



УДК 622.277:622.363.2

**В. С. ВОЙТЕНКО** (Белорусское горное общество)**С. Ф. ШЕМЕТ, А. М. ГРЕЧКО, С. Г. ШУТИН** (ОАО «Белгорхимпром»)

## ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗРАБОТКИ МАЛОМОЩНЫХ КАЛИЙНЫХ ПЛАСТОВ СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО РАСТВОРЕНИЯ



**В. С. ВОЙТЕНКО,**  
председатель,  
проф., д-р техн. наук



**С. Ф. ШЕМЕТ,**  
генеральный директор,  
д-р техн. наук



**А. М. ГРЕЧКО,**  
зам. генерального директора,  
канд. геол.-минерал. наук



**С. Г. ШУТИН,**  
зав. отделом,  
канд. хим. наук

Представлены поисковые разработки схем конструкций и технологий выемки маломощных пластов калийных солей (применительно к условиям Старобинского месторождения) способом подземного растворения солей как эффективной альтернативы традиционным подземным способам их добычи. Показаны основные задачи и направления комплексных исследований для промышленной реализации разработок.

**Ключевые слова:** подземное растворение солей, Старобинское месторождение калийных солей, маломощные слои, управление размывом, рассолы, тоннельные камеры, ударная волна, колтубинг, эксперименты, моделирование.

Добычу солей в виде их рассолов через пройденные с поверхности земли скважины (солепромысел) использовали с древних времен. В настоящее время подземным растворением разрабатывают в основном залежи каменной соли мощностью от 20 до 700 м при глубине залегания от 200 до 1700 м, преимущественно вертикальными камерами диаметром порядка 100 м с оставлением между ними целиков шириной от 60 м. Высокая эффективность способа подземного растворения обусловила поиски возможностей его применения в калийной промышленности [1, 2]. Однако применительно к калийным солям реализация преимуществ подземного растворения солей (ПРС) встречает значительные трудности, связанные прежде всего с малыми мощностями калийных пластов, их структурной неоднородностью, различиями вещественного состава как по простиранию, так и по глубине, наличием включений, мульд и пропластков, существенно различающихся скоростью растворения и предельной растворимостью.

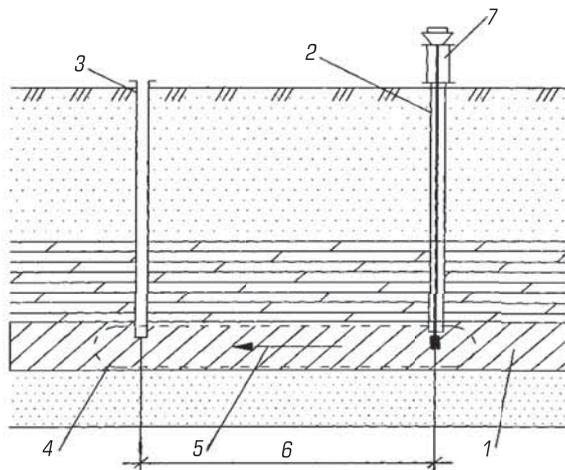
В мировой практике имеются примеры успешной реализации технологии подземного растворения сильвинитов в промышленных масштабах. Наибольшие успехи в этом направлении достигнуты в Канаде. В провинции Саскачеван две компании применяют подземное растворение на южных участках месторождения, где хорошо развиты калиеносные зоны, представленные сильвинитами высокого качества при низком содержании хлористого магния.

Предприятие Белл-Плейн (Belle Plaine) компании Mosaic разрабатывает сильвинитовую залежь способом подземного растворения с 1964 г. Первоначально производственная мощность предприятия составляла 1 млн т KCl, затем постепенно повышалась и в 2011 г. достигла 2,8 млн т. Достаточно быстрое наращивание

мощности рассолопромысла свидетельствует о высокой эффективности применяемой технологии. Разрабатываемая сильвинитовая залежь мощностью около 60 м залегает на глубине 1500 м и состоит из трех горизонтальных сильвинитовых пластов. Среднее содержание хлористого калия — 30 %. При температуре пласта 54–55 °С обеспечивается высокая скорость растворения соли и высокое содержание полезного компонента в добычном рассоле. Скважины расположены кустами для подземного растворения в камерах цилиндрической формы диаметром в среднем 91,5 м. Состав добычного рассола (%): KCl — 13,4; NaCl — 18,8; товарный продукт содержит 98,2 % KCl. К 2015–2020 гг. компания Mosaic планирует увеличить мощности Белл-Плейн еще на 2 млн т/год.

