

УДК: 622.27:553.632

Заиров Шерзод Шарипович

доктор технических наук,
профессор кафедры «Горное дело»,
Навоийский государственный горный институт,
Республика Узбекистан, г. Навои
e-mail: sher-z@mail.ru

Каримов Ёкуб Латипович

заведующий кафедрой «Горное дело»,
Каршинский инженерно-экономический
институт,
Республика Узбекистан, г. Карши
e-mail: karimov_6613@mail.ru

Латипов Зухриддин Ёкуб угли

старший преподаватель
кафедры «Горное дело»,
Каршинский инженерно-экономический
институт
e-mail: karimov_6613@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО
ПРОЦЕССА ЗАКРЕПЛЕНИЯ СОЛЕВЫХ
ОТХОДОВ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ
КОМПЛЕКСЕ ДЕХКАНАБАДСКОГО
ЗАВОДА КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ****Аннотация:**

Детальным изучением сущности, особенностей и практических возможностей методов и способов закрепления солевых отходов, отличающихся химическим составом, физико-механической и геотехнологическими характеристиками, установлено, что наиболее подходящим методом для закрепления солевых отходов Тубегатанского калийного месторождения является химический метод – метод силикатизации однорастворным способом с добавками отвердителей, близких по природе и происхождению обрабатываемого солевого отхода веществ.

На основании проведенных аналитико-расчетных и экспериментальных исследований процессов закрепления солевых отходов закрепителем подобран раствор силиката натрия с исходными данными $\rho=1,45-1,50$ г/см³, силикатным модулем 3,0 – 3,5 и отвердителями – бентонитом и низкосортным фосфоритом ($P_2O_5 < 9,0\%$) тонкой измельченности. Оптимальными параметрами предлагаемых закрепляющих смесей являются раствор силиката натрия $\rho=1,2$ г/см³, $\eta=3-5$ МПа·с, с силикатным модулем 2,5 – 2,8, температурой от 5 до 30 °С. Содержание добавок в подобранной первой рецептуре 1,0 – 1,2 % бентонита, во второй – от 2 до 5 % низкосортного фосфорита ($P_2O_5 \leq 9\%$).

На основе имеющихся математических выражений с учетом геотехнологических и физико-химических характеристик закрепляемого слоя солевого отхода определен объем, а также расход раствора-закрепителя для закрепления 1 м³ песка. Установлена скорость, схема 1 + 3 → 2 + 4 нагнетания закрепляющего раствора: четырехточечно-парная, диагонально-последовательная.

По результатам теоретических, лабораторных и опытно-промышленных исследований процесса закрепления солевых отходов разработан способ, рецептура, проект и план мероприятий проверки качества работы и техники безопасности осуществления химического способа закрепления солевых отходов Тубегатанского калийного месторождения.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.03.040

Zairov Sherzod Sh.

Doctor of Engineering Sciences,
Professor, Department of Mining,
Navoi State Mining Institute
e-mail: sher-z@mail.ru

Karimov Yokub L.

Head of Department of Mining,
Karshi Engineering
and Economic Institute
e-mail: karimov_6613@mail.ru

Latipov Zuhrididin Yo.

Senior Lecturer
of the Department of Mining,
Karshi Engineering
and Economic Institute
e-mail: karimov_6613@mail.ru

**STUDY OF THE CHEMICAL PROCESS
OF FIXING SALT WASTE
IN THE MINING COMPLEX
OF THE DEHKANABAD POTASH
FERTILIZER PLANT****Abstract:**

A detailed study of the essence, features and practical possibilities of existing modes and methods for fixing salt waste that differ in chemical composition, physical and mechanical as well as geotechnological characteristics has established, that the most suitable method for fixing salt waste from the Tyubegatan potash deposit is a chemical method – the method of silicatisation by a single solution method with additives of hardeners similar in nature and origin to the processed salt waste substances.

Based on the analytical, computational and experimental studies of the processes of fixing salt waste, a sodium silicate solution with initial data $\rho=1.45-1.50$ g/cm³, a silicate module of 3.0 – 3.5 and hardeners – bentonite and low grade phosphorite ($P_2O_5 < 9,0\%$) of fine grinding was selected as a fixative. The optimal parameters of the proposed fixing mixtures are: sodium silicate solution $\rho=1.2$ g/cm³, $\eta=3-5$ MPa·s, silicate modulus 2.5 – 2.8, temperature from 5 to 30 °C. Content of additives selected in the first recipe of 1.0 – 1.2 % bentonite, and the second from 2 to 5 % of low-grade phosphate ($P_2O_5 \leq 9\%$).

On the base of mathematical expressions and given geotechnical and physical and chemical characteristics of the fixed layer of the salt waste, we have determined volumes and the solution flow rate-fixer for fixing 1 m³ of sand. We estimated the speed, the scheme of 1 + 3 → 2 + 4 injection of the fixing solution: four-point-paired, diagonal-sequential.

Based on the results of theoretical, laboratory and pilot studies of the process of salt waste fixing, we developed the method, the recipe, the project and the action plan for checking the quality of work and safety of implementing a chemical method for fixing salt waste of the Tyubegatan potash deposit.

Ключевые слова: Тюбегатанское калийное месторождение, солеотвал, солеотход, Дехканабадский завод калийных удобрений, негативное воздействие на окружающую среду, химический способ закрепления солевых отходов, проект химического закрепления, прочность закрепленного солевого отхода от плотности раствора силиката натрия, модуль силиката натрия.

Key words: Tyubegatan potash deposit, salt dump, salt waste, Dehkanabad potash fertilizer plant, negative impact on the environment, chemical method of fixing salt waste, chemical fixing project, strength of the fixed salt waste from the density of the sodium silicate solution, modulus of sodium silicate.

Введение

В мире калийные удобрения получают в основном из руды, и они позволяют получить высокие урожаи, восполняя нехватку калия в растениях [1].

