

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА И ПОСЛЕДСТВИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛЯНЫХ ПОРОД С ГИДРОЗАКЛАДОЧНЫМИ РАССОЛАМИ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Д.Н. Радченко, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия

Р.В. Бергер, Общество с ограниченной ответственностью «ЕвроХим-ВолгаКалий», Котельниково, Россия

В.И. Татарников, П.О. Зубков, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация: Дана оценка влияния рассолов обогатительной фабрики по переработке калийного минерального сырья относительно отобранных кернов сильвинита. Установлены закономерности изменения прочностных характеристик образцов сильвинита на одноосное сжатие в «сухом» состоянии и после продолжительного замачивания в насыщенном рассоле обогатительной фабрики.

Ключевые слова: месторождение калийных солей, сильвинит, карналлит, прочностные характеристики, гидрозакачка, рассолы, закладочный массив.

Для цитирования: Радченко Д.Н., Бергер Р.В., Татарников В.И., Зубков П.О. Экспериментальное исследование характера и последствий взаимодействия соляных пород с гидрозакалочными рассолами при подземной разработке месторождений калийных солей // Маркшейдерия и недропользование. 2023. №6.С. 60-67. DOI: 10.56195/20793332_2023_6_60_67.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE NATURE AND CONSEQUENCES OF INTERACTION OF SALT ROCKS WITH HYDROFILLING BRINES DURING UNDERGROUND DEVELOPMENT OF POTASSIUM SALT DEPOSITS

D.N. Radchenko, Institute of Problems of Integrated Subsoil Development named after Academician N.V. Melnikov, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

R.V. Berger, Limited Liability Company «EuroChem-VolgaKaliy», Kotelnikovo, Russia

V.I. Tatarnikov, P.O. Zubkov, Institute of Problems of Integrated Subsoil Development named after Academician N.V. Melnikov, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract: Introduction. The research methodology included selection and comparative tests of strength characteristics of the initial core of sylvinit and carnallite in air-dry condition and, respectively, core samples after their contact with model hydrofilling brines. During the tests on the press under uniaxial compression load it was noted that most of the samples are very heterogeneous, characterized by layering and the presence of various inclusions, varying even within the same well. The specimens differ in the character of deformation at compression failure. It seems that the character of contact of targets with hydrofilling brines is different than in the soil of mine workings, through which drainage brines will flow, where the processes of frizzling have been revealed, indicating the influence on the development of fracturing of sylvinit protective pack in the soil and on the side walls of targets. The obvious risk of drainage brines penetrating into the cracks and the nature of their movement through the soil of the workings require full coverage of the sylvinit samples with brine from all sides.

Research results. It is established that as a result of contact of samples of sylvinit rocks with saturated brine there is a decrease in strength characteristics by 1.2-1.7 times. It is determined that as a result of contact with model brines the deformation diagram of samples under load has changed. Monolithic sample of carnallite after incubation for 58 days in concentrated salt brine there was a complete loss of strength and the sample crumbled in a measuring cup. On the basis of the performed researches it is concluded that at hydrofilling of the excavated space with saturated hydrofilling brines there will be a decrease in strength of the contour part of the massif of chambers, pillars and in the soil of drainage excavations.

Conclusion. In the laboratory experiment the fact of decrease in uniaxial compression strength of salt rock samples was established: already on the 36th day of ageing in brine the strength of samples decreased by 24-25%, deformation modulus – by 22-28%. On 56 days the compressive strength of the specimen decreased on average by 2 times in comparison with the initial ones in air-dry condition. It is also proved that at carrying out of hydrofilling works with application of saturated brines there is a decrease in strength of rocks of the contour part of the massif of chambers and drainage excavations. For the chamber being laid these processes are not so critical, but the influence of hydrofill brines on the strength and deformation modulus reduction for the underlying rocks at the base of drainage excavations, through which the excess brine will flow. Reduced strength and deformation characteristics may result in an increased risk of accidents at the underground mine.

Resume. The influence of brines of the potash mineral processing plant on selected sylvinite cores has been assessed. Regularities of change of strength characteristics of sylvinite samples on uniaxial compression in «dry» state and after prolonged soaking in saturated brine of the processing plant were established.

Keywords: potassium salt deposit, sylvinite, strength characteristics, hydrofilling, brines, embedding massif.

For citation: Radchenko D.N., Berger R.V., Tatarnikov V.I., Zubkov P.O. Experimental study of the nature and consequences of interaction of salt rocks with hydrofilling brines during underground development of potassium salt deposits. Surveying and subsoil use. 2023;(6): 60-67. (In Russ.). DOI: 10.56195/20793332_2023_6_60_67.