На предприятии Пейшенс-Лейк (Patience Lake) компании PCS в конце 1980-х годов затопленный рудник был преобразован в рассолопромысел с производством около 250 тыс. т KCl в год. Хлорид калия, осажженный в бассейне при вымораживании, стабильно имел качество 62 % K<sub>2</sub>O (98,2 % KCl) и содержал около 0,05 % нерастворимых примесей, в то время как по первичной технологии флотационного обогащения получали из сильвинитовой руды хлорид калия с содержанием 60 % K<sub>2</sub>O (95 % KCl) и около 0,7 % нерастворимых примесей. В первой половине 2000-х годов предприятие было временно законсервировано, но в 2007 г. возобновило работу, выпустив в 2008 г. 282 тыс. т KCl. В 2011 г. проектная мощность предприятия составила 1 млн т при объеме выпуска 400 тыс. т KCl. При этом численность операционного персонала не превысила 100 человек.

Имеются примеры промышленного освоения технологии подземного растворения и на других калийных предприятиях. В США



**Рис. 1. Технологическая схема ПРС с формированием тоннельных камер с помощью ударных волн:**

1 — калийный пласт малой мощности; 2, 3 — закачная и добычная (откачная) скважины соответственно; 4 — тоннельная камера ПРС; 5, 6 — направление и интервал обработки пласта соответственно; 7 — генератор ударных волн

компанией Кейн-Крик в штате Юта проводили опыты по подземному растворению маломощных (1,5 м) калийных пластов на пилотной установке, в Англии — по применению подземного растворения для разработки Йоркширского калийного месторождения. В Саскачеване (Канада) на участке, принадлежащем фирме Linbar Mining Co. и расположенном севернее рассолопромысла фирмы Mosaic, проведены опытные работы по селективной выемке калийных пластов с применением гидроразрыва. Ценный опыт разработки сильвинита получен на Карлюкском (Гарлыкском) многопластовом месторождении калийных солей с глубиной залегания до 900 м в Туркменистане, где проведены масштабные работы на опытно-промышленной установке подземного растворения [2].

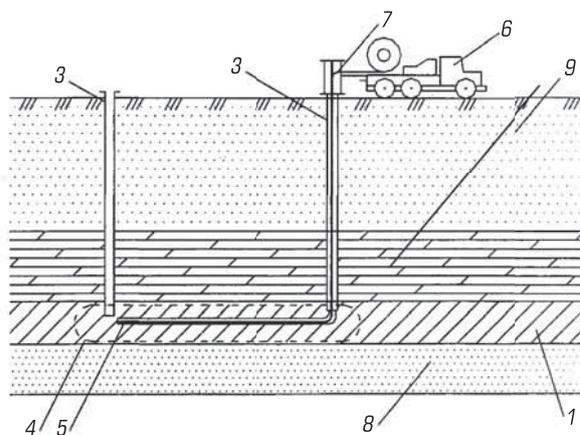
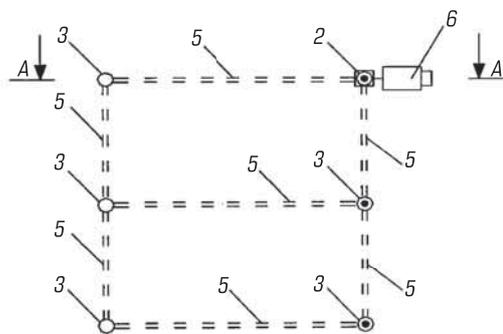
Эффективному применению технологии подземного растворения солей на канадских предприятиях благоприятствовал ряд объективных факторов, среди которых — низкое содержание в пластах карналлита, высокая температура рудного тела и значительная мощность залежей. Для месторождений, подобных Старобинскому, использование традиционных схем и технологий подземного растворения калийных солей вертикальными камерами [1, 2] оказывается неэффективным, так как объем вымываемой одной скважиной соли ограничен в горизонтальном направлении условиями устойчивости кровли камеры, а в вертикальном — малой мощностью пласта. При наклонном залегании пластов ситуация осложняется из-за неизбежного разубоживания рассолов и потерь полезного ископаемого.

Авторами разработаны и представлены ниже новые оригинальные конструкции и технологии разработки калийных пластов малой мощности способом подземного растворения солей, наиболее соответствующие горно-геологическим условиям Старобинского месторождения.

