоящий из двух слоев сильвинита мощностью ~ 0,9 и ~ 0,7 м, разделенных прослоем каменной соли мощностью ~ 0,5 м. Четвертый калийный горизонт включает семь слоев сильвинита мощностью от 0,2 до 0,75 м, разделенных прослоями каменной соли мощностью от 0,6 до 3,6 м*. При этом слои сильвинита и каменной соли являются выдержанными по мощности на значительной площади месторождения.

Среднее содержание сильвинита в пределах мощности IV калийного пласта (~ 12 м) составляет ~ 10 % при слоевом содержании сильвинита от 20 до 50 %, поэтому при обработке требуется группирование сильвинитовых слоев в вынимаемые пласты, включающие пропластки пустой породы (каменной соли). Поскольку доля сильвинита в таких пластах составляет менее ~ 20 %, то соответственно в условиях IV горизонта необходимо проектировать системы разработки, позволяющие селективно извлекать сильвинит и каменную соль, с обязательной закладкой пустой породы в выработанное пространство.

В настоящее время во всех очистных забоях на Втором и Третьем калийных горизонтах ведется валовая выемка руды, что значительно снижает содержание полезного

компонента KCl в рудной массе и требует значительных средств на обогащение руды на обогатительных фабриках рудоуправлений. Переход на селективную выемку полезного ископаемого (сильвинита) и пустой породы (каменной соли) сдерживается практическим отсутствием отечественной горной техники, позволяющей в длинных очистных забоях вести раздельную отбойку слоев.

Широкомасштабные работы по созданию очистных комбайнов, позволяющих селективно отбивать слои небольшой мощности (от 0,1 до 1,0 м), ведутся на предприятиях «Айкхофф Бергбаутехник ГмБХ» (Германия). Очистные комбайны для селективной отбойки созданы на базе очистных машин серии SL. Отличительной особенностью таких машин является возможность работать на разных по мощности забоях. Эта возможность реализуется путем установки дополнительного шнека небольшого диаметра, который обрабатывает слой пласта с опережением на один цикл, либо путем установки шнеков, которые могут регулироваться не только по мощности пласта, но и в глубину забоя. Таким образом, обработка забоя (выемка пласта или пустой породы) ведется на двух уступах, ширина каждого из которых равняется ширине захвата выемочной машины.

Основным недостатком длинных очистных забоев, оборудованных такими машинами, является необходимость выемки одной полосы в два (а иногда и в три) прохода комбайна, что, соответственно, значительно снижает нагрузку на лаву. В таких условиях наиболее приемлемым является увеличение нагрузки на выемочный участок за счет оборудования очистных забоев двумя (а в определенных условиях тремя и более) выемочными машинами, которые одновременно будут отбивать пустую породу или полезное ископаемое. При этом технологические схемы должны обеспечить возможность закладки пустой породы в выработанное пространство и транспортировки полезного ископаемого на поверхность.

Существуют две принципиальные модификации комбайнов для выемки пластов

* Геология и петрография калийных солей Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1969. 203 с.

Geology and petrography of potash salts in Belorussia. Minsk: Nauka i technika, 1969. 203 p.

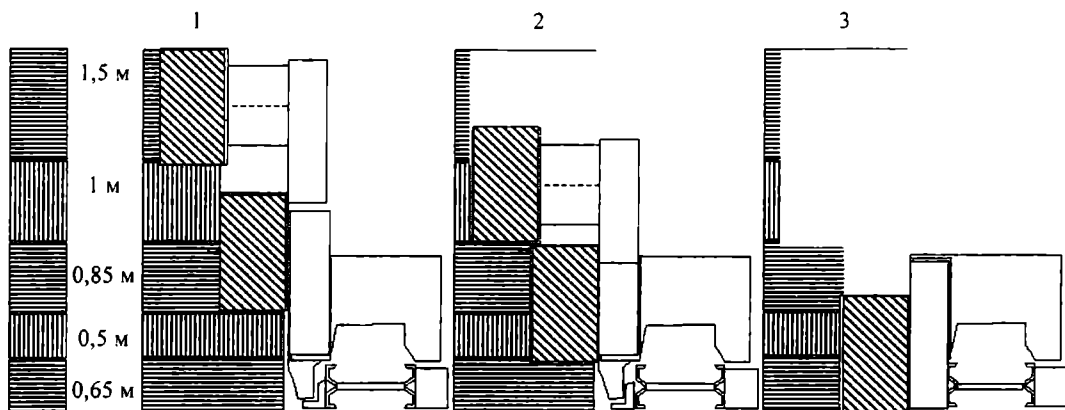


Рис.1. Операции технологического цикла, выполняемые комбайном SL-500 с выдвижными шнеками при выемке пласта, состоящего из пяти слоев