В мировой практике при подземной разработке соляных месторождений камерной системой разработки закладка выработанного пространства принята для сохранности водозащитной толщи, повышения устойчивости междуканальных целиков, снижения потерь полезных ископаемых [1-3]. Для сокращения затрат на складирование отходов переработки калийных солей и, как следствие, снижения негативного влияния солеотходов на экологию района, при применении систем разработки с закладкой выработанного пространства предусматривается максимальное использование всех солеотходов в составе закладочной смеси. Одним из самых распространённых видов закладочных работ в России является гидравлическая закладка [4-6]. Однако, при заполнении камер гидрозакладочными смесями происходит контакт междуканальных целиков, пород почвы с гидрозакладочными рассолами и возникает риск развития повышенных деформаций подрабатываемой поверхности и снижения несущей способности междуканальных и панельных целиков [7-11]. Увлажнение соляных пород оказывает существенное влияние на их прочностные и деформационные характеристики [12]. Поэтому для оценки влияния выделяющихся из гидросмеси рассолов на прочностные и деформационные характеристики сylvинита и карналлита при их взаимодействии с гидрозакладочными рассолами были проведены экспериментальные исследования в лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН.

Цель исследований

Оценка влияния гидрозакладочных рассолов на характер изменения прочностных и деформационных характеристик сylvинита и карналлита в ходе подземной разработки месторождения калийных солей.

Методы и материалы исследований

Экспериментальные исследования характера и последствий взаимодействия сylvинита и карналлита с гидрозакладочными рассолами базировались на моделировании условий контакта рассолов с образцами соляных пород. Методика предусматривала отбор образцов керна соляных пород, проведение сравнительных испытаний прочностных характеристик исходного керна сylvинита и карналлита в воздушно-сухом состоянии и образцов пород после их контакта с модельными гидрозакладочными рассолами.

Плотность исходных образцов в естественном состоянии определялась методом прямых измерений. Для этого из ис-

ходного керна изготавливались образцы, высота которых была близка к диаметру, производился замер геометрических размеров и взвешивание, после чего определяли плотность пород и оценку прочностных и деформационных характеристик на одноосное сжатие (рис. 1). Плотность пород определяли как отношение массы образца в состоянии естественной влажности к его объёму. Средние значения плотности образцов сylvинита составили 2100 кг/м³. Исходная влажность образцов составила 0,09-0,17%.

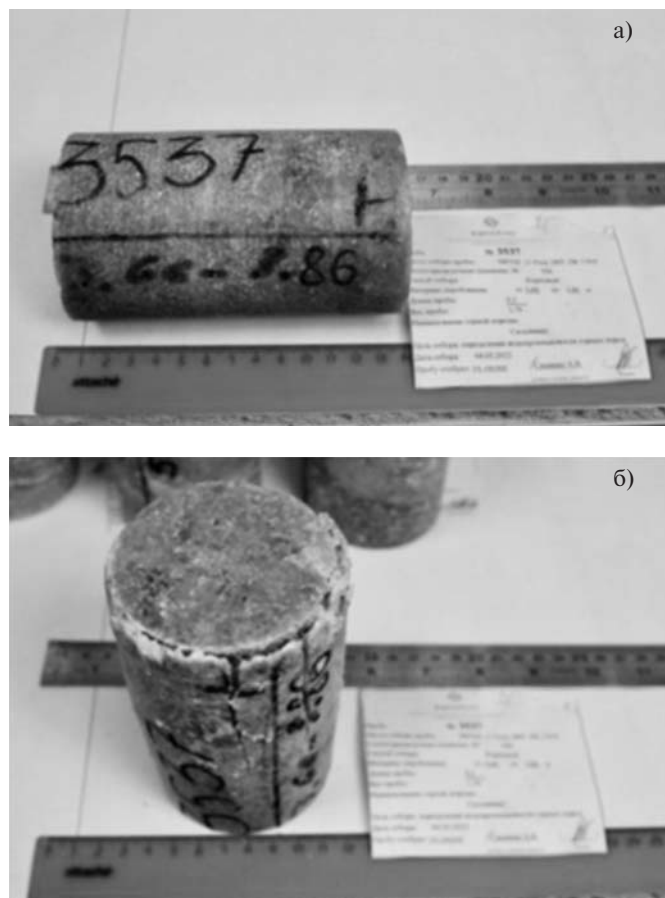


Рис. 1. Внешний вид исходных соляных пород до и после разрушения:
а - исходный образец, б - образец после разрушения /

Fig. 1. Appearance of initial salt rocks before and after fracture: a - initial sample, b - sample after fracture

В ходе геолого-минералогических исследований было отмечено, что образцы керна соляных пород даже в пределах одного интервала скважины весьма неоднородны, характеризуются слоистостью и наличием различных включений, что обусловлено природой осадочных пород. Испытаниями на одноосное сжатие установлено, что образцы в зависимости от типа неоднородности отличаются характером деформирования при разрушении на сжатие. При сжатии происходит формирование трещин и поверхностей скола, отсечение боковых граней, а затем полное разрушение образца. Практически достаточно сложно выбрать и подготовить идентичные образцы пород. Поэтому, в целом, необходимо учитывать, что наработка представительной статистики по оценке физико-механических свойств пород является весьма актуальной задачей.