Обычно при подземном растворении солей взаимодействие между закачной и добычной скважинами обеспечивают путем ги-

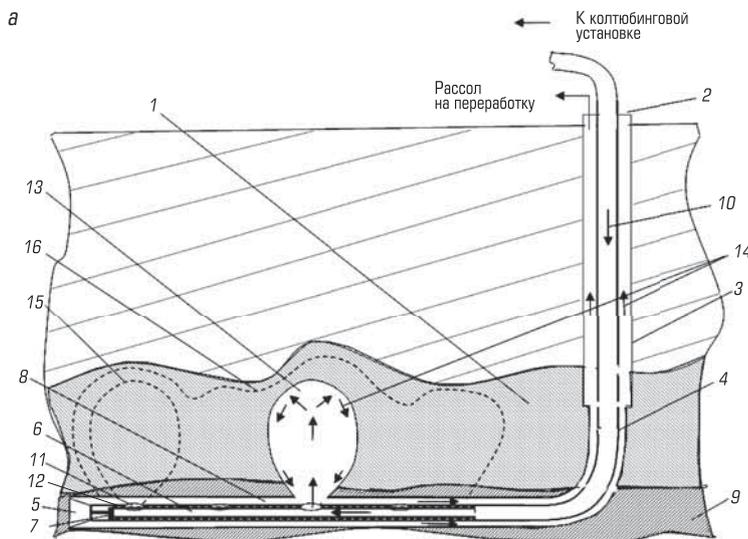
дроразрыва пласта между ними с формированием главного фильтрационного канала, при этом поверхность контакта растворителя с рудным телом и объемная скорость растворения оказываются недостаточными. В одном из предложенных вариантов (рис. 1) «сбойку» скважин и растворение залежи осуществляют формированием на межскважинном участке дополнительной однородной проницаемости путем его обработки направленными упругими волнами [3]. Полученный в камерах ПРС рассол откачивают из добычных скважин и подают на переработку. В этом случае фильтрационные каналы пронизывают весь объем пласта на участке, что обеспечивает развитую поверхность растворения и высокую эффективную скорость перевода полезного ископаемого в рассол.

В другом варианте (рис. 2) сбойка скважин и формирование камер ПРС предусмотрены горизонтальными стволами скважин, бурение которых осуществляют с применением колтюбинговых установок и гибкой цельнотянутой трубы. При этом, в отличие от гидроразрыва, в котором развитие трещины плохо контролируется и может происходить в нежелательных направлениях, повышается управляемость процессом. Основным технологическим агрегатом является колтюбинговая установка, оборудованная системой на-



**Рис. 2. Способ разработки маломощных пластов карналлитовых залежей подземным растворением с использованием колтюбинга:**

1 — калийный пласт малой мощности; 2, 3 — закачная и добычная (откачная) скважины соответственно; 4 — тоннельная камера ПРС; 5 — горизонтальный ствол; 6 — колтюбинговая установка; 7 — гибкая безмуфтовая труба; 8, 9 — подстилающие и перекрывающие породы



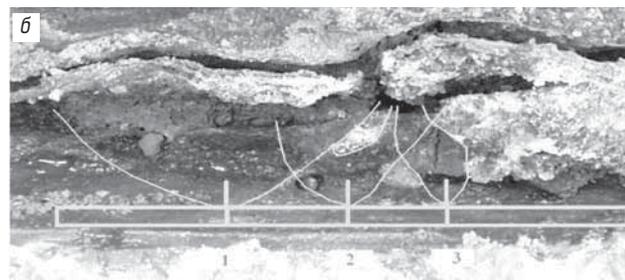
**Рис. 3. Конструктивная схема тоннельной разработки калийного пласта подземным растворением с применением колтюбинга (а) и модель управления размывом (б):**

1 — калийный пласт; 2 — скважина; 3 — обсадная колонна; 4 — гибкая цельнотянутая труба; 5 — породоразрушающий инструмент с забойным двигателем; 6 — управляемый патрон; 7 — заслонка; 8 — подготовительная выработка; 9 — подошва соляной залежи; 10 — растворитель (вода или рассол); 11, 12 — отверстия в цельнотянутой трубе и управляемом патроне; 13, 15 — размываемые полости при перемещении патрона, 14 — добычной рассол; 16 — контуры камеры подземного растворения на заключительном этапе обработки

правленного бурения с гибкой цельнотянутой стальной трубой, оснащенной специальными насадками и приспособлениями для бурения стволов скважин, подачи растворителя и отбора рассола [4].

