

УДК 622.831.24.

О.В. Ковалёв, С.П. Мозер, И.Ю. Тхориков

**ГОРНО-ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ЭФФЕКТИВНОЙ ОТРАБОТКИ ВЗАИМОВЛИЯЮЩИХ
ГОРИЗОНТОВ НА КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

Рассмотрены специфические особенности строения Старобинского калийного месторождения в Белоруссии. Анализ различных вариантов группирования и очистной выемки слоев при отработке пластов сложного строения, позволил предложить наиболее рациональную технологию выемки запасов IV калийного горизонта, что позволит продлить срок службы рудников.

Ключевые слова: калийные месторождения, методика расчета, рациональная технология, пласт сложного строения, система разработки, продление срока службы рудника.

Специфика залегания пластов карналлита заключается в том, что все тела промышленной мощности практически всегда залегают в непосредственной близости друг от друга, что предопределяет их взаимовлияние. Эффективная отработка взаимовлияющих калийных пластов с учетом сохранения сплошности водозащитной толщи является задачей, требующей выработки единой методологического и методического подхода, так как в противном случае вероятность принятий некорректных решений резко возрастает. Ряд существующих методик не позволяют в полной мере учитывать ряд главенствующих факторов, что в свете высоких инвестиционных затрат как на проектирование, так и на строительство данных горнодобывающих предприятий выводит ряд проектов такого типа в область рискованных. Наиболее интересными и показательными с точки зрения имеющегося опыта отработки Старобинского калийного месторождения.

В настоящее время на Старобинском месторождении разработку ка-

лийных руд ведут четыре рудоуправления производственного объединения «Беларуськалий». Пятый рудник (Краснослободской) мощностью 6 млн т. руды в год находится в стадии строительства и должен быть введен в эксплуатацию в 2012 г (рис. 1).

В состав каждого рудоуправления входят рудник для добычи калийной руды и обогатительная фабрика для ее переработки, а также выпуска минеральных калийных удобрений в форме мелкозернистого, мелкокристаллического и гранулированного концентрата хлористого калия и соли калийной смешанной. Кроме того, объединение выпускает техническую, пищевую и кормовую поваренную соль.

По уровню добычи калийной соли Белоруссия занимает второе место в мире (первое место принадлежит Канаде). Например, в 2005 г. доходы республики от продажи калийных удобрений за рубеж составили свыше \$ 800 млн. Почти треть этой суммы принес Китай; всего на страны Восточной Азии приходится половина калийного экспорта Белоруссии. 20 % реализуются в страны Латинской Аме-

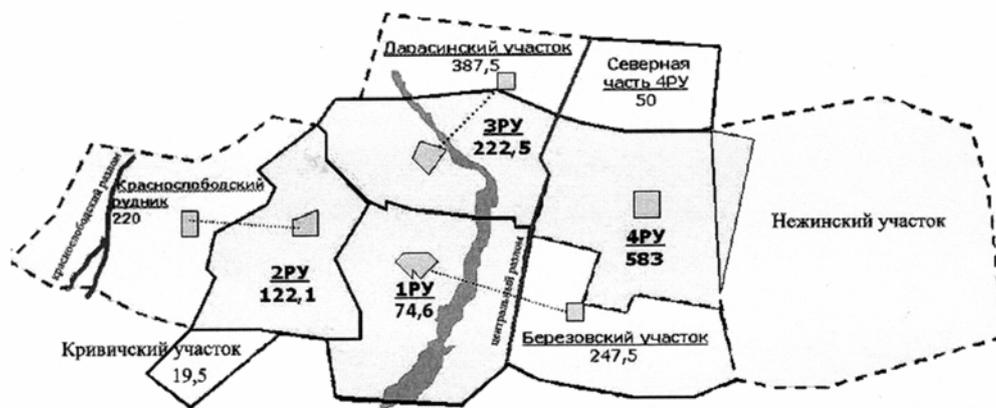


Рис. 1. План расположения шахтных полей на Старобинском месторождении:
 ■ — действующие рудники; ■ — проектируемые рудники; ■ — участки, планируемые к отработке; — конвейерный тракт; в знаменателе — промышленные запасы сильвинита, млн т

рики, в первую очередь в Бразилию. Еще 17 % из 8 млн тонн удобрений, экспортируемых Белоруссией, уходят в страны ЕС (Чехию, Словению, Венгрию).