Вместе с тем, при исследовании характера взаимодействия соляных пород с гидрозакладочными рассолами были получены результаты, которые позволяют однозначно утверждать об изменении прочностных и деформационных характеристик сильвинита и карналлита при контакте с гидрозакладочными рассолами.

Так, исследованиями прочностных характеристик исходного керна было установлено, что все образцы сильвинита являются цельными, структура образцов не нарушена, трещин нет, образцы отвечают требованиям ГОСТ 21153.2-84 и готовы к испытаниям.

При испытаниях под прессом в лабораторных условиях определено, что предел прочности на одноосное сжатие испытанных образцов сильвинита составляет 32-37 МПа (рис. 2).

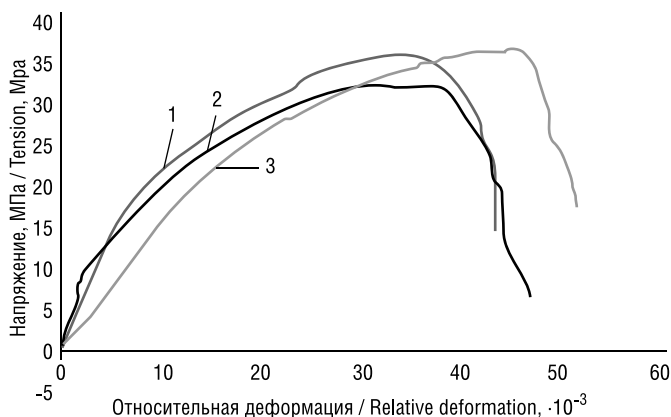


Рис. 2. График деформирования исходных образцов сильвинита в воздушно-сухом состоянии: цифрой указаны диаграммы деформирования испытанных образцов №№1-3 /

Fig. 2. Deformation diagram of initial samples of sylvinit in air-dry state: the figure shows deformation diagrams of tested samples №№1-3

При достижении предела прочности образцы разрушались, преимущественно, по трещинам скола. Визуально наблюдалась взаимосвязь между однородностью структуры сильвинита с пределом прочности на одноосное сжатие. Так, коричневатого-серый, мелко- и среднезернистый массивный сильвинит (кривая № 1 на рисунке 2) имел предел прочности на сжатие 37,2 МПа, а разрушение образца произошло по боковым граням, тогда как центральная часть образца сохранила свою структуру. Модуль деформации этого образца наиболее высокий и составил 1.11×10^{-3} МПа. Наименее од-

нородный образец, (кривая № 2 на рисунке 2), представленный сильвинитом оранжево-серым, среднезернистым, слоистым, загрязненным сульфатным материалом серого цвета, характеризуется меньшим пределом прочности на сжатие — 32,5 МПа, а разрушение образца происходит по трещине скола, преимущественно, по границам слоистости. В образце прослеживается четкая граница между слоями молочно-белого галита и бурого сильвина. Модуль деформации в образце составил 1.08×10^{-3} МПа. Наименьший модуль деформирования, характерен для образца № 3 на рисунке 2, он составил $0,79 \times 10^{-3}$ МПа.

После фиксации прочностных и деформационных характеристик пород сильвинитового пласта в воздушно-сухом состоянии для второй серии опытов были подготовлены образцы, отобранные из той же скважины. В данной серии перед испытанием образцы были затянuty в струбцины и размещены в ящиках для погружения в модельный рассол (рис. 3). После размещения образцов в рассоле ящики затягивались полиэтиленовой пленкой для сокращения потерь влаги и исключения активной кристаллизации солей из насыщенного рассола. В исследованиях был выбран метод полного погружения образцов (рис. 3).

Представляется, что характер контакта целиков с гидрозакладочными рассолами иной, чем, в почве горных выработок, по которым будут поступать дренажные рассолы, где выявлены процессы пучения, указывающие на развитие трещиноватости защитной пачки сильвинита в почве и на боковых стенках целиков. Очевидный риск проникания в трещины дренажных рассолов и характер их движения по почве выработок требуют полного покрытия образцов сильвинита рассолом со всех сторон.

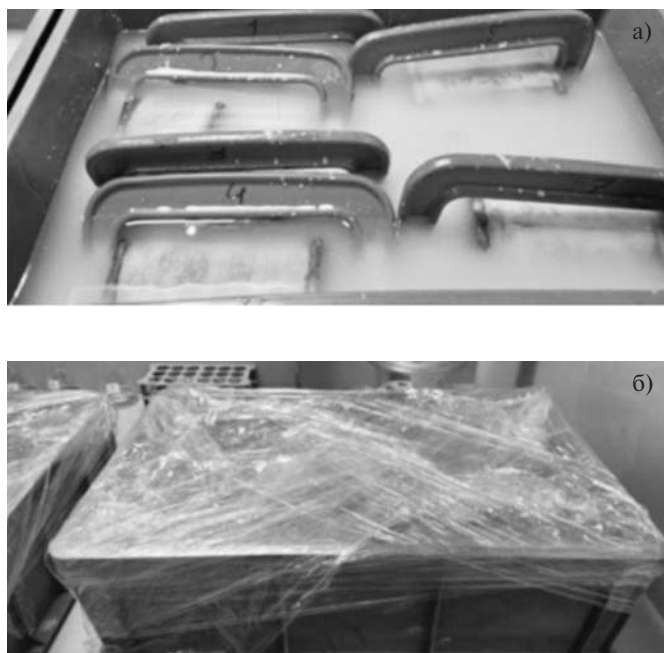


Рис. 3. Общий вид образцов в ящиках для замачивания в насыщенном рассоле: а - образцы в струбцинах для имитаций нагруженного состояния; б - ящики, покрытые пленкой для уменьшения испарения и кристаллизации рассолов /