При разработке маломощного пласта горизонтальными (тоннельными) камерами по колтюбинговой схеме важно обеспечить равномерный размыв соли по всему межскважинному участку. Учитывая присущую калийным залежам структурную неоднородность, сделать это достаточно сложно, так как потребуется большое количество спускоподъемных операций колтюбинговой трубы, что увеличивает время отработки пласта и вероятность поломок оборудования. В связи с этим предложено применять колтюбинговую трубу с перфорированной рабочей частью и управляемым патроном (рис. 3).

Согласно запатентованному ОАО «Белгорхимпром» колтюбинговому способу ПРС с управляемым приводом, на начальном этапе бурят и обсаживают вертикальную скважину, через которую заводят гибкую перфорированную трубу, оснащенную породоразрушающим инструментом, гибким перфорированным патроном и заслонкой, управляемыми от забойного двигателя. Затем включают систему колтюбингового бурения и подачи растворителя, формируя Г-образный канал подготовительной выработки в подстилающей продуктивной пласт породе. В начале продуктивной стадии рассол через открытую заслонку подается по гибкой трубе в пласт и отбирается из формирующейся камеры. При этом размыв будет преобладать в забое камеры. Для достижения рав-



номерного размыва и формирования потолочины камеры в кровле пласта патрон смещают на расчетное расстояние вдоль гибкой трубы. При этом отверстия в трубе и патроне совмещают в зоне планируемого размыва, и поток растворителя направляется через эти отверстия. Управляя совмещением отверстий и открытием заслонки, можно добиваться достаточно полного извлечения калийной соли при минимальном разубоживании рассола.

Приведенные выше схемы и технологии разработки маломощных калийных пластов методом ПРС опробованы на образцах из блоков сильвинитов Старобинского месторождения. При этом изучали закономерности формирования вертикальных и горизонтальных камер. В частности, моделировали способ колтюбингового управления размывом камеры для различных температур и расходов растворителя с использованием нерастворителя (см. рис. 3, б). Уровень нерастворителя контролировался электроконтактным способом, подача растворителя — прецизионным нагнетательным насосом. Модельные эксперименты подтвердили эффективность ПРС с формированием тоннельных камер и надежность управления размывом.

Промышленное освоение представленных выше технологий позволит, по мнению авторов, расширить сырьевую базу калийных предприятий и повысить эффективность выемки запасов сильвинита способом ПРС. Для этого необходим переход от стадии поисковых работ к комплексным научно-исследовательским, опытно-конструкторским и опытно-технологическим работам, включающим разработку детальных схем, технологических параметров и регламентов формирования тоннельных камер; проведение маломасштабных экспериментов по размыву участка пласта в шахтных условиях; разработку целевых конструкций колтюбинговой установки для подземного растворения калийных солей; создание высокоточных инструментов позиционирования рабочего органа установки, разработку способов и параметров волнового воздействия на залежь и другие задачи.

#### Библиографический список

1. Пермяков Р. С., Романов В. С., Белды М. П. Технология добычи солей. — Л.: Недра, 1981. — 272 с.
2. Каратыгин Е. П., Кубланов А. В., Пустыльников Л. М., Чанцев В. П. Подземное растворение соляных залежей. — СПб.: Гидрометеоздат, 1994. 3. А. с. 1701896, СССР, МКИ Е 21В 43/28 // А. И. Бажал и др. — Бюлл. № 48. 1991.

4. Войтенко В. С., Смычник А. Д., Шемет С. Ф. Применение кольтюбинговых технологий при разработке соляных залежей // *Время кольтюбинга*. 2006. № 2 (016). С. 18–23. 

Войтенко Владимир Сергеевич,  
тел.: + 375 (29) 663-08-41

Шемет Сергей Федорович,  
e-mail: [bmci@bmci.by](mailto:bmci@bmci.by)  
Гречко Анатолий Михайлович,  
тел.: + 375 (17) 234-74-94  
Шутин Сергей Георгиевич,  
тел.: + 375 (17) 234-60-86

#### SEARCH OF EFFICIENT TECHNOLOGIES OF DEVELOPMENT OF THIN POTASSIUM LAYERS BY UNDERGROUND DISSOLUTION METHOD

**Voytenko V. S.**<sup>1</sup>, Chairman, Professor, Doctor of Engineering Sciences, phone: + 375(29) 663-08-41  
**Shemet S. F.**<sup>2</sup>, Chief Executive Officer, Assistant Professor, Doctor of Engineering Sciences  
**Grechko A. M.**<sup>2</sup>, Deputy Chief Executive Officer, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences  
**Shutin S. G.**<sup>2</sup>, Head of Department, Candidate of Chemical Sciences

