

# Повышение эффективности денитрации сорбента при геотехнологии урана

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-72-76>

## ОМИРГАЛИ А.К.

Докторант НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева,  
050046, г. Алматы, Республика Казахстан,  
e-mail: armanbek@inbox.ru

## АЛИЕВ С.Б.

Академик НАН РК,  
доктор техн. наук, профессор,  
старший научный сотрудник  
ИПКОН РАН,  
111020, г. Москва, Россия,  
e-mail: alsamat@gmail.com

## ЮСУПОВ Х.А.

Доктор техн. наук, член кор. НАН РК,  
профессор НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева,  
050046, г. Алматы, Республика Казахстан,  
e-mail: k.yussupov@satbayev.university

## АБЕН Е.Х.

Канд. техн. наук, ассоциированный профессор  
НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева,  
050046, г. Алматы, Республика Казахстан,  
e-mail: y.aben@satbayev.university

## АХМЕТКАНОВ Д.К.

Канд. техн. наук, ассоциированный профессор  
НАО КазННТУ им. К.И. Сатпаева,  
050046, г. Алматы, Республика Казахстан,  
e-mail: d.akhmetkanov@satbayev.university

Применение метода подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) при разработке месторождений урана в сравнении с горными способами, традиционно применяемыми ранее, в значительной степени сокращает ущерб, наносимый окружающей среде. При ПСВ откачиваемый из скважины продуктивный раствор проходит стадии сорбции и десорбции при этом при десорбции применяют нитраты. Для повторного использования сорбентов после десорбции необходимо удаление нитратов раствором с повышенной концентрацией кислоты. Анализ результатов денитрации, даже при повышенной концентрации серной кислоты, показал низкую степень денитрации. Это приводит к ухудшению сорбционных свойств смолы по урану, потере нитрат-ионов и, как следствие, повышенному расходу аммиачной селитры и серной кислоты. Поэтому была предложена технология обработки промывочного раствора на специальной установке. В статье приведены результаты лабораторных исследований по денитрации (промывке) синтетического ионообменного сорбента с применением обработанного раствора на модельной установке. Для сравнения полученных результатов проведены промышленные испытания, для чего была изготовлена опытно-промышленная установка для обработки раствора. Если в лабораторных условиях повышение степени денитрации составило 17-33,7%, то при опытно-промышленных испытаниях – 7%.

**Ключевые слова:** скважинное выщелачивание, синтетический ионообменный сорбент, денитрация, нитрат-ионы, активация, ионообменная смола, сорбция, десорбция.

**Для цитирования:** Повышение эффективности денитрации сорбента при геотехнологии урана / А.К. Омиргали, С.Б. Алиев, Х.А. Юсупов и др. // Уголь. 2022. № 4. С. 72-76. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-72-76.

## ВВЕДЕНИЕ

До последнего времени месторождения с бедными рудами, несущими в себе запасы урана, не были вовлечены в промышленную разработку традиционными способами добычи по технико-экономическим соображениям. Проблема разработки месторождений, представленных бедными рудами, имеющая большое народнохозяйственное значение, к настоящему времени в значительной степени решена [1]. В последнее десятилетие были проведены большие работы по разработке и внедрению в промышленных масштабах геотехнологической добычи ура-

на, получившей название метода подземного скважинно-го выщелачивания (ПСВ) [2, 3]. На некоторых предприятиях метод ПСВ стал основным при добыче урана. Нет сомнения, что число таких предприятий в будущем увеличится. Сырьевую базу предприятий, добывающих уран методом ПСВ, в настоящее время составляют главным образом бедные месторождения гидрогенного генезиса, залегающие в водопроницаемых песчано-глинистых отложениях депрессионных зон земной коры [4, 5], что является причиной низкого содержания урана в продуктивном растворе. В области добычи урана проводятся научно-исследовательские работы для повышения эффективности как процесса выщелачивания [6], так и процесса переработки продуктивного раствора [7, 8].