Fig. 3. General view of specimens in boxes for soaking in saturated brine: а - specimens in clamps to simulate natural loading in the array; б - specimens covered with a film to reduce evaporation and crystallization of brines

Первая партия образцов была извлечена из рассола для проведения испытаний механических характеристик пород через 36 суток после замачивания. Визуальное обследование образцов показало, что они сохранили целостность, явных признаков растворения соли или вымывания частиц отмечено не было. Оценка влажности материала, отобранного сразу после испытаний на прессе, на влагомере показала, что их влажность увеличилась с 0,05% до 0,25-0,27%, то есть в разы.

Дополнительной подготовки образцов перед проведением испытаний на одноосное сжатие не проводилось. Внешний вид образцов до и после проведения испытаний представлен на *рисунке 4*.

Результаты исследований

Установлено, что в результате контакта образцов сильвинитовых пород с насыщенным рассолом происходит снижение прочностных характеристик в 1,2-1,7 раза. Для всех образцов предел прочности на одноосное сжатие не превысил 30 МПа, а прочность образца №6 сильвинита, отобранного из скв. 5, снизилась до 18 МПа. Необходимо отметить, что прочность образцов № 3, 6 и 4 соответствуют исходным значениям, образцов 3, 1 и 2, отобранные из одного интервала соответствующей скважины.

Определено, что в результате контакта с модельными рассолами изменилась диаграмма деформирования образцов под нагрузкой. Даже визуально, на *рисунке 4* видно, что в от-



Рис. 4. Внешний вид образцов сильвинитовых пород, выдержанных в рассоле 36 суток до (а, в, д) и после (б, г, е) испытаний на одноосное сжатие /

Fig. 4. Appearance of sylvinitic rock samples aged in brine for 36 days before (a, c, e) and after (b, d, f) uniaxial compression tests

личие от исходных образцов, разрушение размещенных в рассоле на 36 суток образцов происходит с разделением на множество мелких фрагментов. Более наглядно изменение деформационных характеристик отражено на совмещенной диаграмме, представленной на *рисунке 5*.

Кривые деформирования образцов сильвинита под нагрузкой на *рисунке 5* наглядно свидетельствуют, что длительное нахождение сильвинита в насыщенных растворах не вызывает его растворения (см. *рис. 4 а, в, д*), но приводит к существенному изменению характера деформирования и разрушения образцов под нагрузкой на одноосное сжатие. При этом прочность образцов на одноосное сжатие снижается практически на 24-25%, а модуль деформаций — на 22-28%.

Диаграммы на *рисунке 6* указывают на снижения модуля деформаций и рост процессов ползучести под нагрузкой на нисходящей ветви нагружения. Это свидетельствует об увеличении риска деформирования целиков, представленных соляными породами, после отработки камер первой очереди и гидрозакладки.

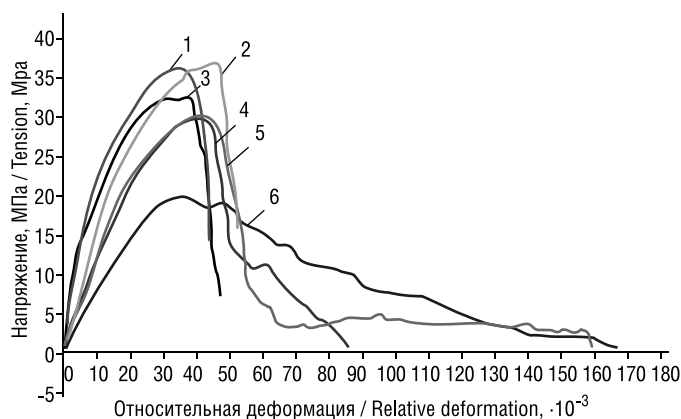


Рис. 5. Совмещенные диаграммы деформирования образцов сильвинита под нагрузкой до (1-3) и после погружения (4-6) в гидрозакладочные рассолы на 36 сут. /

Fig. 5. Combined deformation diagrams of sylvinitic samples under load before (1-3) and after immersion (4-6) in hydrofill brines for 36 days

Исследования характера изменения прочностных и деформационных свойств карналлита не позволили установить соответствующие закономерности в принятых условиях эксперимента. На *рис. 7* наглядно видно, что монолитный образец карналлита после выдерживания в модельном гидрозакладочном рассоле полностью разрушается. Это вполне прогнозируемо, так как ввиду ведения очистных работ только по сильвинитовому пласту, такие гидрозакладочные рассолы не насыщены по магнию. Вместе с тем, наличие подстилающего карналлитового пласта под сильвинитовым, влечет риск проникновения гидрозакладочных рассолов по трещинам и разупрочнения карналлитовых пород. В практическом приложении это означает необходимость создания отдельного контура гидрозакладочных рассолов, насыщаемых, в том числе, по магнию.