Калийные руды добываются в основном в Канаде, России, Беларуси, Бразилии, Китае, Германии, США, Туркмении и других странах. Среди месторождений, разрабатывающих калийные руды, наиболее крупными по запасам являются Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит», Россия) и Саскачеванский соленосный бассейн (Канада), на долю которых приходится 82,2 % учтенных мировых запасов K_2O , а также месторождения калийных солей в Германии, Старобинское месторождение калийных солей (Белоруссия) [2].

Добыча и переработка калийных руд сопровождается образованием огромного количества солевых отходов. Так, только на солеотвалах и в хвостохранилище Тюбегатанского месторождения калийных солей (Узбекистан) к настоящему времени накоплено более 6 млн т солевых отходов. Основная часть этих солевых отходов в перспективе считается сырьем для переработки горно-химической промышленности, и они являются источником загрязнения окружающей среды, засоления природных экосистем и земной поверхности. В результате происходят загрязнение окружающей среды, засоление природных экосистем и земной поверхности.

Одним из перспективных направлений предотвращения засоления и минимизации воздействия на окружающую среду является рациональное использование внешнего пространства и применение физико-химического процесса закрепления солевых отходов.

Основная часть

Экологические проблемы при добыче калийных руд и пути снижения негативного воздействия отходов калийных руд на окружающую среду подробно описаны в работах [3 – 19]. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что при добыче калийных руд необходимо производить работы так, чтобы формируемые новые ландшафты, солеотвалы, хвостохранилища и др. могли в дальнейшем использоваться с максимальным эффектом и низким воздействием на окружающую среду. Одним из путей решения проблемы сокращения отрицательного воздействия на окружающую среду размещаемых на дневной поверхности солеотходов является увеличение емкости и высоты солеотвалов без расширения площади его основания и внедрение рекультивационных работ с изоляцией поверхности солеотвалов.

В Республике Узбекистан калийные удобрения производятся в горнодобывающем комплексе Дехканабадского завода калийных удобрений Тюбегатанского калийного месторождения, введенного в эксплуатацию в июле 2010 г. с производственной мощностью 1200 тыс. т сильвинитовой руды в год при содержании KCl в руде 27 % [20].

На Тюбегатанском горнодобывающем комплексе используется камерно-столбовая система разработки при добыче калийных солей [21, 22]. При этом основными экологически значимыми источниками являются

- образование газо-воздушных смесей в процессе проветривания;

- газовыделение в отработанных выработках, включая отработанные пустые и некондиционные горные породы;
- стоки пластовых вод, насыщенные различными солями;
- геодинамические активные зоны на площади участка первоочередной отработки рудника;
- участки предварительной подготовки исходной забойной руды;
- объекты складирования и хранения усредненной руды, отвалы пустых пород и хвостохранилища отходов переработки сильвинита;
- подземные и наземные погрузочно-выгрузочные участки исходной и дробленой руды;
- отвалы горной и пустой породы шахты;
- хвостохранилища галитовых отходов;
- конвейерный и автомобильный транспорт дробленого сильвинита;
- околоствольная площадь выброса отработанного шахтного воздуха;
- агрессивность и абразивность аэрозольных газо-воздушных смесей;
- участки усреднения и временного хранения дробленого сильвинита;
- другие [23, 24].

Указанные источники существуют на Тюбегатанском горнодобывающем комплексе уже с 2007 г. В табл. 1 приведены некоторые характеристики экологически значимых опасных источников.

На рис. 1 – 3 приведены вентиляционный ствол выброса шахтной газовой смеси, отвалы горных пород добычи руды и хвостохранилища отходов переработки сильвинита, участок предварительной подготовки горных пород и участок складирования и хранения усредненной сильвинитовой руды на территории Тюбегатанского горнодобывающего комплекса.

Из рудника Тюбегатанского горнодобывающего комплекса добывается более 700 тыс. т сильвинита, выводится на дневную поверхность и вывозится автотранспортом на расстояние 50 км до Дехканабадского перерабатывающего завода. Оттуда после переработки возвращаются галитовые отходы. Галитовые отходы состоят до 80 – 85 % из NaCl и других соединений. При этом в отвал выбрасывается более 400 тыс. т поваренной соли.

На сегодняшний день в руднике Тюбегатанского горнодобывающего комплекса, кроме изменения в химическом составе поверхностных и подземных вод, наблюдается интенсивное засоление почв в зонах воздействия солеотвалов, что вызывает трансформацию видового состава растительности. В связи с этим особую актуальность приобретают способы предотвращения и минимизации засоления почв за счет закрепления поверхности солевых отходов закрепляющими растворами.

В процессе физико-химического закрепления солеотходов силикатный раствор, имеющий небольшую вязкость (2 – 3 МПа·с), хорошо проникает в грунт. В результате происходит реакция раствора силиката натрия с солевыми отходами и выделяющаяся пленка геля кремниевой кислоты цементирует грунт. Таким образом, роль второго раствора (коагулянта силикатного раствора) в данном случае выполняет сам отход [25].

При соприкосновении раствора с грунтом в результате химической реакции на солевых отходах резко образуется гелевая пленка кремниевой кислоты толщиной несколько микрометров, благодаря чему нагнетаемый раствор проходит легко. Через некоторое время происходит более интенсивный процесс гелеобразования и водопроницаемость солевого отхода резко уменьшается благодаря закупорке капилляров гелем кремниевой кислоты. Толщина пленки геля кремниевой кислоты хоть и имеет малую толщину, но ее все-таки достаточно, чтобы сохранить солевой отход в ненарушенном состоянии. К тому же солевой отход немного набухает. Затем, примерно через 1 – 3 суток, весь раствор, находящийся в солевом отходе, переходит в гелеобразное состояние.