<sup>1</sup> Belorussian Mining Society (Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup> «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

This article gives the exploration developments of schemes of designs and technologies of extraction of thin potassium salt layers (as applied to the conditions of Starobinsky deposit) by method of underground dissolution of salts as an efficient alternative to traditional underground mining method. In authors' opinion, industrial mastering of the given technologies allows to expand the raw materials base of potassium enterprises and increase the efficiency of extraction of sylvinit reserves by method of underground dissolution of salts.

This possibility requires the following operations:

- transition from the stage of exploration works to complex scientific-research, design-development and experimental-design activities, which include the development of detailed schemes, technological parameters and regulations of formation of tunnel chambers;
- carrying out of low-scale experiments on wash-outs of layer part in mine conditions;
- development of target designs of coiled tubing unit for underground dissolution of potassium salts;
- creation of high-accuracy instruments of positioning of working unit of installation;
- development of methods and parameters of wave influence on deposit and other tasks.

**Key words:** *underground dissolution of salts, Starobinsky potassium salt deposit, thin layers, wash-out control, brines, tunnel chambers, shock wave, coil tubing, experiments, modeling.*

#### REFERENCES

1. Permyakov R. S., Romanov V. S., Beldy M. P. *Tekhnologiya dobychi soley* (Salt extraction technology). Leningrad : Nedra, 1981. 272 p.
2. Karatygin E. P., Kublanov A. V., Pustynnikov L. M., Chantsev V. P. *Podzemnoe rastvorenie solyanykh zalezhey* (Underground dissolution of salt deposits). Saint Petersburg : Gidrometeoizdat, 1994. 220 p.
3. A. I. Bazhal et al. Certificate of Authority No. 1701896, USSR, MKI E 21B 43/28. Bulletin No. 48. 1991.
4. Voytenko V. S., Smychnik A. D., Shemet S. F. *Primenenie kolyubingovykh tekhnologiy pri razrabotke solyanykh zalezhey* (Application of coil tubing technologies during the development of salt deposits). *Vremya kolyubinga – Coiled tubing times*, 2006, No. 2 (016), pp. 18–23.

УДК 622.844:622.514/.515:622.363.2

**С. Ф. ШЕМЕТ, С. Г. ШУТИН** (ОАО «Белгорхимпром»)

## ЗАЩИТА КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ ОТ РАССОЛОПРИТОКОВ



**С. Ф. ШЕМЕТ,**  
генеральный директор,  
д-р техн. наук



**С. Г. ШУТИН,**  
зав. отделом,  
канд. хим. наук

*Рассмотрена одна из важнейших и сложных проблем защиты калийных рудников от затопления минерализованными и другими водами. Дан обзор основных способов, конструктивных и технических решений по гидроизоляции подземных выработок от рассолопритоков и предотвращению затопления рудников. Подчеркнута необходимость комплексного решения водозащитных задач, в том числе с учетом специфики минерально-химического состава рассолов и вмещающих пород, физико-химических процессов их взаимодействия (межфазного обмена) на границе «рассол–порода».*

**Ключевые слова:** *месторождения растворимых солей, водозащитная толща, прорывы воды, гидроизоляционные перемычки, гидравлический напор, водоносные горизонты, рассолы, вмещающие породы, минерально-химический состав, межфазный обмен, мониторинг.*

Наиболее серьезной проблемой разработки месторождений растворимых солей являются внезапные прорывы пресных вод или ненасыщенных рассолов, которые, попадая в горные выработки, легко растворяют соли и сопутствующие им породы. При этом остановить возникший приток чаще всего не удается. Известны аварийные затопления рудников БКРУ-3 и БКРУ-1 ОАО «Уралка-  
© Шемет С. Ф., Шутин С. Г., 2014

лий» в 1986 и 2006 гг., более 15 рудников в Германии («Иессенитц», «Фридрих-Франц» и др.), более 15 — в Канаде: (Unity, Yarrow, Allan, Gerald, Vanscoy и др.). Продолжается борьба с прорывом воды на руднике K2 канадской компании Mosaic, где объем рассолопритока за 2010 г. составил 3,9 млн м<sup>3</sup> (454 м<sup>3</sup>/ч). Убытки от затопления калийных шахт и потери запасов полезного