Завершающие испытания образцов сильвинита на сжатие были проведены по истечению 58 суток после размещения их в модельном гидрозакладочном рассоле. Дальнейшего увеличения влажности образцов не зафиксировано. Во всех слу-

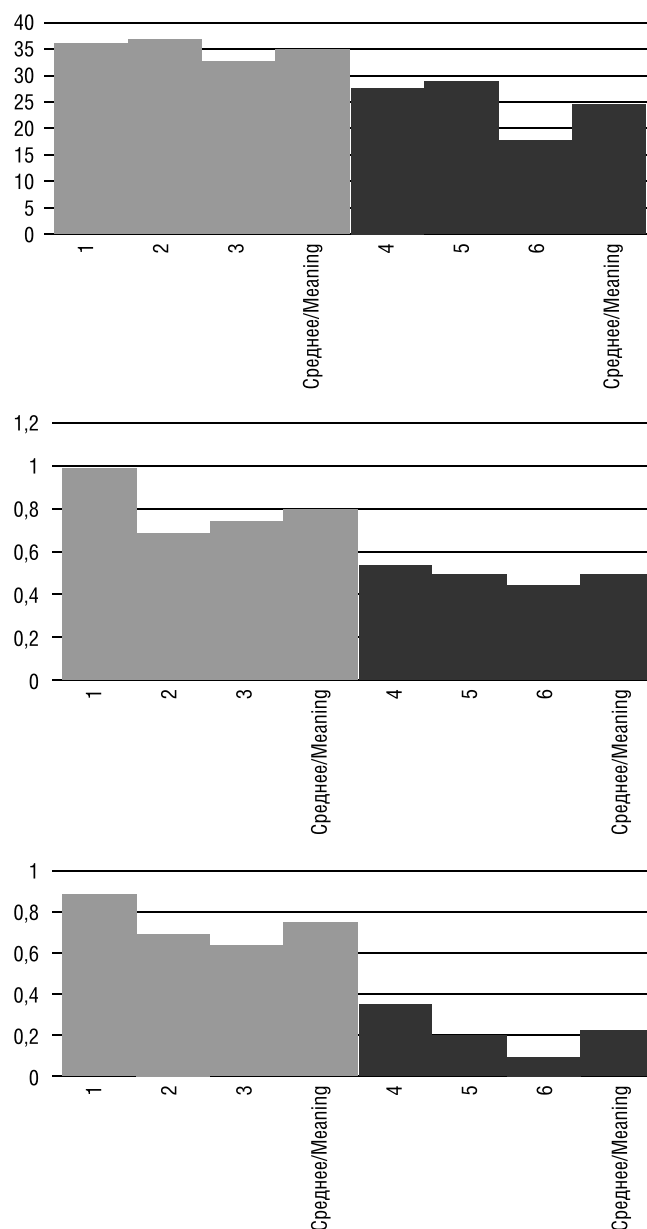


Рис. 6. Совмещенные гистограммы прочностных и деформационных характеристик образцов сильвинита под нагрузкой до (№№1-3) и после погружения в гидрозакладочные рассолы (№№4-6) на 36 сут., где: а) предел прочности на одноосное сжатие; б) модуль деформации; в) модуль схода / Fig. 6. Combined histograms of strength and deformation characteristics of sylvinitic samples under load before (№№1-3) and after immersion in hydrofill brines (№№4-6) for 36 days, where: а) uniaxial compressive strength; б) modulus of deformation; в) modulus of recession

чаях она не превысила 0,27%. Диаграммы деформирования образцов под нагрузкой приведены на *рисунке 8, а, б*. На 58 суток контакта с рассолом прочность образцов снизилась в среднем в 2 раза от исходной, образец карналлита вовсе растворился. В образце сильвинита, отобранного из скв. 546, предел прочности на сжатие снизился до 16 МПа, а со скважины 530 — до 18 МПа. Образец скв. 552.1 был выбракован, ввиду механических повреждений.