Вместе с тем технологическая схема переработки продуктивных растворов включает процессы сорбции, десорбции и денитрации сорбентов. Сорбция проводится на анионитах в сорбционных напорных колоннах типа СНК-3м, донасыщение насыщенного сорбента продуктивными растворами – в зонах донасыщения колонн СДК-1500, противоточная нитратная десорбция урана – в зонах десорбции колонн СДК-1500, денитрация и промывка сорбента – в колоннах типа КИ/ДНК-2000, а загрузка регенерированного сорбента – в колоннах СНК-3м [9, 10]. На руднике в основном применяют пористые аниониты АВ, АН, исследования были проведены маркой АН с размером зерен 0,63-2,0 мм, полная обменная емкость (ПОЭ) по хлор-иону – 2,7-4,8 мг-экв/г.

В настоящее время после денитрации остаточное содержание нитрат-иона в сорбенте находится в пределах 6-11%, при этом концентрация серной кислоты изменяется в пределах 26-36%, то есть степень денитрации явно недостаточна. Это приводит к ухудшению сорбционных свойств смолы по урану, потере нитрат-ионов и, как следствие, повышенному расходу аммиачной селитры и серной кислоты.

На процесс денитрации основное влияние оказывает концентрация серной кислоты. С увеличением содержания последней степень денитрации значительно возрастает.

С другой стороны, повышение концентрации серной кислоты в денитрирующем растворе приводит к повышению ее содержания в маточнике денитрации и себестоимости процесса. Поэтому для устранения этих недостатков предложена технология активации денитрирующего и выщелачивающего растворов до подачи их в денитрационную колонну [11, 12].

Активация выщелачивающего раствора – увеличение химической активности раствора после его обработки в кавитационной установке [13]. В результате механического воздействия (кавитации) на сплошные среды изменяется их структура и температура, что сопровождается разрывом связей между атомами и разрушением кристаллической решетки [14].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения лабораторных исследований была смоделирована денитрационная установка, которая состоит из насоса, колонны для денитрации, емкости для денитрационного раствора и сливной емкости. Основные задачи, решаемые при проведении лабораторных исследований – получение сравнительных данных активности

сернокислотного раствора и определение необходимой степени активации раствора для денитрации.

Смола для денитрации была разделена на 10 навесок весом по 50 г. Анализ среднего содержания нитратов в навесках составил 186 г/л. Указанная навеска была размещена в колонну для денитрации, затем сверху подавался денитрационный раствор. Вначале лабораторные исследования проводились без активаций раствора, затем с активацией. Активация раствора проводилась на специальной лабораторной установке [15], которая состоит из проточного кавитатора, насоса и емкости для раствора. Проточный кавитатор представляет собой трубку специальной конструкции с сужением для изменения давления раствора. Промывочный раствор пропускаться через проточный кавитатор и далее использовался для денитрации. Лабораторные испытания были проведены с применением изготовленной установки для активации раствора.

На модельной денитрационной установке время промывки составило 120 мин, концентрацию серной кислоты изменяли от 20 до 25 г/л, время активации – 4 и 8 мин, соотношение Ж/Т – 1,8. После промывки смолы денитрированная смола отправлялась в лабораторию рудника для определения остаточной концентрации нитрата.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты лабораторных исследований, проведенных на модельной установке по денитрации, приведены в таблице.

При обработке данных таблицы получены изменения содержания нитрата в смоле от времени активации и промывки при концентрации серной кислоты 20 г/л и 25 г/л (рис. 1).

Как следует из таблицы, при концентрации серной кислоты 20 г/л и времени промывки в течение 120 мин, активация раствора через 4 мин приводит к снижению содержания нитрата в среднем на 33,5% больше, чем при традиционной технологии, а дальнейшее повышение активации раствора до 8 мин – к снижению содержания нитрата в смоле по сравнению с традиционной на 35%.