Таблица 1

**Характеристики экологически значимых опасных источников
в Тюбегатанском горнодобывающем комплексе**

Источник	Объект	Период образования	Внешний вид
Образование газо-воздушных смесей в процессе проветривания	Смесь воздуха, продуктов дыхания, запах, потение, газообразные выделения, взвешенные аэрозольные частицы	2008	Газообразные
Газовыделение в отработанных выработках, включая пустые и некондиционные горные породы	Газообразные выделения (органические соединения и другие)	2010	Газообразные
Стоки пластовых вод, насыщенные различными солями	Рассолы и пресные воды	2010	Жидкие или пастообразные
Геодинамические активные зоны на площади участка первоочередной отработки рудника	Псевдопластичные соляные пласты	С периода образования рудника	Псевдотвердые породы
Участки предварительной подготовки исходной забойной руды	Выкропленные и дробленые сильвиниты	2010	Твердые горные породы
Объекты складирования и хранения усредненной руды, отвалы пустых пород и хвостохранилища отходов переработки сильвинита	Дробленые сильвиниты	2010	Твердые горные породы
Подземные и наземные погрузочно-выгрузочные участки исходной и дробленой руды	Дробленые сильвиниты	2008	Твердые горные породы
Отвалы горной и пустой породы шахты	Горные породы	2007	Твердые горные породы
Хвостохранилища галитовых отходов	Шламовые отходы	2010	Псевдотвердые отходы
Конвейерный и автомобильный транспорт дробленого сильвинита	Выветренные горные породы	2010	Мелкие взвешенные частицы сильвинитовой руды
Околоствольная площадь выброса отработанного шахтного воздуха	Смесь воздуха, продукты дыхания, газообразные выделения, взвешенные аэрозольные частицы, загрязненная почва, открытые водные емкости	2008	Газообразные, жидкие, шламы, грунтовые смеси
Агрессивность и абразивность аэрозольных газо-воздушных смесей	Химически активные ионы и катионы солей, мелкие твердые частицы горных пород	2010	Газообразные, пылевидные горные породы
Участки усреднения и временного хранения дробленого сильвинита	Выветренные горные породы Смывные рассолы	2010	Взвешенные мелкие частицы горных пород и солей, солевые рассолы и шламовые грязи
Другие	По определению		Устанавливается по месту



Рис. 1. Околоствольный ствол площади вентиляционного выброса шахтной газо-воздушной смеси



Рис. 2. Отвалы горных пород добычи руды и хвостохранилища отходов переработки сильвинита на территории Тюбегатанского горнодобывающего комплекса



Рис. 3. Участок предварительной подготовки горных пород, складирования и хранения усредненной сильвинитовой руды

В дальнейшем идут непрерывное увеличение толщины пленки и возрастание прочности закрепленного солевого отхода. Переход инъецированного в солевой отход раствора в гель в основном происходит в первые 3 суток. Упрочнение же пленки геля весьма интенсивно происходит в течение 15 суток и полностью заканчивается через 28 суток. Поэтому последний принимается как лимитирующий срок гелеобразования.

Что касается химических процессов, которые происходят при закреплении солевого отхода, то на основании исследований, проведенных при разработке двухрастворного способа силикатизации, учитывая тождество реагентов, можно считать, что при взаимодействии силикатного раствора с находящимися в солевом отходе солями происходит частичная реакция, которую можно представить в следующем виде:



Как видим, в результате образуются гель кремниевой гидроксид кальция и сернокислый натрий. Образование геля кремниевой кислоты в настоящее время после указанных исследований с применением рентгеноскопии и микроскопии является твердо установленным и не подлежит сомнению.

Для изучения причин и характера коагуляции силикатного раствора при соприкосновении с соевым отходом были проведены специальные опыты на чистых солях (CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и др.) и на образцах солевого отхода.

На основании данных сделано заключение:

– скорость коагуляции силикатных растворов и образование пленок геля SiO_2 на солях зависят от трех факторов: концентрации раствора силиката натрия, количества и качества солей, имеющих в солевом отходе. Пленкообразование при взаимодействии раствора силиката натрия с сернокислым кальцием замедляется с увеличением концентрации силикатного раствора, что объясняется уменьшением растворимости реагирующей соли при увеличении концентрации силиката. Толщина пленки при использовании силиката натрия 10-, 20- и 30-процентной концентрации составляет, соответственно, 40, 20 и 10 мкм;

– в отношении коагуляции силикатных растворов в грунтовых условиях наибольшее значение имеют сернокислые соли Ca^{+2} и Mg^{+2} как наиболее растворимые соединения по сравнению с углекислым Са, который является почти инертным.

Кроме образования геля кремниевой кислоты и гидрата извести в поглощающем комплексе солевого отхода происходят обменные реакции, в результате которых в щелочной среде образуются вторичные продукты. Поэтому прочность закрепленного солевого отхода в значительной степени зависит от величины емкости поглощения солевого отхода в естественном состоянии, что выражается в моль на 100 г сухого солевого отхода, в щелочном растворе.

Для закрепления солевых отходов Тюбегатанского калийного месторождения разработан метод и технология силикатизации однорастворным способом с добавками отвердителей, близких по природе и происхождению обрабатываемому солевому отходу веществ.

На основании проведенных аналитико-расчетных и экспериментальных исследований процессов закрепления солевых отходов закрепителем подобран раствор силиката натрия с исходными данными $\rho = 1,45 - 1,50 \text{ г/см}^3$, силикатным модулем 3,0 – 3,5 и отвердителями – бентонитом и низкосортным фосфоритом ($\text{P}_2\text{O}_5 < 9,0 \%$) тонкой измельченности. Оптимальными параметрами предлагаемых закрепляющих смесей являются раствор силиката натрия $\rho = 1,45 - 1,50 \text{ г/см}^3$, $\eta = 3 - 5 \text{ МПа} \cdot \text{с}$, с силикатным модулем 2,5 – 2,8, температурой от 5 до 30 °С. Содержание добавок в подобранной первой рецептуре 1,0 – 1,2 % бентонита, во второй – от 2 до 5 % низкосортного фосфорита ($\text{P}_2\text{O}_5 \leq 9 \%$).