На основании выполненных исследований сделан вывод о том, что при гидравлической закладке выработанного пространства ввиду контакта насыщенных по калию и натрию гидрозакладочных рассолов будет происходить снижение

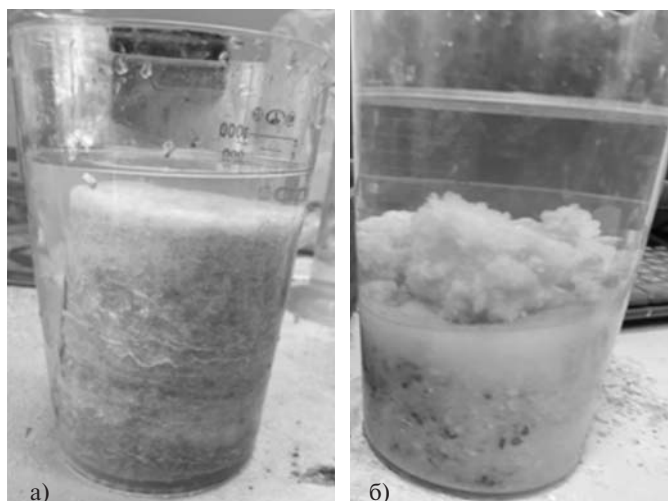


Рис. 7. Внешний вид образцов карналлитовых пород, выдержанных в рассоле в течении 7 (а) и 58 суток (б) /

Fig. 7. Appearance of carnallitic rock samples aged in brine for 7 days (a) and 58 days (b)

прочности приконтурной части целиков и в почве дренажных выработок. Распространение зоны снижения прочности в соляном массиве требует дополнительной оценки, поскольку режим насыщения горного массива по одной плоскости и режим насыщения образца, полностью погруженного в раствор различны.

Процессы снижения прочностных и деформационных характеристик могут оказаться весьма весомыми факторами роста риска аварийных ситуаций, связанных с повышенным скоростями деформирования целиков под нагрузкой, пучением пород почвы.

Для снижения рисков аварийных ситуаций при ведении горных работ необходимо изыскание технологий ведения закладочных работ, обеспечивающих высокую полноту заполнения камер закладочными смесями, характеризующимися, преимущественно, отсутствием рассолоотдачи. Для этого перспективно рассмотрение варианта приготовления закладочных смесей с требуемыми характеристиками с применением подземных передвижных закладочных комплексов [13-15].

Закключение

В лабораторном эксперименте установлен факт снижения прочности образцов сильвинитовых пород на одноосное сжатие — на 36 сутки, выдержанные в рассоле прочность образцов, снижается на 24-25%, модуль деформации — на 22-28%. На 56 сутки предел прочности на сжатие образца снизился в среднем еще в 2 раза по сравнению с исходными образцами.

Показано, что при ведении гидрозакладочных работ с применением насыщенных по калию и натрию гидрозакладочных рассолов происходит снижение прочности сильвинита в приконтурной части целиков и почве дренажных выработок. Снижение прочностных и деформационных характеристик может повлечь рост риска аварий на подземном руднике. В частности, в условиях высокого значения горизонтальных напряжений будут интенсифицироваться процессы пучения пород почвы транспортных выработок. Попа-

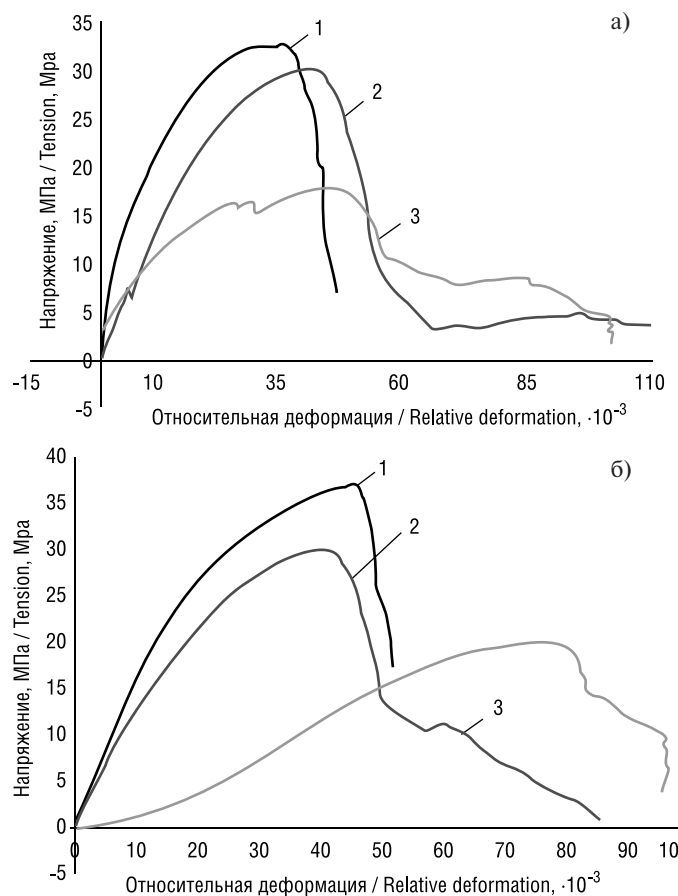


Рис. 8. Характер разрушения образцов сильвинита скв. 546 (а) и скв. 530 (б): 1) в воздушно-сухом состоянии; 2) после погружения в гидрозакладочные рассолы на 36 сут.; 3) после погружения в гидрозакладочные рассолы на 58 сут. Fig. 8. Fracture character of sylvinitic samples from well 546 (a) and well 530 (b): 1) in air-dry condition; 2) after immersion in hydrofill brines for 36 days; 3) after immersion in hydrofill brines for 58 days

дание таких рассолов в подстилающий карналлитовый пласт влечет риск разрушения карналлита, являющегося потенциально опасным по газодинамическим явлениям. Для снижения риска развития этих негативных процессов следует исключить влагоотдачу из закладочного массива и сократить до минимума, исходя из технологических возможностей, срок стояния отработанных камер с открытым выработанным пространством до заполнения его закладочным массивом требуемой прочности, желательно под кровлю.