На месторождении за короткий промежуток времени был осуществлен переход от камерной системы разработки, характеризующейся низкими показателями по качеству добываемой руды и извлечению запасов из недр, на более прогрессивную столбовую систему с обрушением кровли. С момента промышленного внедрения столбовой системы (1977 г.) на всех рудниках постоянно увеличивалась доля руды, добытой с применением этой системы, что позволяло РУП «ПО «Беларуськалий» ежегодно повышать содержание хлористого калия в добываемой руде и снизить потери полезного ископаемого (ПИ) в недрах. Однако, как показывает опыт отработки Старобинского месторождения, потери ПИ все же остаются очень высокими, а длительная эксплуатация месторождения с применением столбовой системы при извлечении руды 50~60 % способствовала

быстрому погашению запасов калийных солей на шахтных полях, что привело к быстрому истощению подготовленных запасов.

В пределах калиеносной толщи Старобинского месторождения залегает четыре горизонта (сильвинитовых пласта), два из которых разрабатываются в настоящее время. Все пласты характеризуются сложным строением, представлены чередованием слоев сильвинита, каменной соли, карналлита и глинистых прослоек. Глубины разработки изменяются от ~ 350 до ~ 1 000 м.

Запасы месторождения отработывают с применением трех основных систем — камерных, столбовых и комбинированных. Отработку месторождения ведут четыре рудоуправления в состав каждого из которых входит рудник и обогатительная фабрика. Однако в ближайшие 3-5 лет запасы руды на шахтных полях 1 РУ и 2 РУ будут настолько исчерпаны, что не позволят обеспечить производственные мощности рудников. В связи с

№.№ слоев	Породы	Мощности слоев, м	Содержание КСl, (%)	Содержание NO, (%)
12		0,72	19,66	6,62
		3,38	3,02	11,42
10		0,74	31,63	6,19
		1,35	1,26	11,02
9		0,17	47,79	1,38
		1,91	1,16	14,89
8		0,54	32,39	4,48
		0,49	2,79	15,77
7		0,33	24,89	4,07
		0,96	4,83	15,63
6		0,25	47,52	3,31
		0,62	5,17	13,64
5		0,18	36,41	2,58

Сильвинитовые слои Соль каменная

Рис. 2. Строение 4 КГ Старобинского месторождения

этим с 2009 года начинается эксплуатация (подготовка шахтного поля) нового рудника на Краснослободском участке, а в 2012 году начнется эксплуатация рудника на Березовском участке. Вскрытие 4 КГ позволит вовлечь в отработку запасы, оцениваемые в 205 млн т сильвинита, и продлить срок службы 1, 2 и 3 рудников на 15—20 лет.

Анализ горно-геологического строения непосредственно 4 КГ и межгоризонтной толщи III-IV показал, что метод аналогий (а соответственно опыт отработки II и III КГ) не может

являться основой при проектировании, как самих технологических схем, так и прогноза горно-геомеханических условий отработки IV КГ. Строение IV калийного горизонта и характеристики слагающих его слоев представлены на рис. 2.

Как видно из данного материала ценность всех слоев по 100%-ому КСl является сопоставимой, что свидетельствует о том, что отказ от извлечения любого из слоев эквивалентен списанию в потери не менее чем 6 % запасов пласта. Максимальным содержанием сильвинита характеризуется 10 слой, причем в этом слое залегает около 26 % от суммарных запасов сильвинита в пласте.