При повышении концентрации серной кислоты до 25 г/л и времени промывки в течение 120 минут активация раствора через 4 мин приводит к снижению содержания нитрата по сравнению с традиционной технологией в среднем на 18,5%, а дальнейшее повышение времени актива-

### Результаты лабораторных исследований на модельной установке денитрации

Время активации, мин	Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , г/л	Время промывки, мин	Концентрация нитрата в смоле, г/л
Без активации	20	120	137,8
4	20	120	91,3
4	20	120	92,0
8	20	120	89,6
8	20	120	87,8
Без активации	25	120	68,9
4	25	120	55,1
4	25	120	57,2
8	25	120	65,8
8	25	120	63,3

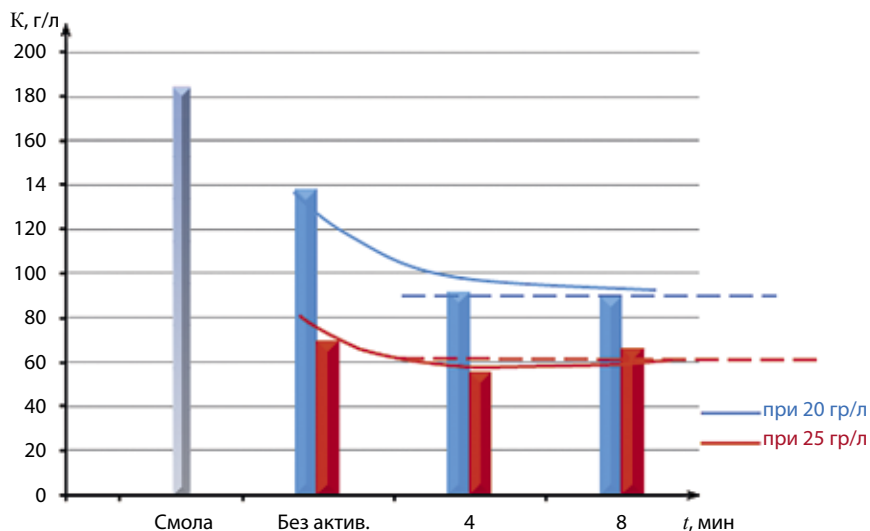


Рис. 1. Изменение содержания нитрата в смоле от времени активации и промывки при концентрации серной кислоты 20 г/л и 25 г/л.



Рис. 2. Устройство для активации раствора: 1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – электродвигатель; 4 – генераторный блок; 5 – платформа

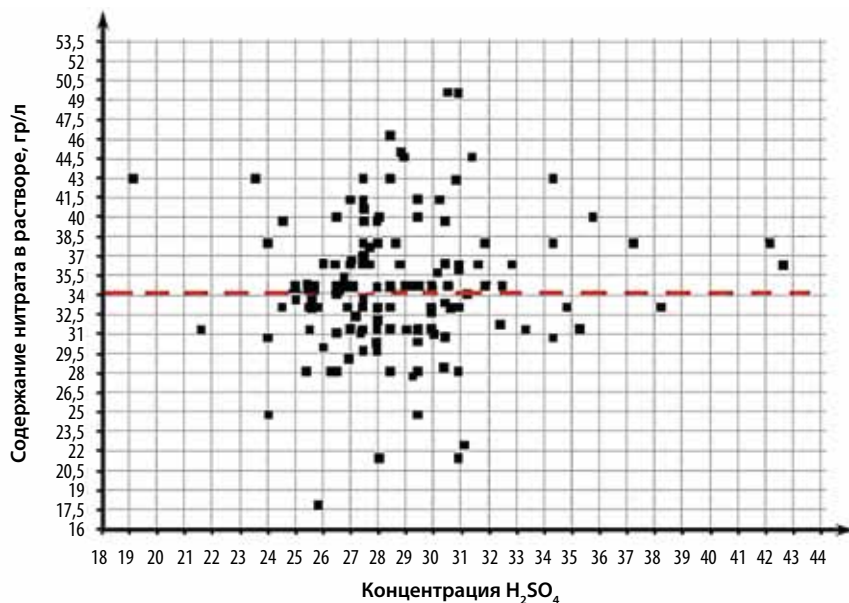


Рис. 3. Статистические данные содержания нитратов в промывочном растворе, по данным лаборатории рудника, при базовой технологии от концентрации серной кислоты

ции приводит к незначительному снижению содержания нитратов в смоле, которое составляет 4,5%.