1, 2, 3 – последовательность операций; ▨ – сильвинитовые слои; ▨ – пустая порода (галит); ▨ – шнеки комбайна

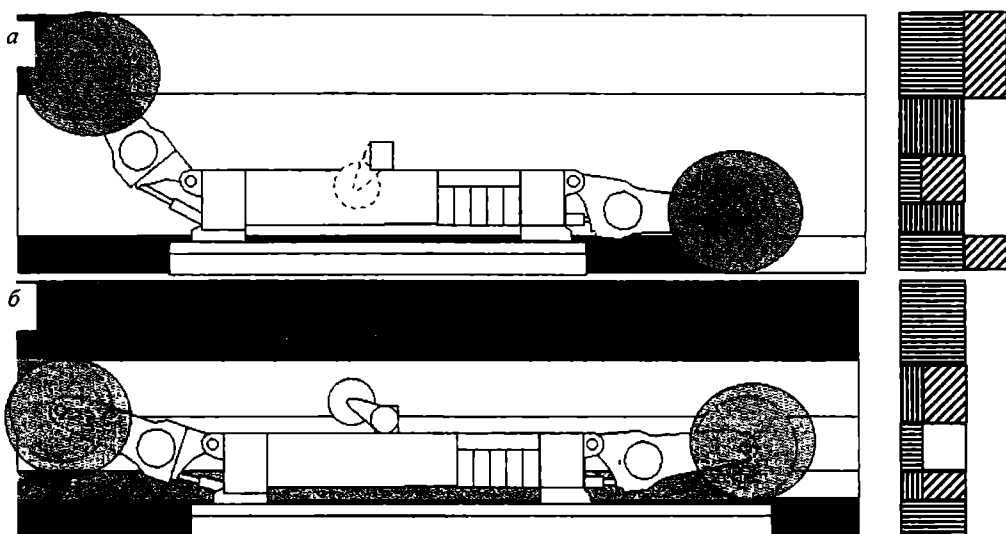


Рис.2. Операции технологического цикла, выполняемые комбайнами SL-500 с рудным модулем при выемке пласта, состоящего из пяти слоев

а – выемка слоев сильвинита; б – выемка слоев галита; ▨ – сильвинитовые слои; ▨ – пустая порода (галит); ▨ – шнеки комбайна

сложного строения – это комбайны с дополнительным «рудным» модулем, который задействуется при выемке определенных слоев, и комбайны с выдвижными шнеками. На рис.1, 2 показаны операции технологических циклов, выполняемые при выемке пластов, состоящих из пяти слоев. На рис.3, 4 показаны операции технологических циклов, выполняемые при выемке пластов, состоящих из семи слоев.

Как видно из рисунков, селективная выемка пласта сложного строения осуществляется двумя и более проходами комбайна

по очистному забою. Применение дополнительного выемочного органа («рудный» модуль) на пласте, состоящем из пяти слоев, позволяет осуществлять выемку пласта двумя проходами вдоль лавы (см. рис.2) вместо трех проходов для комбайнов с выдвижными шнеками (см. рис.1). При увеличении количества селективно извлекаемых слоев до семи для выемки пласта необходимо четыре прохода комбайна вдоль лавы. Нагрузка на очистной забой в таких лавях будет в 2-4 раза ниже, чем при валовой выемке пластов. Нагрузку на лаву можно уве-

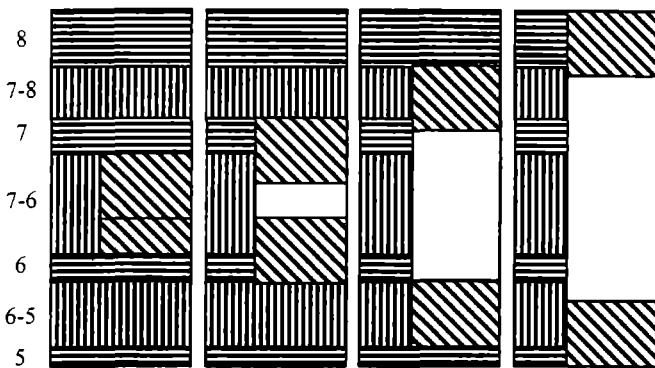


Рис.3. Операции технологического цикла, выполняемые одним комбайном при выемке пласта, состоящего из семи слоев
5-8 – номера слоев сивлинита и галита; – сивлинитовые слои; – пустая порода (галит); – шнеки комбайна

