

## ЛИТЕРАТУРА

1. Rasuli M.I. et al. A consideration on the one-part mixing method of alkali-activated material: problems of sodium silicate solubility and quick setting // *Heliyon*. 2022. Vol. 8, № 1. P. e08783.
2. Белых С.А., Новоселова Ю.В., Кудяков А.И. Жидкое стекло из микрокремнезема в качестве связующего при получении огнезащитной композиции для древесины // *Системы. Методы. Технологии*. 2016. Vol. № 4 (32). P. 154–160.
3. Hwang J., Lee J.H., Chun J. Facile approach for the synthesis of spherical mesoporous silica nanoparticles from sodium silicate // *Mater. Lett.* 2021. Vol. 283. P. 128765.
4. Tran-Nguyen P.L. et al. Facile synthesis of zeolite NaX using rice husk ash without pretreatment // *J. Taiwan Inst. Chem. Eng. Elsevier B.V.*, 2021. Vol. 123. P. 338–345.
5. Roschat W. et al. Rice husk-derived sodium silicate as a highly efficient and low-cost basic heterogeneous catalyst for biodiesel production // *Energy Convers. Manag.* 2016. Vol. 119. P. 453–462.
6. Бондаренко Д.О. et al. Энергосберегающая технология получения силикат-глыбы для производства жидкого стекла // *Вестник БГТУ*. 2017. Vol. 2, № 10. P. 111–115.
7. Vaiciukynienė D. et al. Effects of ultrasonic treatment on zeolite NaA synthesized from by-product silica // *Ultrason. Sonochem.* 2015. Vol. 27. P. 515–521.
8. Mamchenkov E.A., Prokofev V.I., Kochetkov S.P. Environmental aspects of impacts of the impurities in the industrial microsilica during its processing // *Ekol. i Stroit.* 2019. Vol. 01, № 01. P. 4–11.
9. Baranov A.N. et al. Technology for Preparing Calcium Fluoride from Aluminum Production Waste // *Metallurgist*. 2017. Vol. 61, № 5–6. P. 485–490.

УДК 622.831.2

### ГЕОМЕХАНИКА ЗАКЛАДОЧНЫХ МАССИВОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОДОРАСТВОРИМЫХ РУД BACKFILLING MATERIALS GEOMECHANICS APPLYING TO WATER-SOLUBLE DEPOSITS

Селихов А.А., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет,  
alexandr.selikhov@icloud.com  
Selikhov Aleksandr Aleksandrovich – post-graduate student, Saint-Petersburg mining  
university, alexandr.selikhov@icloud.com

**Аннотация.** Закладочные массивы месторождений водорастворимых руд представлены различными искусственными геоматериалами, которые имеют особенности деформирования в зависимости от способа их создания и состава. В данной работе рассматриваются виды закладочных массивов, применяемых в современной практике, а также указываются геомеханические модели, в настоящее время используемые для прогноза напряженно-деформированного состояния закладочного массива.

**Ключевые слова:** геомеханика соляных пород, раздробленные соляные породы, сгущенные хвосты обогащения, геомеханические модели искусственных массивов.

**Abstract.** Backfilling materials of deposits of water-soluble ores are represented by various artificial geomaterials, which have specific deformation features depending on the method of their creation and composition. In this paper, the types of backfilling materials used in modern practice are considered, as well as geomechanical models currently used to predict the stress-strain state of the backfilling materials are indicated.

**Key words:** geomechanics of salt rocks, crushed salt rocks, condensed enrichment tails, geomechanical models of artificial rock massifs.

**Введение.** Закладочные массивы при разработке месторождений полезных ископаемых являются дорогой необходимостью для поддержания безопасности ведения горных работ. Ценные месторождения позволяют применять закладочные массивы на основе цементных вяжущих [1], а при добыче менее ценных ископаемых, в случаях, когда предприятию не так важны осадки поверхности или развитие техногенных трещин во вмещающем массиве горных пород закладка может не применяться вовсе. Однако, когда речь заходит о месторождениях водорастворимых руд, самая большая опасность, подстерегающая рудник – это вода и ненасыщенные рассолы. Как показывает практика потеря рудника в результате затопления нередкое явление при разработке соляных месторождений [2]. В таких случаях необходимо применять максимально дешевый, но в то же время достаточно надежный закладочный материал. Современная практика добычи калийно-магниевых солей на территории Российской Федерации показывает, что таким материалом является обычная соль, которую каждый день потребляют в пищу и которая является причиной экологических загрязнений на предприятиях, производящих калийные удобрения.