Вышеизложенный анализ геологического строения 4 калийного горизонта позволил сформулировать следующие требования к проектируемой системе разработки:

- необходимость группирования слоев в вынимаемые пласты мощностью не менее 0,7 м;
- селективная отбойка всех слоев сильвинита;
- использование «слоевых» систем разработки с последовательной отработкой не более чем двух слоев с полным обрушением пород кровли – отработка большего количества слоев значительно увеличит вероятность посядок «на жестко» секций крепи в третьем и последующих слоях;
- селективная отбойка пустой породы (каменной соли) и ее закладка в выработанное пространство;
- разработка эффективных паспортов крепления и способа охраны групповых панельных выработок, позволяющих эксплуатировать эти выработки в течение отработки всех слоев очистными забоями.

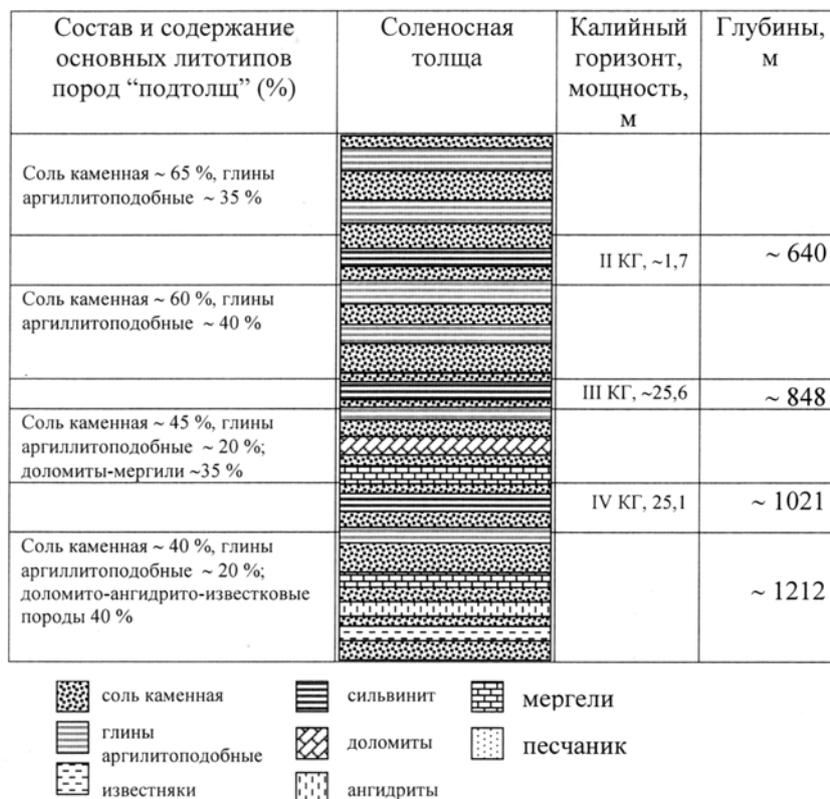


Рис. 3. Осредненная стратиграфическая характеристика соленосной толщи пород (D_3dl_6) по данным документирования бурения скважин

Поскольку в пределах месторождения ведется многогоризонтная выемка калийной руды, то характеристики выработанных пространств на вышележащих горизонтах могут влиять на исходное поле напряжений (до начала отработки) в рамках IV КГ.

В свою очередь горные работы в рамках IV КГ могут оказать влияние на НДС ответственных элементов массива на II и III КГ, что особо значимо в пределах «зон смягчения», а соответственно и на состояние водо-защитной тощи.

При этом период существования данных выработанных пространств может составлять как 1—2 года, так и

несколько десятков лет, в зависимости от времени, прошедшего с момента его образования до момента выемки на IV КГ. Во всех указанных случаях НДС межгоризонтной толщи и массива вмещающего IV КГ будет различным. Такой широкий временной и пространственный диапазон условий формирования НДС указывает на необходимость учета влияния данных условий на параметры технологических схем.

На базе анализа геологической информации о строении и механических свойствах литотипов пород, слагающих соляную толщу, была построена осредненная ее стратигра-

фическая характеристика, представленная на рис. 2.