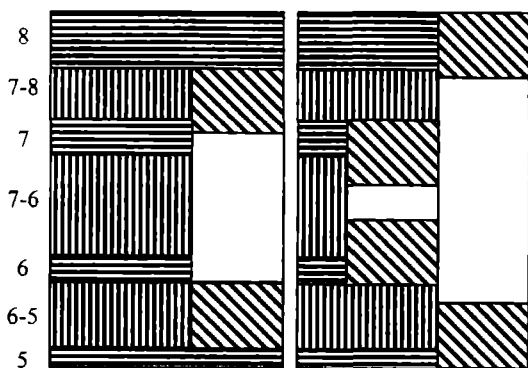


Рис.4. Операции технологического цикла, выполняемые двумя комбайнами при выемке семи слоев пласта сложного строения
5-8 – номера слоев сивлинита и галита; – сивлинитовые слои; – пустая порода (галит); – шнеки комбайна

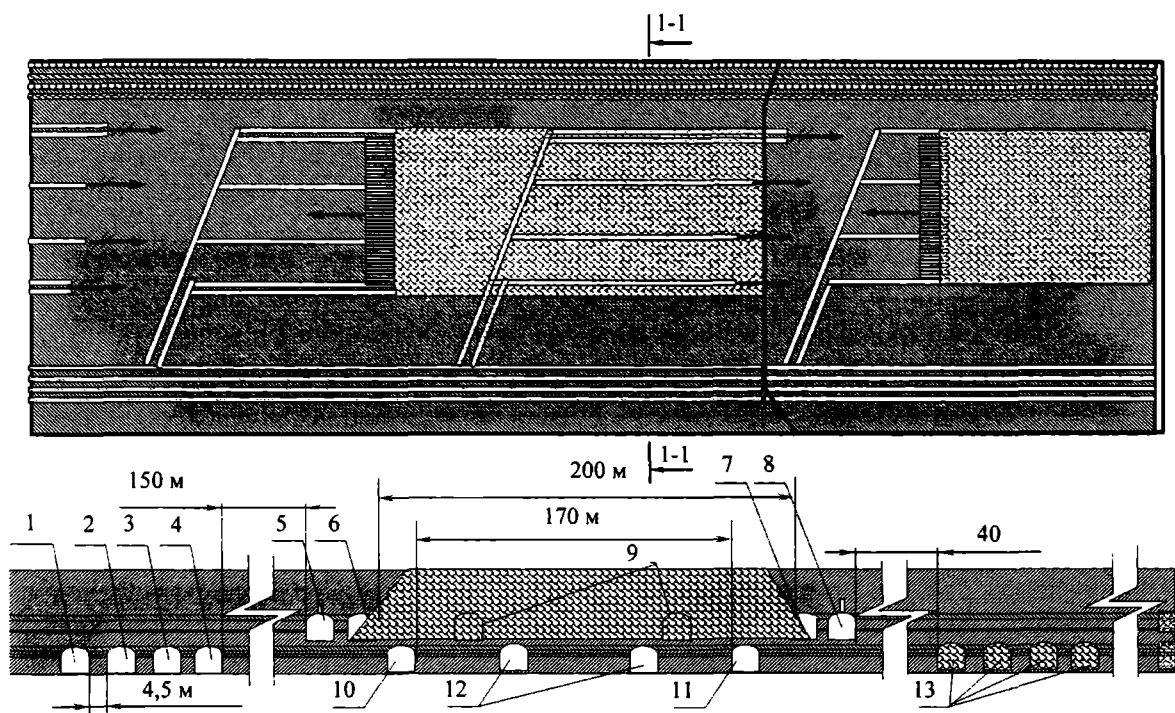


Рис.5. Вариант системы разработки IV калийного горизонта

1 – панельный конвейерный штрек; 2, 3 – панельные транспортные штреки; 4 – панельный вентиляционный штрек; 5 – разгрузочная выработка; 6 – транспортный штрек верхней лавы; 7 – вентиляционный штрек верхней лавы; 8 – разгрузочная выработка; 9 – закладочные выработки верхней лавы; 10 – транспортный штрек нижней лавы; 11 – вентиляционная выработка нижней лавы; 12 – закладочные выработки нижней лавы; 13 – панельные выработки предыдущей панели

личить за счет использования двух (или даже трех) выемочных комбайнов в очистном забое. Комбайны могут работать навстречу друг другу или в разных направлениях от центра лавы.