Приготовленный закрепляющий раствор в солевые отходы необходимо «внедрять» методом распыления. На основе имеющихся математических выражений с уче-

том геотехнологических и физико-химических характеристик закрепляемого слоя солевого отхода определен объем, а также расход раствора-закрепителя для закрепления 1 м³ песка. Установлена технологическая схема 1 + 3 → 2 + 4 и скорость нагнетания закрепляющего раствора по схемам: четырехточечно-парная, диагонально-последовательная.

На основании полученных результатов установлено, что на время гелеобразования, скорость проникновения раствора и прочность закрепления солевых отходов влияют плотность и кальциевый модуль закрепляющего раствора, а также пористость и коэффициент фильтрации закрепляемого солевого отхода.

Опытно-промышленные работы осуществлялись на отвалах и хвостах Тюбегатанского калийного месторождения с целью уточнения основных параметров закрепления и обработки технологии производства работ.

Проект химического закрепления на опытном участке содержал:

- 1) план расположения галиитового отхода на этом участке;
- 2) разрез с указанием инженерно-геологического строения площадки;
- 3) технологическую схему инъекционного оборудования;
- 4) нормы расхода материалов для закрепления 1 м³ солевого отхода;
- 5) параметры инъекционных скважин;
- 6) данные об объемах работ, потребность в материалах для их выполнения;
- 7) перечень основного технологического оборудования с указанием его марок, типа, количества и т.п.;
- 8) подробные указания по производству работ.

На фрагмент ситуационного плана были нанесены все скважины опытного участка. Скважины располагались таким образом, что можно было определить параметры закрепления, которые будут рекомендованы в дальнейшем для проектирования.

Для составления проекта опытных работ были использованы инженерно-геологический разрез площадки, абсолютные отметки поверхности земли, отметки верхней и нижней границ закрепления и уровня грунтовых вод.

Нормы расхода химических реактивов на 1 м³ солевых отходов представляли в табличной форме с подробным указанием реагентов, основных их характеристик, единиц измерения и объемов.

Объем закрепляющего раствора на одну заходку определяли по следующей формуле [25]:

$$Q = n \cdot a \cdot l \cdot \pi r^2 = 39 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 3,14 \cdot (0,5)^2 = 184 \text{ л,}$$

где n – пористость грунта, %;

a – коэффициент, принимаемый равным: $a=4$ – для каждого раствора при двухрастворной силикатизации, $a=12$ – при однорастворной силикатизации, $a=10$ – при смолизации, $a=6-8$ при газовой силикатизации;

l – длина заходки, м;

r – радиус закрепления, м.

При нагнетании химического раствора в солевые отходы рекомендуется назначать расход в зависимости от коэффициента фильтрации с учетом времени гелеобразования и через перфорированное звено длиной 1 м. Ориентировочно расход принимали, руководствуясь следующими данными:

Коэффициент фильтрации, м/сут	0,3 – 1	1 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 80
Расход растворов, л/мин	1 – 2	2 – 5	1 – 2	2 – 3	3 – 5

Объем исходного раствора силиката натрия, который нужен с целью приготовления необходимого объема раствора рабочей концентрации, рекомендуется определять по следующей формуле [25]:

$$Q_{и} = [(\rho_p - 1) / (\rho_{и} - 1)] Q_p, \text{ л,}$$

где ρ_p – плотность раствора рабочей концентрации, г/см³;

$\rho_{и}$ – плотность исходного раствора силиката натрия, г/см³;

Q_p – объем раствора рабочей концентрации, л.

Расчет для 1 м³ массива:

$$Q_{и} = \frac{(1,2 - 1)}{1,49 - 1} \cdot 184 = 73,6 \text{ л.}$$

При химическом закреплении солевых отходов на всех его этапах проводят систематический контроль, и дается оценка по качеству выполненных работ.

Контроль качества работ по химическому закреплению солевых отходов был подразделен на текущий контроль в ходе выполнения работ и контрольные определения результатов силикатизации в соответствии с действующими нормами.

Текущий контроль в процессе силикатизации или смолизации на объектах включал надзор

1) за правильностью разбивки и за очередностью обработки скважин в плане и заходок по глубине;

2) за плотностью, температурой, силикатным модулем, наличием механических примесей и качеством применяемого раствора;

3) за давлением, расходом, режимом инъекции и объемом применяемого раствора;

4) за правильностью ведения журнала по закреплению солевых отходов, т.е. за соответствием производимой записи фактическим данным.

Контрольные определения результатов силикатизации в целях оценки их соответствия проекту выполняли после завершения работ по отдельным скважинам.

Качество закреплений солевых отходов проверяли путем бурения контрольных скважин с отбором образцов для лабораторных исследований и визуальным обследованием сплошности закреплений.

К вскрытию контрольных шурфов и контрольному бурению приступали не ранее чем через 7 суток после завершения инъекционных работ.

Число контрольных скважин составляло 3 – 5 % общего числа точек инъекции. Число шурфов назначали из расчета один на 5000 м³ закрепленного солевого отхода. Контрольное бурение осуществляли колонковым способом. Диаметр скважин составлял 127 – 150 мм. При бурении проводили тщательное описание извлекаемых образцов солевого отхода с визуальной оценкой качества закреплений и присутствия силикатного раствора по индикатору (фенолфталеину). Результаты контрольного бурения оформляли актом.

При вскрытии шурфов производили описание и отбор образцов закрепленных солевых отходов и оформляли акт с подробным описанием и зарисовкой характера закреплений и визуальной оценкой его качества.

Отобранные при бурении или из шурфа образцы закрепленного солевого отхода испытывали на прочность при сжатии.