Экспериментальные исследования характера и последствий взаимодействия соляных пород с гидрозакладочными рассолами при подземной разработке месторождений калийных солей позволяет обосновать новое направление ведения закладочных работ на основе формирования консолидированных закладочных массивов, характеризующихся отсутствием рассолоотдачи. В практическом приложении это означает уменьшение риска, снижением прочностных и деформационных характеристик целиков и пород почвы горных выработок на калийных рудниках. И, в целом, снижение скоростей деформирования налегающих пород водо-защитной толщи. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Закладочные работы на верхнекамских калийных рудниках: Справочник / Б. А. Борзаковский, Л. М. Папулов. - Москва: Недра, 1994. - 234 с.
2. Барях А.А., Смирнов Э.В., Квиткин С.Ю., Тенисон Л.О. Калийная промышленность России: проблемы рационального и безопасного недропользования // Горная промышленность. 2022. № 1. С. 41-50. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1-41-50.
3. Зильбершмидт, В.Г. Разрушение соляных пород / В.Г. Зильбершмидт, В.В. Зильбершмидт, О.Б. Наймарк. - М.: Наука, 1992
4. Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф. Ангидритовые композиции, модифицированные ультрадисперсной добавкой на основе MgO // Строительные материалы. 2012. №7. С.17-19.
5. Чистяков А.Н. Применение закладки на калийных рудниках // ГИАБ. 2009. №10. С. 203-207.
6. Даумантас, Э.П. Исследование растворимости, гидратации и твердения ангидрита: автореферат дис. ... канд. техн. наук. / Э.П. Даумантас. - Каунас, 1965. - 18 с.
7. Хайрулдинова В.Н. Обоснование закладки выработанного пространства сульфидсодержащими отходами обогащения с использованием гель-технологии [дис. ... канд. техн. наук]. М.; 2004. 115 с.
8. Романов, В.С. Определение радиуса камер выщелачивания при разработке соляных залежей через буровые скважины / В.С. Романов // Тр. ВНИИГ. - Л., 1967. - Вып. 53.
9. Проскуряков Н. М., Пермьяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. Л.: Недра; 1973. 272 с.
10. Сивоконь, Е.П. Исследование влияния закладки на устойчивость междукammerных целиков калийных рудников: дис. канд. техн. наук / Е.П. Сивоконь; ЛГИ. - Л., 1966.
11. Константинова С.А., Лужецкая Н.Д. Влажность каменной соли в окрестности выработок околоствольных дворов Верхнекамских калийных рудников // Изв.вузов. Горн. журн. 1980. № 4.
12. T. Pinkse, R. Quensel, D. Lack, R. Zimmermann, T. Fliss, H. Scherzberg, H. Marx, S. Niessing, S. Deppe, M. Eichholtz, L. Waldmann. Introducing a New Approach for the Stowage of Waste Brines from Potash Mines of the Werra District in Germany as a Measure to Ensure the Safe and Sustainable Continuation of Potash Extraction and Processing.
13. Каплунов Д.Р., Рылникова М.В., Радченко Д.Н., Корнеев Ю.В. Передвижные закладочные комплексы в системах разработки рудных месторождений с закладкой выработанных пространств // Горный журнал. 2013. № 2. С. 101-104.
14. Каплунов Д.Р., Рылникова М.В., Радченко Д.Н. [и др.]. Инновационные технологии ликвидации пустот с применением передвижных закладочных комплексов // Маркшейдерский вестник. 2011. № 6(86). С. 5-9.
15. Каплунов Д.Р., Рылникова М.В., Радченко Д.Н., Зверев А.П. Значение, результаты испытаний и перспективы применения передвижных закладочных комплексов при подземной разработке рудных месторождений // Маркшейдерский вестник. 2013. № 1(93). С. 14-17.

