

ЛИТЕРАТУРА

1. Галушко, Ф. И., Комягин А. О., Мусатов И. Н. Управление качеством взрывной подготовки горной массы на основе оптимизации параметров БВР // Горная промышленность. – 2017. – № 5 (135).
2. Gaich A., S. W., P. M. Blast optimization including automatic borehole placement and automatic rock mass characterization // Bergdagarna. Stockholm, 2020.
3. Bamford T., Esmaeili K., Schoellig A. P. A deep learning approach for rock fragmentation analysis // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2021. – Vol. 145. – P. 104839.
4. Boos I. Yu. и др. Structural analysis of pit wall rock mass on 3D slope model constructed using a multicopter // Mining informational and analytical bulletin. 2021. № 12. p. 19–30.
5. Buyer A., Aichinger S., Schubert W. Applying photogrammetry and semi-automated joint mapping for rock mass characterization // Engineering Geology. – 2020. – Т. 264. – P. 105332.
6. Munaretti, E., McClure, R. A., Mendonça, C. S., Kloeckner, J., Scussiatto, M. P., Souza, L. O., Gewher, J. F. (2013). Blasting Optimization using 3D Photogrammetry in a South Brazilian Quarry.
7. Miao Y. и др. Rock Fragmentation Size Distribution Prediction and Blasting Parameter Optimization Based on the Muck-Pile Model // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2021. – Vol. 38, № 2. – P. 1071–1080.

УДК 661.683.3

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ
ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКОГО СТЕКЛА ДЛЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО
СИНТЕЗА НИЗКОМОДУЛЬНЫХ ЦЕОЛИТОВ**
**APPLICATION OF INDUSTRIAL WASTE IN THE PROCESS OF LIQUID GLASS
PRODUCTION FOR HYDROTHERMAL SYNTHESIS OF LOW-MODULUS
ZEOLITES**

Свахина Я.А., студент,

Пягай И.Н., д.т.н., с.н.с., директор Научного центра «Проблем переработки
минеральных и техногенных ресурсов»

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, y_svakhina@mail.ru
Svakhina Yana Andreevna, student

Ryagay Igor Nikolaevich, Doctor of Engineering Sciences, Senior Research Officer, Director
of the Scientific Center “Problems of mineral and technogenic resources processing”
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg,
y_svakhina@mail.ru

Аннотация. Современное развитие предприятий минерально-сырьевого сектора предполагает расширение сырьевой базы и снижение антропогенного воздействия на экосистему за счет вовлечения промышленных отходов в производственный цикл. В данной работе рассмотрен способ получения жидкого стекла с кремниевым модулем от 2,3 до 3,7 путем утилизации кремнегеля – отхода производства фтористого алюминия. Полученное жидкое стекло может использоваться в качестве источника кремния для синтеза низкомолекулярных цеолитов.

Ключевые слова: кремнегель, промышленные отходы, жидкое стекло, кремниевый модуль, цеолиты, гидротермальный синтез.

Abstract. The modern development of mineral sector enterprises involves expansion of the raw material base and reduction of anthropogenic impact on the ecosystem through the involvement of industrial waste in the production cycle. This paper considers a method of producing liquid glass with a silicon module of 2.3 to 3.7 by recycling silica gel – a waste product of aluminum fluoride production. The obtained liquid glass can be used as a source of silicon for synthesis of low-modulus zeolites.

Key words: silica gel, industrial waste, liquid glass, silica module, zeolites, hydrothermal synthesis.

Введение. Большую долю среди выпускаемых неорганических продуктов занимают жидкие стекла, которые представляют собой водорастворимые силикаты натрия и калия. За счет своих свойств жидкие стекла получили широкое распространение в различных отраслях промышленности, так, их используют для получения бетонных смесей [1], огнеупорных и огнезащитных материалов [2], аморфного диоксида кремния [3], цеолитов [4], а также для создания твердых катализаторов [5].

В настоящий момент существующий промышленный способ получения жидких стекол из силикат-глыбы основан на высокотемпературных процессах и применении автоклавного оборудования. Высокая энергоемкость процесса и конструкционная сложность аппаратного оформления являются основными недостатками данной технологии [6]. По этой причине современные исследования направлены на разработку новых экономически выгодных способов их получения.

Возможность применения промышленных отходов в качестве альтернативного сырья позволит не только снизить материальные и энергетические затраты, но и уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду за счет переработки части отходов.

Одним из таких отходов является кремнегель – побочный продукт производства фторида алюминия, содержащий до 80 % масс. аморфного диоксида кремния [7]. Поскольку ежемесячно в отвалы направляется более 40 тыс. тонн гидратированного кремнегеля, то его можно рассматривать как перспективный кремнийсодержащий источник для получения натриевого и калиевого жидкого стекла [8, 9].

Основная часть. В ходе работы для получения жидкого натриевого стекла был использован промышленный кремнегель. Исходное сырье подвергалось сернокислотной очистке для устранения содержащихся примесей алюминия и фтора. После чего очищенный продукт, содержащий более 98 % масс. SiO_2 , растворяли при температуре процесса от 80 до 100 °C в растворе едкого натра с концентрацией NaOH от 5 до 20 % масс. в исходном растворе.

В ходе исследования было установлено влияние концентрации исходного раствора щелочи и температуры процесса на характеристики получаемого продукта, где при увеличении концентрации NaOH в исходном растворе наблюдалось снижение величины кремниевого модуля. Аналогичная ситуация наблюдалась при снижении температуры.

Для полученного жидкого стекла величина кремниевого модуля находилась в диапазоне от 2,3 до 3,7, при этом жидкое стекло с кремниевым модулем 2,7–2,8 было использовано для синтеза низкомолекулярных цеолитов.

В ходе гидротермального синтеза были получены образцы, которые представляли собой монофазу цеолита структурного типа NaA, что подтверждалось данными рентгенофазового анализа. Полученные алюмосиликаты также имели характерную для цеолита типа NaA кубическую форму частиц.

Заключение. Таким образом, была исследована возможность применения отходов производства фторида алюминия для получения натриевого жидкого стекла с различным кремниевым модулем. Жидкое стекло на основе кремнегеля может быть использовано для гидротермального синтеза цеолитов структурного типа NaA. Рассмотренный способ представляет собой перспективное направление исследования в области получения водорастворимых силикатов.

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.