Для определения величин и характера распределения полей напряжений и деформаций в ответственных элементах вмещающего массива были разработаны горногеомеханические модели (ГГМ) и расчетные схемы (РС), учитывающие различную геометрию и условия образования выработанных пространств. В ГГМ исследовались массивы, вмещающие выработанные пространства, как камерных (с жесткими и податливыми целиками), так и столбовых систем разработки.

Моделирование осуществлялось с помощью метода граничных элементов. Результаты моделирования позволили получить распределение полей напряжений в соляном массиве при всех возможных «граничных» (с точки зрения оценки нагрузок на многогоризонтную толщу) горнотехнических ситуациях, построить поля параметров НДС, получить их осредненные значения в характерных элементах массива в зависимости от вида системы разработки и срока существования выработанных пространств. Также моделирование позволило получить эпюры распределения напряжений и деформаций в окрестности выработок на IV КГ и сопоставить их с аналогичными параметрами для III КГ. Выполненные исследования показали возможность более высоких величин конвергенции пород кровли почвы в охранных целиках, подготовительных выработках и очистных забоях в сопоставлении с III КГ. Такие проявления горного давления на IV калийном горизонте в большей мере связаны не с увеличением глубины залегания этого горизонта (относительно III КГ), а с горно-геомеханическими характеристиками межгоризонтной толщи III-IV КГ. Данные фак-

торы приняты как определяющие при исследовании НДС соляного массива и расчете параметров технологических схем.

Проведенный анализ возможных вариантов «слоевых» систем разработки позволил провести предварительную группировку слоев в вынимаемые пласты: верхний пласт 0,7 м — 12 слой; средний пласт 2,3 м — слой 10, каменная соль 9—10, слой 9; нижний пласт 3,53 м — с 5 по 8 слой. Принятие тех или иных способов группировки пластов будет зависеть от текущего спроса на калийные удобрения и уровня очистного оборудования, что определяет в конечном итоге стоимость продукта и издержки производства.

Анализ различных вариантов группирования и очистной выемки пластов позволил предложить наиболее рациональную (с точки зрения минимизации потерь и максимального использования селективной выемки руды) технологию выемки 4 КГ — отработку тремя слоями с камерной системой разработки по 12 слою, и двумя длинными очистными забоями по нижезалегающим слоям с селективной отбойкой сильвинита и каменной соли с последующей закладкой до 90 % выработанного пространства пустой породой. Разработан вариант технологической схемы отработки 4 КГ тремя слоями — верхний из которых (12 с.с.) обрабатывается камерной системой разработки, второй (10 и 9 с.с.) и третий (с 8 по 5 с.с.) слои обрабатываются длинными очистными забоями. В представленной системе разработки необходимо обосновать следующие параметры: количество и место расположения (относительно очистных пространств и по мощности 4 КГ пласта) панельных выработок,

размеры междуштрековых целиков, размеры межпанельных и внутрипанельных целиков, месторасположение и параметры закладочных штреков, параметры слоевых выработок, параметры очистных забоев и закладочных массивов и др.

В настоящее время практически во всех очистных забоях на 2 и 3 калийных горизонтах ведется валовая выемка руды, что значительно снижает содержание КСІ в рудной массе и соответственно требует значительных средств на обогащение руды на фабриках рудоуправлений. Однако 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 компании Айгофф. Очистные комбайны для селективной отбойки созданы на базе очистных машин серии SL.

Отличительной особенностью таких машин является возможность работать на уступных по мощности забоях. Данная 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 значительно снижает нагрузку на лаву. Для условий 4 КГ было проведено моделирование НДС массива горных пород в зависимости от начального поля напряжений на горизонте (влияния выработанных пространств 2 и 3 КГ), размеров межпанельных целиков, размеров междуштрековых целиков, взаимного расположения выработанных пространств, по слоям, параметров камерной системы разработки по 12 слою 4 КГ (ширины камер и целиков) и т.д. Фрагмент результатов моделирования приведен на рис. 3.

Обобщение результатов моделирования позволило получить зависимости для расчета параметров камерной системы разработки (пролет камер и ширина МКЦ) которые позволяют при отработке нижних лав перенести максимум опорного давления вне массива, вмещающего подготовительные выработки нижних лав, за счет перехода МКЦ в запредельное состояние.