REFERENCES

1. Backfilling work at the Verkhnekamsk potassium mines: Directory / B. A. Borzakovsky, L. M. Papulov. - Moscow: Nedra, 1994. - 234 p.
2. Baryakh A.A., Smirnov E.V., Kvitkin S.Yu., Tenison L.O. Potassium industry of Russia: problems of rational and safe subsoil use. Mining industry. 2022. No. 1. P. 41-50. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1-41-50.
3. Zilbershmidt, V.G. Destruction of salt rocks / V.G. Zilbershmidt, V.V. Zilbershmidt, O.B. Naimark. - M.: Nauka, 1992
4. Tokarev Yu.V., Yakovlev G.I., Buryanov A.F. Anhydrite compositions modified with an ultrafine additive based on MgO. Construction materials. 2012. No. 7. P.17-19.
5. Chistyakov A.N. Application of backfill in potash mines. GIAB. 2009. No. 10. pp. 203-207.
6. Daumantas, E.P. Study of solubility, hydration and hardening of anhydrite: abstract of thesis. ...cand. tech. Sci. / E.P. Daumantas. - Kaunas, 1965. - 18 p.
7. Khairutdinova V.N. Justification for backfilling mined-out space with sulfide-containing enrichment waste using gel technology [diss. ...cand. tech. Sciences]. M.; 2004. 115 p.
8. Romanov, V.S. Determination of the radius of leaching chambers when developing salt deposits through drill holes / V.S. Romanov // Tr. VNIIG. - L., 1967. - Issue. 53.
9. Proskuryakov N.M., Permyakov R.S., Chernikov A.K. Physico-mechanical properties of salt rocks. L.: Nedra; 1973. 272 p.
10. Sivokon, E.P. Study of the influence of backfill on the stability of interchamber pillars in potash mines: dis. Ph.D. tech. Sciences / E.P. Sivokon; LGI. - L., 1966.
11. Konstantinova S.A., Luzhetskaya N.D. Humidity of rock salt in the vicinity of workings near the shaft yards of the Verkhnekamsk potassium mines. Izvestia vuzov. Horn. magazine 1980. No. 4.
12. T. Pinkse, R. Quensel, D. Lack, R. Zimmermann, T. Fliss, H. Scherzberg, H. Marx, S. Niessing, S. Deppe, M. Eichholtz, L. Waldmann. Introducing a New Approach for the Stowage of Waste Brines from Potash Mines of the Werra District in Germany as a Measure to Ensure the Safe and Sustainable Continuation of Potash Extraction and Processing.
13. Kaplunov D.R., Rynnikova M.V., Radchenko D.N., Korneev Yu.V. Mobile stowing complexes in ore deposit development systems with backfilling of mined-out spaces. Mining Journal. 2013. No. 2. P. 101-104.
14. Kaplunov D.R., Rynnikova M.V., Radchenko D.N. [and etc.]. Innovative technologies for eliminating voids using mobile filling complexes. Mine Surveyor Bulletin. 2011. No. 6(86). pp. 5-9.
15. Kaplunov D.R., Rynnikova M.V., Radchenko D.N., Zverev A.P. Significance, test results and prospects for the use of mobile stowing complexes in underground mining of ore deposits. Mine Surveyor Bulletin. 2013. No. 1(93). pp. 14-17.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ



Радченко Дмитрий Николаевич:
кандидат технических наук,
доцент,
заведующий лабораторией,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: mining_expert@mail.ru



Бергер Роман Владимирович:
кандидат технических наук,
директор по производству,
«ЕвроХим-ВолгаКалий»,
Котельниково, Россия



Татарников Валентин Игоревич:
аспирант,
отдел теории проектирования освоения недр,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: tatarnikov_v@ipkonran.ru



Зубков Павел Олегович:
аспирант,
отдел теории проектирования освоения недр,
ИПКОН РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: zubkov_p@ipkonran.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Radchenko Dmitry Nikolaevich:
PhD (technical sciences),
associate professor,
Head of Laboratory,
IPCON RAS,
Moscow, Russia,
e-mail: mining_expert@mail.ru

Roman Vladimirovich Berger:
PhD,
Production Director,
EuroChem-VolgaKaliy,
Kotelnikovo, Russia

Tatarnikov Valentin Igorevich:
Postgraduate student,
Department of Theory of Subsoil Development Design,
IPCON RAS,
Moscow, Russia,
e-mail: tatarnikov_v@ipkonran.ru

Zubkov Pavel Olegovich:
postgraduate student,
Department of Theory of Subsoil Development Design,
IPCON RAS,
Moscow, Russia,
e-mail: zubkov_p@ipkonran.ru

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА / CONTRIBUTION: Вклад авторов в написание статьи равнозначен / The contribution of the authors to the writing of the article is equivalent.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МУЗЕЙ ИМ. В.И.ВЕРНАДСКОГО



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
МУЗЕЙ
ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО

Первая партия минералов поступила в коллекцию музея в 1755 году от горнопромышленников Демидовых. Коллекции музея служили учебным пособием для студентов Московского университета (1759—1930) и Московского геологоразведочного института (1930—1988).
В 1988 году музей был создан в результате объединения учебных музеев МГРИ.
Музей проводит тематические выставки и экскурсии, циклы лекций, викторины, научные конференции и другие мероприятия для посетителей.
Адрес: г. Москва, Моховая ул., д. 11, стр. 11
ст. м. «Охотный ряд»
+7 (495) 692-09-43
E-mail: info@sgm.ru <https://sgm.ru>

WWW.N-GN.RU