Прочность закреплений определялась двумя способами:

– по реакции закрепленного солевого отхода на воздействие индикатора (фенолфталеина), что выражалась в интенсивности окраски грунта;

– по сопротивлению закрепленного солевого отхода прониканию заостренного предмета под воздействием усилия.

На рис. 4 приведена зависимость изменения прочности закрепленного солевого отхода от плотности раствора силиката натрия с применением солевого отхода 39 % (линия 1), солевого отхода пористостью 42 % (линия 2) и солевого отхода пористостью 44 % (линия 3).

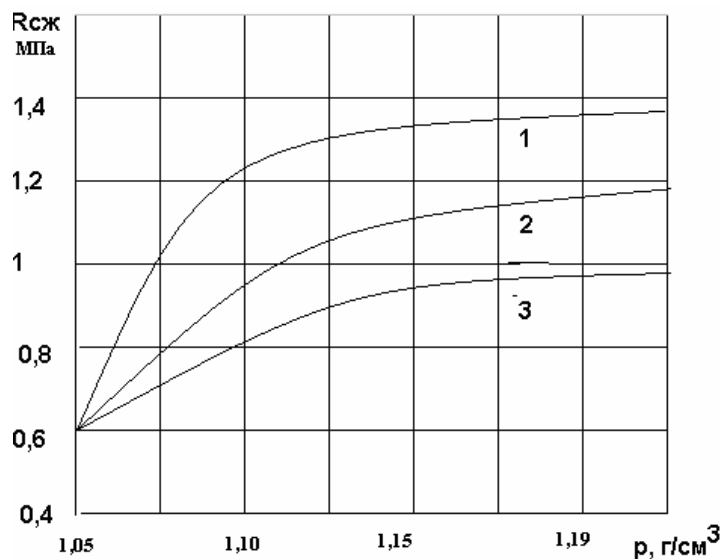


Рис. 4. Зависимость прочности закрепленного солевого отхода от плотности раствора силиката натрия:
1 – солевой отход с пористостью 39 %; 2 – солевой отход с пористостью 42 %;
3 – солевой отход с пористостью 44 %

Полученные зависимости показывают, что с увеличением плотности силиката натрия от 1,05 до 1,2 г/см³ прочность закрепленного солевого отхода возрастает. Исследованиями установлено, что для солевого отхода с пористостью 39 % при плотности раствора 1,1 г/см³ прочность закрепления солевого отхода увеличивается до 2,22 МПа. При дальнейшем увеличении плотности силиката натрия (более 1,16 г/см³) прочность закрепленного солевого отхода остается постоянной – 1,32 МПа. Для солевого отхода с пористостью 42 % при плотности раствора 1,19 г/см³ прочность закрепления солевого отхода увеличивается до 1,08 МПа. Для солевого отхода с пористостью 44 % при плотности раствора 0,95 г/см³ прочность закрепления солевого отхода увеличивается до 0,96 МПа.

Прочность солевого отхода, закрепленного силикатным раствором с плотностью от 1,30 до 1,20 г/см³, составляла в среднем 0,9 – 1,7 МПа (пористость солевого отхода равна 40 %).

Прочность образцов, закрепленных раствором с плотностью 1,20 – 1,15 г/см³ составляла в среднем 0,6 – 1,4 МПа (пористость солевого отхода равна 40 %).

Образцы, закрепленные силикатным раствором с плотностью ниже 1,15 г/см³, характеризовались прочностью 0,3 – 0,8 МПа (пористость солевого отхода равна 40 %).

На рис. 5 представлена зависимость изменения модуля силиката натрия от прочности закрепленного солевого отхода при различном времени отверждения закрепляющего состава. Исследованиями установлено, что с увеличением модуля силиката натрия от 2 до 2,8 прочность закрепления закрепленного солевого отхода увеличивается до 1,2 МПа при времени отверждения 2 ч. При дальнейшем увеличении модуля силиката натрия (2, 8 и более) прочность закрепленного солевого отхода снижается от 1,2 до 0,2 МПа.

Также установлено, что при времени отверждения 12 ч прочность закрепленного солевого отхода возрастает от 0,4 до 1,6 МПа. При дальнейшем увеличении модуля силиката натрия (2,8 и более) прочность закрепленного солевого отхода снижается от 2,8 до 0,4 МПа.

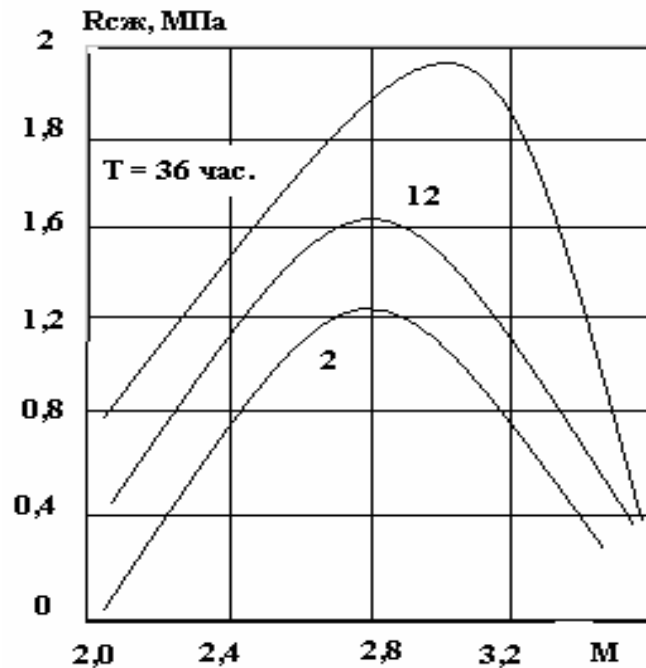


Рис. 5. Влияние модуля силиката натрия M на прочность закрепленного солевого отхода $R_{сж}$

Исследованиями установлено, что при отверждении раствора в течение 36 ч увеличивается модуль силиката натрия от 2 до 3, а прочность закрепленного солевого отхода возрастает от 0,8 до 2 МПа. При дальнейшем увеличении модуля силиката натрия (3 и более) прочность закрепленного солевого отхода снижается от 2,0 до 0,4 МПа.