Установка для активации раствора была изготовлена на объем подаваемого раствора 15 м<sup>3</sup>/ч на три денитрационные колонны, однако за время проведения лабораторных исследований на руднике были установлены еще две колонны, и объем подаваемого раствора увеличился и составил 22,5 м<sup>3</sup>/ч, что в 1,5 раза больше первоначального объема. Кроме того, был изменен режим денитрации сорбента. Первоначально промывочный раствор с остаточной кислотностью, после доукрепления повторно подавался для денитрации. Теперь же готовится свежий раствор, а отработанный раствор не подается в линию денитрации, то есть остатки активированного раствора, на который рассчитывали, повторно не используется, поэтому надо было уже на стадии промышленных испытаний менять режим активации.

Для промышленного испытания была изготовлена установка (рис. 2) для активации раствора с блоком управления мощностью привода 3 кВт, которая была подключена на линию подачи серной кислоты в цехе. Устройство смонтировано на платформе 5, где соосно расположены генераторный блок 4 с входящим патрубком 1, выходящим патрубком 2 и электродвигатель 3, приводящий во вращательное движение ротор генераторного блока. Пуск и остановка производятся блоком управления активатором.

Для сравнения результатов промышленных испытаний были собраны статистические данные по денитрации смолы как при базовой технологии, так и при активации раствора.

Всего было обработано 144 данных при базовой технологии и 90 данных при предлагаемой технологии. При этом определяли только содержание нитрата в растворе после промывки в зависимости от концентрации серной кислоты. На рис. 3 и рис. 4 приведены фактические статистические данные содержания нитратов в промывочном растворе по данным лаборатории рудника при базовой и предлагаемой технологиях.

Как следует из рис. 3, при изменении концентрации серной кислоты

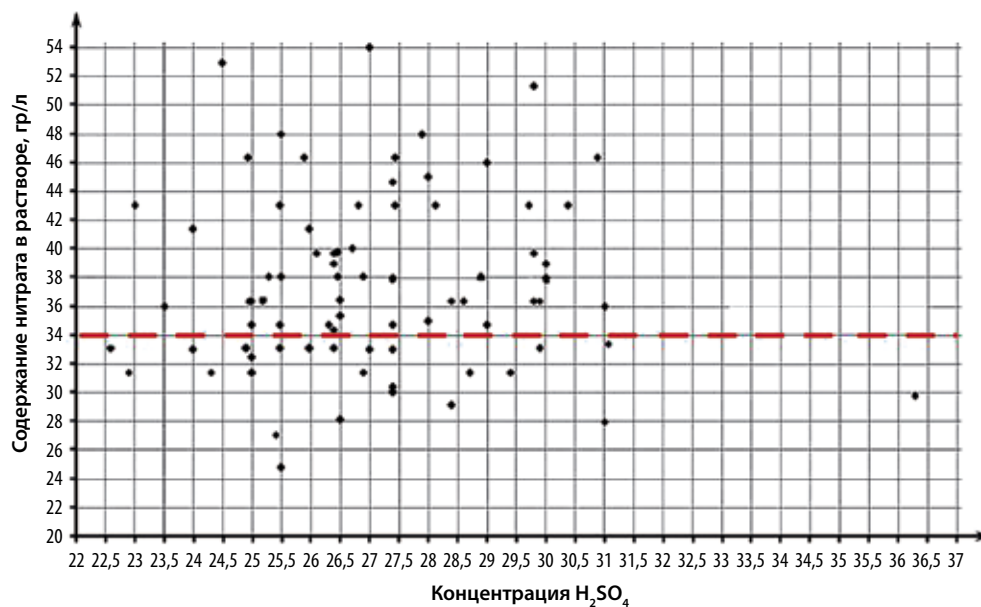


Рис. 4. Статистические данные содержания нитратов в промывочном растворе, по данным лаборатории рудника, при активации раствора от концентрации серной кислоты