#### **Геомеханика закладочных массивов.**

Закладочные массивы, применяемые на месторождениях водорастворимых руд, в отечественной практике представлены тремя видами: сыпучий закладочный массив [3], созданный гидравлически связанный массив [4, 5], а также новое направление – закладочный массив из сгущенных хвостов [6].

Сыпучие закладочные массивы представлены галитовыми отходами и состоят на более чем 95 % из NaCl. Специфика их работы заключается в том, что данные массивы практически не оказывают влияния на элементы камерно-столбовых систем разработки с закладкой выработанного пространства вплоть до момента опускания на них кровли закладываемой выработки [3]. Для данных массивов авторы [3] используют модель двойного течения, представленную в расчетном пакете FLAC. Данный программный пакет также содержит в себе широкий ряд моделей описывающих поведение соляных пород, например для сыпучих переуплотненных солей существует модель WIPP, разработанная для закладочного материала хранилища ядерных отходов расположенного на территории США. Кроме того, зарубежные коллеги описали поведение раздробленных соляных пород в модели, представленной в работе [7].

Гидрозакладочный массив в процессе отдачи обратного рассола претерпевает структурные изменения за счет процесса кристаллизации порового пространства. Такие массивы имеют большую жесткость и сцепление между частицами в сравнении с сыпучими. Среди специализированных моделей ярким примером является математическая модель Константиновой С.А. [4], учитывающая реологические свойства закладочного массива.

Применение сгущенных хвостов обогащения в качестве закладочных материалов в настоящее время редкость [6]. Данные массивы более чем на 60 % состоят из глинистых частиц, вероятно их поведение будет достаточно хорошо описываться моделью Cam-Clay также представленной в программном пакете FLAC, однако это утверждение требует дальнейшей практической проверки.

**Заключение.** Закладочные массивы месторождений водорастворимых руд представлены следующими видами: сыпучий закладочный массив и гидравлически созданный закладочный массив, состоящие из соляных отходов, а также закладочный массив на основе сгущенных хвостов обогащения или глинисто-солевых шламов. Для прогноза деформаций дисперсных соляных массивов пригодны модели двойного течения и WIPP, а также модель С. Оливеллы и А. Генса. Гидрозакладочный массив описывается моделью С.А. Константиновой. Закладочный массив на основе глинисто-солевых шламов вероятнее всего можно описать посредством модели Cam Clay, однако это требует дальнейшей проверки опытным путем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аптуков В. Н., Ваулина И. Б. Напряженное состояние системы «кимберлит-вмещающие породы-закладочный массив» трубки «Интернациональная» АК «АЛРОСА» // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2010. – № 2. – С. 33–40.

2. Беляков Н. А., Беликов А. А. Прогноз целостности водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6 – 2. – С. 33 – 46. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_62\_0\_33.

3. Ковальский Е.Р., Громцев К.В., Петров Д.Н. Моделирование процесса деформирования междукамерных целиков в условиях закладки очистных камер // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 9. – С. 87–101. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-9-0-87-101.

4. Константинова С. А., Чернопазов С. А., Асанов В. А. Математическая модель состояния закладочного массива на верхнекамском месторождении калийных солей // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2010. – № 1. – С. 44–49.

5. Константинова С. А., Ваулина И. Б. Влияние закладки выработанного пространства на напряженно-деформированное состояние карналлитовых междукамерных целиков // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. – 2012. – № 1. – С. 71–76.

6. Куликова А. А., Ковалева А. М. Применение хвостов обогащения в качестве закладки выработанного пространства рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 2–1. – С. 144–154. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-144-154.

7. Olivella S., Gens A. A constitutive model for crushed salt // International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 2002. – Vol. 26. – № 7. – P. 719–746. DOI: 10.1002/nag.220

УДК 622.341.23

### **КРАТКИЙ АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ КАРЬЕРНОГО СПОСОБА ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ A BRIEF ANALYSIS OF THE ADVANTAGES OF THE QUARRY METHOD OF EXTRACTION OF PEAT RAW MATERIALS**

Смирнов А.И., студент, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург,  
a.s.555@inbox.ru

Smirnov A.I., Student, Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg,  
a.s.555@inbox.ru

**Аннотация.** Приведен краткий анализ преимуществ технологии внутрикарьерной системы измельчения, конвейерного транспортирования и механического обезвоживания экскавированного торфяного сырья с отгрузкой в отвал горнотранспортными агрегатами (IPCCD – In-Pit Crushing, Conveying and Dewatering) в сравнении с применяемой системой экскаватор-самосвал.

**Ключевые слова:** торфяное месторождение, карьер, торфяное сырье, экскавация, переработка, транспортирование.

**Abstract.** The article provides a brief analysis of the advantages of the technology of the intra-barrier crushing system, conveyor transportation and mechanical dewatering of excavated