Объемы работ и потребность в материалах для их выполнения учитывали при составлении проекта основных работ.

Заключение

На основании проведенных аналитико-расчетных и экспериментальных исследований процессов закрепления солевых отходов закрепителем подобран раствор силиката натрия с исходными данными $\rho = 1,45 - 1,50 \text{ г/см}^3$, силикатным модулем 3,0 – 3,5 и отвердителями – бентонитом и низкосортным фосфоритом ($P_2O_5 < 9,0 \%$) тонкой измельченности. Оптимальными параметрами предлагаемых закрепляющих смесей являются раствор силиката натрия $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$, $\eta = 3 - 5 \text{ МПа}\cdot\text{с}$, с силикатным модулем 2,5 – 2,8, температурой от 5 до 30 °С. Содержание добавок в подобранной первой рецептуре 1,0 – 1,2 % бентонита, во второй – от 2 до 5 % низкосортного фосфорита ($P_2O_5 \leq 9 \%$).

Приготовленный закрепляющий раствор в солевые отходы необходимо «внедрять» методом распыления. На основе имеющихся математических выражений с учетом геотехнологических и физико-химических характеристик закрепляемого слоя солевого отхода определен объем, а также расход раствора-закрепителя для закрепления 1 м³ песка. Установлена скорость, схема 1 + 3 → 2 + 4 нагнетания закрепляющего раствора: четырехточечно-парная, диагонально-последовательная.

По результатам теоретических, лабораторных и опытно-промышленных исследований процесса закрепления солевых отходов разработан способ, рецептура, проект и план мероприятий проверки качества работы и техники безопасности осуществления химического способа закрепления солевых отходов Тюбегатанского калийного месторождения. В результате внедрения разработанного химического способа закрепления солевых отходов снижено загрязнение окружающей среды на 22 %, а также уменьшено засоление природных экосистем и земной поверхности на 34 %, предотвращено

засоление и минимизировано воздействие на окружающую среду солевых отходов калийных руд.

Список литературы

1. Минеев В.Г., 2004. *Агрохимия*: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во МГУ, Изд-во Колоса, 720 с.
2. Васильев А.Л., 2016. *Технический прогресс в технологии развития закладочных работ на калийных рудниках*. Реферат по дисциплине «История и философия науки». Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 25 с.
3. Лапинская В.О. *Способы снижения засоления земель в районах разработки калийных месторождений*. URL: http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/Other/2014/eko/SE_2014/pages/Articles/Lapinskaaya.pdf (дата обращения: 01.07.2016).
4. Королев В.А., 1995. *Мониторинг геологической среды*: учебник / под редакцией В.Т. Трофимова. Москва: МГУ, 272 с.
5. Лискова М.Ю., 2017. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевого солей. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*, Т.16, №1, С. 82 - 88. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.
6. Бобошко А.Ю., Бачурин Б.А. Экологические проблемы верхнекамского калия. *Горное эхо*. URL: <http://ftp.mi-perm.ru/ge4-04/ge4-04-bach.htm> (дата обращения: 01.07.2016).
7. *Современные проблемы науки и образования. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира*. URL: <http://www.science-education.ru/106-7513> (дата доступа: 06.11.2014).
8. Галимзянов Д.Р., 2014. *Сложность эксплуатации выработок на калийных месторождениях*. Реферат по дисциплине «Проектирование метрополитенов». Екатеринбург, 12 с. URL: <https://megaobuchalka.ru/1/22450.html> (дата обращения: 25.07.2021)
9. Коса М., Bor M., Ozdemir F., Turkan I., 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 60, iss. 3, P. 344–351. 10.1016/j.envexpbot.2006.12.005.
10. Румянцева Е.И., 2017. Снижение экологической нагрузки на окружающую среду при добыче калийной соли в Пермском крае. *Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XI заочной международной научно-практической конференции* (Екатеринбург, 30-31 мая 2017 г.). Екатеринбург: УрФУ, С. 98 - 103.
11. *История и способы добычи соли*. URL: <http://promplace.ru/dobycha-i-obrabotka-poleznyhiskopaemyh/dobycha-soli-1496.htm> (дата обращения 15.03.2017).
12. ОАО «Белгорхимпром». Оценка экологических рисков в регионе освоения Старобинского месторождения калийных солей URL: <http://www.bmci.by/news4.html> (дата доступа: 04.11.2014).
13. Пат. №2273735 Российская Федерация, МПК E21C 41/30. *Способ изоляции солеотвалов на калийных рудниках*. Белкин В.В., Платыгин В.И., Кузнецов Н.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «Уралкалий». - № 2004122656, заявл. 23.07.2004, опубл. 10.04.2006 г, Бюл. № 10.
14. Пат. 2355887 Российская Федерация, МПК E21C 41/32. *Способ ликвидации солеотвалов на калийных рудниках*. Б.А. Крайнев, С.П.Дьяков, А.И.Шумахер, В.В.Белкин; заявитель и патентообладатель ОАО «Уралкалий». - № 2007132754, заявл. 30.08.2007, опубл. 20.05.2009, Бюл. 14.
15. Пат. 2128140 Российская Федерация, МПК B 65G 5/00. *Способ подземного складирования жидких отходов производств*. В.Н. Никофоров, Ю.С. Кузнецов и др.;

заявитель и патентообладатель ОАО «Запсибгазпром». - № 97100404, заявл. 15.01.1997, опубл. 27.03.1999.

16. Пат. 1270332 СССР, МПК E21 C 41/02. *Способ формирования солеотвалов*. В.П. Ильин, В.П. Клементьев и др.; заявитель и патентообладатель Белорусский филиал Всесоюзного научно-исследовательского и проектного института галургии. – № 3869994. заявл. 04.01.1985, опубл. 15.11.1986, Бюл. 42.