от 19 до 46 г/л содержание нитрата в растворе после промывки изменяется от 17,8 до 46 г/л и в среднем составляет 34,5 г/л. В основном концентрация серной кислоты находилась в пределах от 25 до 32 г/л. При этом наблюдается повышение содержания нитрата в растворе после промывки с увеличением концентрации серной кислоты.

При изменении концентрации серной кислоты от 22,6 до 36,3 г/л содержание нитрата в растворе после промывки изменяется от 24,8 до 54 г/л и в среднем составляет 36,96 г/л. В основном концентрация серной кислоты находится в пределах от 25 до 30 г/л. При этом наблюдается повышение содержания нитрата в растворе после промывки от 34 до 38 г/л с увеличением концентрации серной кислоты от 22,5 до 30 г/л. В среднем, при активации раствора содержание нитрата в растворе снижается на 7% по сравнению с базовой технологией.

## ВЫВОДЫ

Проведенными лабораторными исследованиями на смоделированной денитрационной установке получена необходимая степень активации 4 мин, что снижает содержание нитрата в смоле по сравнению с базовой технологией от 17 до 33,7% в зависимости от концентрации серной кислоты.

Опытно-промышленные испытания установки показали, что при базовой технологии степень денитрации в среднем составляет 43%, а при активации раствора – 49%. Причем указанный результат получен при концентрации активированной серной кислоты 25 г/л, а при базовой технологии – от 26 г/л и выше (в основном 29 г/л).

В среднем при активации раствора, содержание нитрата в растворе снижается на 7% по сравнению с базовой технологией.

## Список литературы

1. Голик В.И., Култышев В.И. История и перспективы выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 7. С. 138-143.

- Analyzing a denitration process in the context of underground well uranium leaching / Kh. Yussupov, E. Aben, A. Omirgali et al. // Mining of Mineral Deposits. 2021. Vol. 15. Is. 1. P. 127-133.
- Левшенков В.Н. К вопросу контроля и автоматического управления процессом десорбции урана. В сборнике статей: Инновационные направления развития в образовании, экономике, технике и технологиях. Ставрополь, 2016. С. 297-302.
- Бердалиев Б.А. Повышение эффективности функционирования уранодобывающего предприятия на основе моделирования и оптимизации процессов добычи и переработки продуктивных растворов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 2. С. 208-214.
- Mining impact on environment on the North Ossetian territory / O.G. Burdzieva, V.B. Zaalishvili, O.G. Beriev et al. // International Journal of GEOMATE. 2016. Vol. 10. P.1693-1697.
- Mottahedi A., Ataei M. Fuzzy fault tree analysis for coal burst occurrence probability in underground coal mining // Tunnelling and Underground Space Technology. 2019. Vol. 83. P. 165-174.
- Экспериментальное изучение сорбции некоторых ионов тяжелых металлов на природных материалах / В.В. Шакирова, О.С. Садомцева, В.В. Елина и др. // Апробация. 2014. № 8. С. 60-62.
- Stabilization of hydrogen peroxide used as oxidizing agent in the in-situ leaching of uranium from Arkosic sandstone / Kh. Yahya, Kh. Abbas, S.Sh. Syed et al. // Journal of the Chemical Society of Pakistan. 2011. Vol. 4, No. 33. P. 474-480.
- Монгуш Г.Р. Применение биотехнологии для переработки месторождений полезных ископаемых Тувы // Новые исследования Тувы. 2010. № 1. С. 228-242.
- Денитрация отработанной серной кислоты / Ким П.П., Перетрутов А.А., Ким В.П. и др. // Химическая промышленность сегодня. 2013. № 8. С. 9-10.
- Повышение извлечения металла на основе активации выщелачивающего раствора. / Е.Х. Абен, С.Т. Рустемов, Г.Б. Бахмагамбетова и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 12. С. 169-179.
- Интенсификация процесса подземного скважинного выщелачивания урана на основе создания модульного перерабатывающего комплекса / Б.О. Дуйсебаев, М.Н. Копбаева, Е.Н. Панова и др. // Химическая промышленность. 2008. Т. 85. № 5. С. 256-261.