Обобщение результатов моделирования позволило предложить зависимость для расчета вертикальных напряжений по 12 с.с., а соответственно и параметров камерной системы разработки

$$\sigma_y = 9,8\gamma H \cdot k_{одл} \cdot k_{зкг}$$

где H — глубина горных работ, м; γ — средневзвешенная плотность вышележащих пород, кг/м³; $k_{одл}$ — коэффициент опорного давления лавы по 9—10 слоям; $k_{зкг}$ — коэффициент концентрации от горных работ на 3 КГ, $k_{зкг} = 1 + 0,1 \cdot t_1^{-0,77}$; t_1 — время прошедшее с момента отработки лавы на 3 КГ, месяцы.

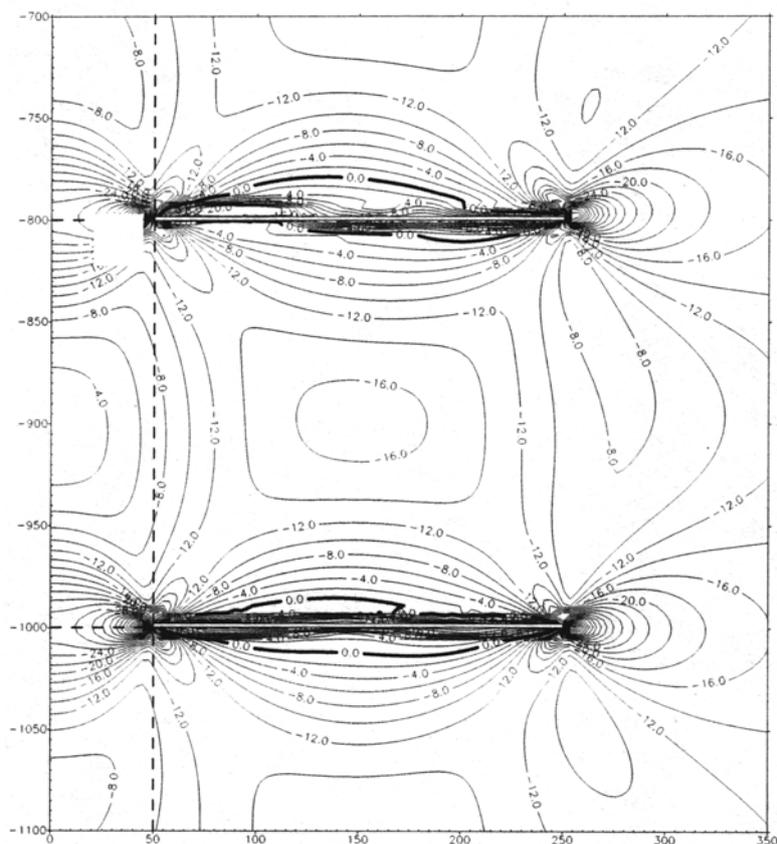


Рис. 3. Фрагмент результатов моделирования: поле компоненты σ_x

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

$$\sigma_y \cdot k_K \geq [\sigma_{сж}] \cdot k_\Phi,$$

k_K — коэффициент концентрации от нижерасположенных длинных очистных забоев ($k_K = 2-3$); k_Φ — коэф-

фициент формы ($k_\Phi = 3-7$) $k_\Phi = b/h$; a — пролет камер, м ($a = 0,7-8$ м); b — ширина МКЦ, м (от 0,5 до 6 м); h — высота целика ($h = 0,7$ м, возможно до 4 м при отработке камер с присечкой боковых пород и закладкой их в соседние камеры).

Для разработанных зависимостей коэффициент корреляции составляет $\tau = 0,78$ при коэффициенте надежности 3,2.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ковалёв О.В. — доктор технических наук, профессор,
Мозер С.П. — кандидат технических наук, доцент, mozer1@yandex.ru,
Тхориков И.Ю. — кандидат технических наук,
 Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».