17. Пат. 2273735 Российская Федерация, МПК E 21C 41/30. *Способ изоляции солеотвалов на калийных рудниках*. В.В. Белкин, В.И. Платыгин, Н.В. Кузнецов; заявитель и патентообладатель ОАО «Уралкалий». - № 2004122656, заявл. 23.07.2004, опубл. 27.04.2006.

18. Пат. 2117156 Российская Федерация, МПК E 21 C 41/26. *Способ отвалообразования и устройство для его осуществления*. Н.П. Хрунина, Л.Т. Крупская, Ю.А. Мамаев, Т.О. Хрунин; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. - № 96113494, заявл. 27.06.1996, опубл. 10.08.1998.

19. Пат. 2368729 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. *Способ создания дренажа в основании накопителей отходов*. С.П. Вострецов; заявитель и патентообладатель ОАО «Галургия». – № 2008111765 заявл. 27.03.2008, опубл. 27.09.2009.

20. *Отчет по панели №1. Пояснительная записка ГДК-26-200917*. Горнодобывающий комплекс Дехканабадского завода калийных удобрений. Дехканабад, 2017, 104 с.

21. *Проект горно-добывающий комплекс Дехканабадского завода калийных удобрений*. Том 3. Технология горных работ. ОАО «Галургия». Пермь, 2008.

22. Каримов Ё.Л., Якубов С.И., Муродов Ш.О., Нурхонов Х., Латипов З.Ё., 2018. Экологические аспекты Дехканабадского рудного комплекса по добыче калийных руд. *Горный вестник Узбекистана*, Навои, №3, С. 23 - 27.

23. Батурин Е.Н., Меньшикова Е.А., Блинов С.М., Наумов Д.Ю., Белкин П.А., 2012. Проблемы освоения крупнейших калийных месторождений мира. *Современные проблемы науки и образования*, № 6, С. 221 – 230. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7513>.

24. Галимзянов Д.Р., 2014. *Сложность эксплуатации выработок на калийных месторождениях*. Реферат по дисциплине «Проектирование метрополитенов», Екатеринбург, 12 с. DOI: <https://megaobuchalka.ru/1/22450.html> (дата обращения: 8.10.2021)

25. Ржаницын Б.А., 1986. *Химическое закрепление грунтов в строительстве*. Москва: «Стройиздат», 264 с.

References

1. Mineev V.G. , 2004. *Agrokimiya: uchebnik*. 2-e izd., pererab. i dop [Agrochemistry: textbook. 2nd ed., reprint. and add]. Moscow: MGU, Publ. Kolosa, 720 p.

2. Vasil'ev A.L., 2016. *Tekhnicheskii progress v tekhnologii razvitiya zakladochnykh работ na kaliinykh rudnikakh* [Technical progress in the technology of development of laying works at potash mines]. Referat po distsipline "Istoriya i filosofiya nauki". Sankt-Peterburg: Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi universitet "Gornyi", 25 p.

3. Lapinskaya V.O. *Sposoby snizheniya zasoleniya zemel' v raionakh razrabotki kaliinykh mestorozhdenii* [Ways to reduce salinization of lands in the areas of potash deposits development]. URL: http://science.kuzstu.ru/wpcontent/Events/Conference/Other/2014/eko/SE_2014/pages/Articles/Lapinskaya.pdf (data obrashcheniya: 01.07.2016).

4. Korolev V.A., 1995. *Monitoring geologicheskoi sredy: uchebnik / pod redaktsiei V.T. Trofimova* [Monitoring of the geological environment: textbook / edited by V.T. Trofimov]. Moscow: MGU, 272 p.

5. Liskova M.Yu., 2017. *Negativnoe vozdeistvie, okazyvaemoe na okruzhayushchuyu sredu predpriyatiyami po dobyche i obogashcheniyu kaliino-magnievyykh solei* [The negative impact on the environment made by enterprises for the extraction and enrichment of

potassium-magnesium salts]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo, Vol.16, №1, P. 82 - 88. DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.

6. Boboshko A.Yu., Bachurin B.A. *Ekologicheskie problemy verkhnekamskogo kaliya* [Ecological problems of Verkhnekamsky potassium]. Gornoe ekho. URL: <http://ftp.mi-perm.ru/ge4-04/ge4-04-bach.htm> (data obrashcheniya: 01.07.2016).

7. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. Problemy osvoeniya krupneishikh kaliinykh mestorozhdenii mira* [Modern problems of science and education. Problems of development of the largest potash deposits in the world]. URL: <http://www.science-education.ru/106-7513> (data dostupa: 06.11.2014).

8. Galimzyanov D.R., 2014. *Slozhnost' ekspluatatsii vyrabotok na kaliinykh mestorozhdeniyakh* [The complexity of the operation of workings in potash deposits]. Referat po distsipline "Proektirovanie metropolitenov". Ekaterinburg, 12 p. URL: <https://megaobuchalka.ru/1/22450.html> (data obrashcheniya: 25.07.2021)

9. Koca M., Bor M., Ozdemir F., Turkan I., 2007. The effect of salt stress on lipid peroxidation, antioxidative enzymes and proline content of sesame cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, Vol. 60, iss. 3, P. 344–351. 10.1016/j.envexpbot.2006.12.005.

10. Rumyantseva E.I., 2017. *Snizhenie ekologicheskoi nagruzki na okruzhayushchuyu sredu pri dobyche kaliinoy soli v Permskom krae*. Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu: sbornik trudov XI zaochnoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Ekaterinburg, 30-31 maya 2017 g.). [Reducing of the ecological burden on the environment during the extraction of potash salt in the Perm Region. Environmental safety management system: Proceedings of the XI Correspondence International Scientific and Practical Conference (Yekaterinburg, May 30-31, 2017)]. Ekaterinburg: UrFU, P. 98 - 103.