13. Юсупов Х.А., Омиргали А.К., Абен Х.Х. Применение механической активации промывочного раствора сорбента при скважинном выщелачивании урана // Горный журнал Казахстана. 2020. № 9. С. 6-9.
14. О динамике кавитационных потоков и методике расчета начала кавитации в гидродинамических системах / И.А. Аширбеков, А.Н. Абдуллаев, А.М. Холиков и др. / Актуальные вопросы развития аграрной науки в современных экономических условиях. Материалы IV-й Международной научно-практической конференции молодых ученых, 2015. С. 136-138.
15. Problems of sorbent washing when processing uranium ore / Kh.A. Yussupov, A.K. Omirgali, Kh. Aben et al. / Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Ivano-Frankivsk, 2020. April 1–3. P. 115.

## GEOTECHNOLOGY

## Original Paper

UDC 622.234.42 © A.K. Omirgali, Kh.A. Yussupov, S.B. Aliev, E.Kh. Aben, D.K. Akhmetkhanov, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 4, pp. 72-76  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-72-76>

## Title

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF DENITRATION OF SORBENT SOLUTION IN URANIUM GEOTECHNOLOGY

## Authors

Omigali A.K.<sup>1</sup>, Aliev S.B.<sup>2</sup>, Yussupov Kh.A.<sup>1</sup>, Aben E.Kh.<sup>1</sup>, Akhmetkhanov D.K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> K.I. Satbayev KazNRTU, Almaty, 050046, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, 111020, Russian Federation

## Authors Information:

**Omigali A.K.**, Ph.D student, e-mail: [armanbek@inbox.ru](mailto:armanbek@inbox.ru)

**Aliev S.B.**, Academician of the National Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Senior Researcher, e-mail: [alsamat@gmail.com](mailto:alsamat@gmail.com)

**Yussupov Kh. A.**, Doctor of Engineering Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, Professor, e-mail: [k.yussupov@satbayev.university](mailto:k.yussupov@satbayev.university)

**Aben E.Kh.**, PhD (Engineering), Associate professor, e-mail: [y.aben@satbayev.university](mailto:y.aben@satbayev.university)

**Akmetkhanov D.K.**, PhD (Engineering), Associate professor, e-mail: [d.akhmetkhanov@satbayev.university](mailto:d.akhmetkhanov@satbayev.university)

## Abstract

The use of the method of in-situ leaching in the development of uranium deposits in comparison with mining methods traditionally used earlier significantly reduces the damage caused to the environment. With in-situ leaching, the productive solution pumped out of the well undergoes the stages of sorption and desorption, while nitrates are used for desorption. To reuse sorbents after desorption, it is necessary to remove nitrates with a solution with an increased concentration of acid. The analysis of the denitration results, even with an increased concentration of sulfuric acid, showed a low degree of denitration. This leads to deterioration of the sorption properties of the resin for uranium, loss of nitrate ions and, as a consequence, increased consumption of ammonium nitrate and sulfuric acid. Therefore, the technology of activation of the washing solution was proposed. The article presents the results of laboratory studies on denitration (washing) of a synthetic ion-exchange sorbent using an activated solution on a model installation. To compare the results obtained, industrial tests were carried out, for which a pilot plant for activating the solution was manufactured. If in laboratory conditions the increase in the degree of denitration was 17-33,7%, then in pilot tests – 7%.

## Keywords

In-situ leaching, Synthetic ion exchange sorbent, Denitration, Nitrate ions, Activation, Ion exchange resin, Sorption, Desorption.