При этом комбайны должны работать одновременно по всем слоям пустой породы

или полезного ископаемого: например, первый комбайн работает двумя шнеками по слою 7-6, второй – разными шнеками по слоям 7-8 и 6-5. При выемке сивлинитовых слоев работает первый комбайн разными шнеками по слоям 7 и 6, а второй комбайн – разными шнеками по слоям 5 и 8. После вы-

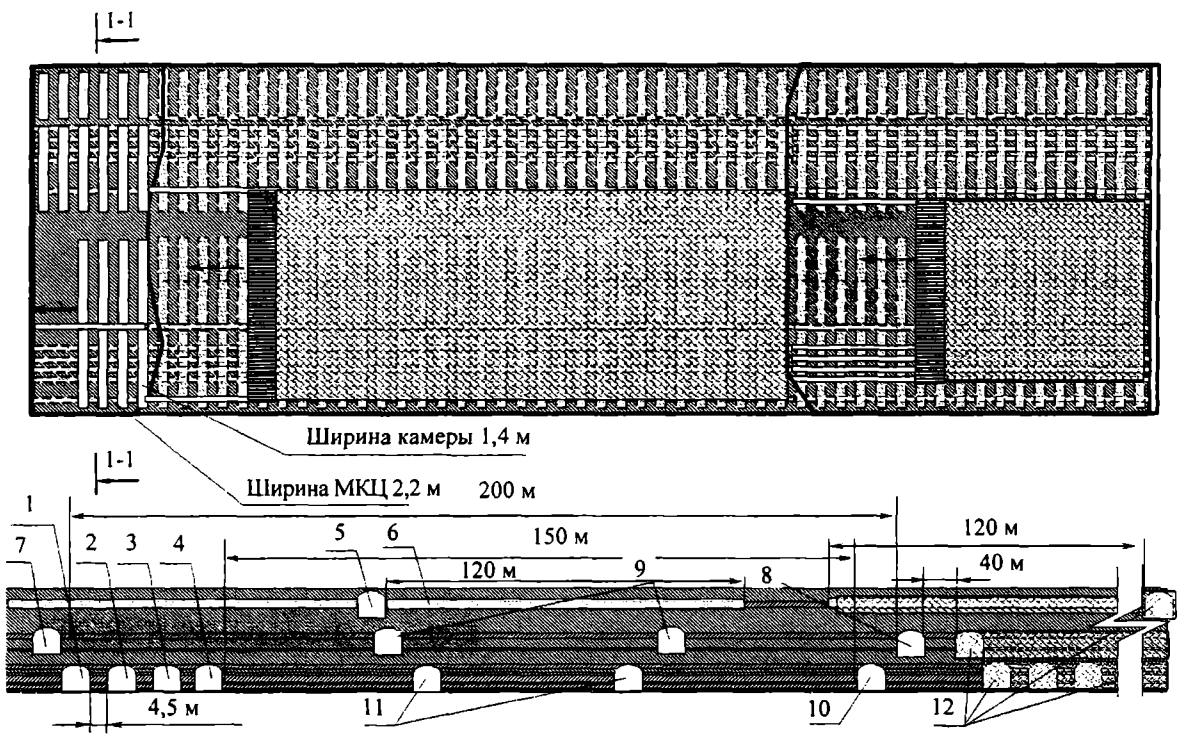


Рис.6. Вариант системы разработки IV калийного горизонта

1 – панельный конвейерный штрек; 2, 3 – панельные транспортные штреки; 4 – панельный вентиляционный штрек; 5 – буровая выработка (блоковый штрек) 12-го слоя; 6 – очистные камеры (бурошnekовые скважины); 7 – конвейерный штрек верхней лавы; 8 – вентиляционный штрек верхней лавы; 9 – закладочные выработки верхней лавы; 10 – вентиляционный штрек нижней лавы; 11 – закладочные выработки нижней лавы; 12 – панельные выработки предыдущей панели

емки слоев в одном направлении до центра лавы комбайн ведет выемку другой пары слоев в обратном направлении. Передвижка крепи и конвейера осуществляется после отбойки всех слоев сильвинита и пустой породы.