11. *Istoriya i sposoby dobychi soli* [History and methods of salt extraction]. URL: <http://promplace.ru/dobycha-i-obrabotka-poleznyhiskopaemyh/dobycha-soli-1496.htm> (data obrashcheniya 15.03.2017).

12. OAO "Belgorkhimprom". *Otsenka ekologicheskikh riskov v regione osvoeniya Starobinskogo mestorozhdeniya kaliinykh solei* [JSC "Belgorkhimprom". Assessment of environmental risks in the region of development of the Starobinsky potash salt deposit]. URL: <http://www.bmci.by/news4.html> (data dostupa: 04.11.2014).

13. Pat. №2273735 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E21S 41/30. *Sposob izolyatsii soleotvalov na kaliinykh rudnikakh* [Pat. No. 2273735 Russian Federation, IPC E21C 41/30. Method of isolation of salt dumps at potash mines]. Belkin V.V., Platygin V.I., Kuznetsov N.V.; zayavitel' i patentoobladatel' OAO "Uralkalii". - № 2004122656, zayavl. 23.07.2004, opubl. 10.04.2006 g, Byul. № 10.

14. Pat. 2355887 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E21S 41/32. *Sposob likvidatsii soleotvalov na kaliinykh rudnikakh* [Pat. 2355887 Russian Federation, IPC E21C 41/32. Method of liquidation of salt dumps at potash mines]. B.A. Krainev, S.P.D'yakov, A.I.Shumakher, V.V.Belkin; zayavitel' i patentoobladatel' OAO "Uralkalii". - № 2007132754, zayavl. 30.08.2007, opubl. 20.05.2009, Byul. 14.

15. Pat. 2128140 Rossiiskaya Federatsiya, MPK B 65G 5/00. *Sposob podzemnogo skladirovaniya zhidkikh otkhodov proizvodstv* [Pat. 2128140 Russian Federation, IPC B 65G 5/00. Method of underground storage of liquid waste of production]. V.N. Nikoforov, Yu.S. Kuznetsov i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' OAO "Zapsibgazprom". - № 97100404, zayavl. 15.01.1997, opubl. 27.03.1999.

16. Pat. 1270332 SSSR, MPK E21 S 41/02. *Sposob formirovaniya soleotvalov* [Pat. 1270332 USSR, IPC E21 S 41/02. The method of formation of salt dumps]. V.P. Il'in, V.P. Klement'ev i dr.; zayavitel' i patentoobladatel' Belorusskii filial Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo i proektnogo instituta galurgii. – № 3869994. zayavl. 04.01.1985, opubl. 15.11.1986, Byul. 42.

17. Pat. 2273735 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E 21S 41/30. *Sposob izolyatsii soleotvalov na kaliinykh rudnikakh* [Pat. 2273735 Russian Federation, IPC E 21C 41/30. Method of isolation of salt dumps at potash mines]. V.V. Belkin, V.I. Platygin, N.V. Kuznetsov; заявитель i патентообладатель OAO "Uralkalii". - № 2004122656, заявл. 23.07.2004, opubl. 27.04.2006.

18. Pat. 2117156 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E 21 S 41/26. *Sposob otvaloobrazovaniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Pat. 2117156 Russian Federation, MPK E 21 41/26. Method of dumping and device for its implementation]. N.P. Khrunina, L.T. Krupskaya, Yu.A. Mamaev, T.O. Khrunin; заявитель i патентообладатель Institut gornogo dela Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN. - № 96113494, заявл. 27.06.1996, opubl. 10.08.1998.

19. Pat. 2368729 Rossiiskaya Federatsiya, MPK E02V 11/00. *Sposob sozdaniya drenazha v osnovanii nakopitelei otkhodov* [Pat. 2368729 Russian Federation, IPC E02B 11/00. Method of drainage construction at the base of waste accumulators]. S.P. Vostretsov; заявитель i патентообладатель OAO "Galurgiya". – № 2008111765 заявл. 27.03.2008, opubl. 27.09.2009.

20. *Otchet po paneli №1. Poyasnitel'naya zapiska GDK-26-200917. Gornodobyvayushchii kompleks Dekhkanabadskogo zavoda kaliinykh udobrenii* [Panel Report No. 1. Explanatory Note GDK-26-200917]. Dekhkanabad, 2017, 104 p.

21. *Proekt gorno-dobyvayushchii kompleks Dekhkanabadskogo zavoda kaliinykh udobrenii* [Project mining complex of the Dehkanabad plant of potassium fertilizers]. Vol. 3. Tekhnologiya gornykh rabot. OAO "Galurgiya". Perm', 2008.

22. Karimov E.L., Yakubov S.I., Murodov Sh.O., Nurkhonov Kh., Latipov Z.E., 2018. *Ekologicheskie aspekty Dekhkanabadskogo rudnogo kompleksa po dobyche kaliinykh rud* [Ecological aspects of the Dehkanabad ore complex for the extraction of potash ores]. Gornyi vestnik Uzbekistana, Navoi, №3, P. 23 - 27.

23. Baturin E.N., Men'shikova E.A., Blinov S.M., Naumov D.Yu., Belkin P.A., 2012. *Problemy osvoeniya krupneishikh kaliinykh mestorozhdenii mira* [Problems of development of the largest potash deposits of the world]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* № 6, P. 221 – 230. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7513>.

24. Galimzyanov D.R., 2014. *Slozhnost' ekspluatatsii vyrabotok na kaliinykh mestorozhdeniyakh* [The complexity of the operation of workings in potash deposits]. Referat po distsipline "Proektirovanie metropolitenov", Ekaterinburg, 12 p. DOI: <https://megaobuchalka.ru/1/22450.html> (data obrashcheniya: 8.10.2021)

25. Rzhantsyn B.A., 1986. *Khimicheskoe zakreplenie gruntov v stroitel'stve* [Chemical fixing of soils at construction works]. Moscow: "Stroiizdat", 264 p.