## References

- Golik V.I. & Kultyshev V.I. History and prospects of uranium leaching. Mining information and analytical bulletin, 2011, (7), pp. 138-143. (In Russ).
- Yussupov Kh., Aben E., Omirgali A. & Rakhmanberdiy A. Analysis of the denitration process in the context of underground borehole leaching of uranium. Development of mineral deposits, 2021, Vol. 15, (1), pp. 127-133.
- Levshenkov V.N. On the issue of control and automatic control of the process of uranium desorption. In collection of articles: Innovative directions of development in education, economics, engineering and technology. Stavropol, 2016. pp. 297-302. (In Russ).
- Berdaliev B.A. Improving the efficiency of the uranium mining enterprise on the basis of modeling and optimization of the processes of extraction

and processing of productive solutions. Mining information and analytical bulletin, 2018, (2), pp. 208-214. (In Russ).

5. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S. & Maysuradze M.V. The impact of the mining industry on the environment in the territory of North Ossetia. International Journal GEOMATE. 2016. (10), pp. 1693-1697.

6. Mottahedi A., Atai M. Fuzzy analysis of the fault tree to determine the probability of a coal explosion during underground coal mining. Tunneling and underground space technologies, 2019, (83), pp.165-174.

7. Shakirova V.V., Sadomtseva O.S., Elina V.V., Blokhina E.V., Tsaplin D.E. & Beisova R.N. Experimental study of sorption of some heavy metal ions on natural materials. Approbation, 2014, (8), pp. 60-62. (In Russ).

8. Yahya H., Abbas H., Syed S.S., Gulzar H., Gulraiz F. & Muhammad S. Stabilization of hydrogen peroxide used as an oxidizer when leaching uranium in situ from arkose sandstone. Journal of the Chemical Society of Pakistan, 2011, Vol. 4, (33), pp. 474-480/

9. Mongush G.R. Application of biotechnology for processing mineral deposits of Tuva. New studies of Tuva, 2010, (1), pp. 228-242. (In Russ).

10. Kim P.P., Peretrutov A.A., Kim V.P. & Komarov V.A. Denitration of spent sulfuric acid. Chemical industry today, 2013, (8), pp. 9-10. (In Russ).

11. Aben E.Kh., Rustemov S.T., Bakhmagambetova G.B. & Akhmetkhanov D.K. Enhanced metal extraction based on activation of a leaching solution. Mining Information and Analytical Bulletin, 2019, (12), pp. 169-179. (In Russ).

12. Duisebaev B.O., Kopbaeva M.N., Panova E.N., Smilov E.K. & Kantbekuly M. Intensification of the process of underground borehole leaching of uranium based on the creation of a modular processing complex. Chemical industry, 2008, Vol. 85, (5), pp. 256-261. (In Russ).

13. Yussupov Kh.A., Omirgali A.K., Aben E.H. Application of mechanical activation of sorbent washing solution during borehole leaching of uranium. Mining Journal of Kazakhstan, 2020, (9), pp. 6-9. (In Russ).

14. Ashirbekov I.A., Abdullaev A.N., Kholikov A.M. & Yunusov B.A. On the dynamics of cavitation flows and the methodology for calculating the onset of cavitation in hydrodynamic systems / Actual issues of agricultural science development in modern economic conditions. Materials of the IV<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, 2015. pp. 136-138. (In Russ).

15. Yussupov Kh.A., Omirgali A.K., Aben E.Kh. & Rakhmanberdiy A.G. Problems of washing sorbents during processing of uranium ore / Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. Ivano-Frankivsk, 2020, April 1-3, pp.115.

## For citation

Omigali A.K., Aliev S.B., Yussupov Kh.A., Aben E.Kh. & Akhmetkhanov D.K. Improving the efficiency of denitration of sorbent solution in uranium geotechnology. Ugol', 2022, (4), pp. 72-76. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-72-76.

## Paper info

Received December 20, 2021

Reviewed January 15, 2022

Accepted March 22, 2022