Закладка выработанного пространства осуществляется закладочными машинами барабанного типа из закладочных штреков, расположенных на расстоянии 60 м друг от друга и от участков выработок. Закладка выработанного пространства ведется на полную мощность, а ширина закладочных массивов (полос) определяется, исходя из соотношения в вынимаемом пласте мощностей сильвинита и каменной соли, с учетом коэффициента разрыхления каменной соли.

На рис.5 представлен вариант технологической схемы отработки сильвинитовых слоев IV калийного горизонта тремя длинными очистными забоями с небольшим оставанием работ в слоях. При этом верхняя лавя обрабатывает слой сильвинита 12 мощностью 0,7 м. Вторым обрабатывается пласт

вынимаемой мощностью ~ 2,2 м, состоящий из сильвинитовых слоев 10, 9 и галита 9-10. Третьим обрабатывается пласт, включающий сильвинитовые слои с 5-го по 8-й мощностью ~ 3,4 м.

На рис.6 приведен вариант технологической схемы отработки IV калийного горизонта тремя слоями – верхний из которых (сильвинитовый слой 12) обрабатывается камерной системой разработки, второй (10 и 9) и третий (с 8-го по 5-й) слои обрабатываются длинными очистными забоями.

Для обоснованного выбора технологических схем отработки пластов были разработаны горно-геомеханические модели и схемы* Обобщение результатов численного

* Мозер С.П. Горная геомеханика: физические основы и закономерности проявлений геомеханических процессов при подземной разработке месторождений / С.П.Мозер, Е.Б.Куртуков. СПб: Недра, 2009. 136 с.

Mozer S.P., Kurtukov E.B. Rock mechanics: basic physics and mechanism of occurrence of geomechanical processes in underground mining. Saint Petersburg: Nedra, 2009. 136 p.

моделирования нестационарных полей параметров напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего отрабатываемые горизонты, позволило получить зависимости для расчета элементов камерной системы разработки, которые позволяют при отработке нижних лав перенести максимум опорного давления вне массива, вмещающего подготовительные выработки нижних лав, за счет перехода междукамерных целиков в запредельное состояние.

Вертикальные напряжения по сильвинитовому слою 12 рассчитываются по зависимости

$$\sigma_y = 9,8\gamma H k_{\text{одл}} k_{3\text{кг}},$$

где H – глубина горных работ, м; γ – средневзвешенная плотность вышележащих пород, кг/м^3 ; $k_{\text{одл}}$ – коэффициент опорного давления лавы по слоям 9-10; $k_{3\text{кг}}$ – коэффициент концентрации от горных работ на вышележащем III горизонте, $k_{3\text{кг}} = 1 + 0,1t_1^{-0,77}$; t_1 – время, прошедшее с момента отработки лавы на III горизонте, мес.

Использование данной зависимости позволяет рассчитать необходимые параметры камерной системы разработки, обеспечивающие переход целиков в запредельное состояние, определяемое неравенством

$$\sigma_y k_k \geq [\sigma_{\text{сж}}] k_\phi,$$

где k_k – коэффициент концентрации от нижерасположенных длинных очистных забоев, $k_k = 2-3$; k_ϕ – коэффициент формы междукамерных ленточных целиков.

Для расчета вертикальных напряжений в зоне расположения панельных выработок получена зависимость

$$\sigma_y = 9,8\gamma H k_{3\text{кг}} k_{\text{одл}} k_{\text{защ}},$$

где $k_{\text{защ}}$ – коэффициент защитного действия камерной системы разработки по сильвинитовому слою 12,

$$k_{\text{защ}} = e^{(0,00055L + 0,04)t_2} + 1,01^{t_2} - 2,05;$$

L – текущая координата (расстояние от краевой части массива), м; t_2 – время, прошедшее с момента начала разрушения камер, мес.

Разработанные технологические схемы позволяют обеспечить эксплуатационное состояние подготовительных выработок при сокращении размеров межпанельных и внутрипанельных целиков до 10-20 м. Разработанная технология позволит вовлечь в разработку опытно-промышленные участки IV калийного горизонта и, в перспективе, увеличить срок службы калийных рудников.