

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ УРАНА

А. М. Зозуля¹, В. А. Овсейчук¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

Аннотация: Современные мировые и отечественные исследования в области горного дела уделяют значительное внимание математическому моделированию основных показателей геотехнологических процессов. За основу исследований принимается практический опыт работы предприятий и определение основных взаимосвязей, позволяющих прогнозировать те или иные параметры горных работ. В статье представлен подход, заключающий в себе достаточно обширную выборку статистических данных эксплуатации добычных полигонов скважинного подземного выщелачивания урановых руд (Хиатинской группы месторождений). В отечественной литературе, посвященной вопросам физико-химических методов добычи, рассматривается широкий комплекс проблем. В основном исследования сводятся к описанию частных процессов без статистической обработки показателей. Особенно ярко это выражается в отсутствии математического аппарата, позволяющего спрогнозировать содержание полезного компонента при растворении на различных стадиях выщелачивания. В статье предпринята попытка связать воедино, в том числе с использованием специализированного программного обеспечения, влияние концентрации реагентов, процессы фильтрации в водоносных горизонтах на эффективность процесса растворения полезного компонента. Цель исследования – создание мультипликативного математического аппарата, достаточно гибкого для изменяющихся технологических условий.

Ключевые слова: блочное подземное выщелачивание, скважинное подземное выщелачивание, урановая руда, функциональная зависимость, показатели выщелачивания, продуктивный раствор, выщелачивающий раствор, кислотность, продуктивный фронт, кислотный фронт.

Для цитирования: Зозуля А. М., Овсейчук В. А. Установление взаимосвязи между технологическими показателями при подземном выщелачивании урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-2. – С. 47–57. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_47.

Correlation of technological parameters in in-situ uranium leaching

A. M. Zozulia¹, V. A. Ovseychuk¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia

Abstract: The present-day international and domestic researches in the field of mining pay a considerable attention to mathematical modeling of the main indicators of geotechnological processes. The research basis is the practical experience of mines and the main relationships that make it possible to predict certain parameters of mining operations. This article presents an approach which embraces a fairly extensive selection of statistical data on operation of in-situ uranium leach mines (Khiagda deposit). The domestic literature discusses a wide range of problems connected with physicochemical methods of mineral mining. Basically, the studies are reduced to describing particular processes without statistical processing of key figures. The chief problem is the lack of a mathematical apparatus to predict the useful component content during dissolution at various stages of leaching. This study, using specialized software, makes an attempt to correlate the influence exerted by concentrations of reagents and by flow processes in aquifers on the effectiveness of dissolution of the useful component. The purpose of the study is creation of a multiplicative mathematical apparatus, flexible enough to allow adaptation to variable operating conditions.

Key words: block underground leaching, well sub-earth leaching, uranium ore, functional dependence, leaching targets, productive solution, leaching solution, acidity, productive front, acid front.

For citation: Zozulia A. M., Ovseychuk V. A. Correlation of technological parameters in in-situ uranium leaching. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-2):47-57. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_47.

Введение

В настоящее время российская и мировая атомная энергетика испытывает серьёзные трудности, связанные с дисбалансом производства топлива и потребностями атомных станций в сырье. Добывающий сегмент российской атомной отрасли способен обеспечить менее трети необходимого объема природного урана [1 – 18].

Истощение запасов богатых скальных руд делает применение традиционных методов добычи нерентабельными. Переход на более дешевые физико-химические технологии обработки рядовых и бедных урановых руд требует более углубленного изучения процессов подземного выщелачивания и взаимосвязи между технологическими показателями. В связи с этим возникает достаточно серьезная задача по концентрации усилий специалистов добывающих предприятий на повышении эффективности производства, составной частью чего является своевременный, всесторонний, а главное —

достоверный анализ, позволяющий прогнозировать показатели извлечения сырья на низовых производственных единицах — эксплуатационных блоках.

Главная цель при этом заключается в успешном планировании выполнения поставленных перед отраслью плановых показателей.

Технологическая часть. Обобщая опыт скважинного подземного выщелачивания (СПВ) обводненных песчаных ураносодержащих пластов, локализованных в палеодолинах, и блочного подземного выщелачивания (БПВ) скальных руд, можно сделать вывод о сродстве процессов, происходящих при переводе полезного компонента в подвижное состояние [19]. Поэтому в основу исследования авторов, направленного на установление основных технологических зависимостей между показателями ПВ, лег статистический материал, накопленный при разработке залежи X5 АО «Хиагда» на стадии активного выщелачивания. После определенных корректив данные зави-

симости возможно экстраполировать и на процесс БПВ.

На рис. 1 приведены полугодовые изменения содержания урана в продуктивных растворах (ПР) и концентрации серной кислоты в выщелачивающих растворах (ВР).

В ходе опытно-промышленного, а затем и промышленного освоения Хиагдинской группы месторождений установлено, что оптимальное расстояние между закачным и откачным рядами скважин составляет 35–40 м. Это расстояние фронт, насыщенный сульфатными радикалами, с содержанием серной кислоты около 10–14 г/л и кислотностью с показателем pH, равным 1,1–1,2, проходит приблизительно за 25–30 суток. Объясняется это скоростью фильтрации растворов 1,3–1,6 м/сут. За это время происходит расходование реагента на растворение урановых минералов и повышение pH до 1,8–1,9. Наблюдения

за изменением режимов подачи кислоты дают основания утверждать, что каждый отдельный фронт достигает откачного ряда дискретно, причем изменение концентрации полезного компонента в продуктивных растворах (ПР) зависит от концентрации реагента, поданного в закачной ряд. Иными словами, происходит отставание графика содержания урана в ПР от концентрации серной кислоты в выщелачивающих растворах (ВР) на период, равный времени фильтрации растворов через пласт. Таким образом, разбив данные графики на соответствующие участки (рис. 1), можно отметить определенную зависимость концентрации U от концентрации H_2SO_4 .

Сопоставление полученных таким образом участков (рис. 2) показывает относительную достоверность выводов о взаимозависимости технологических показателей. Из гистограмм видно, что временная протяженность

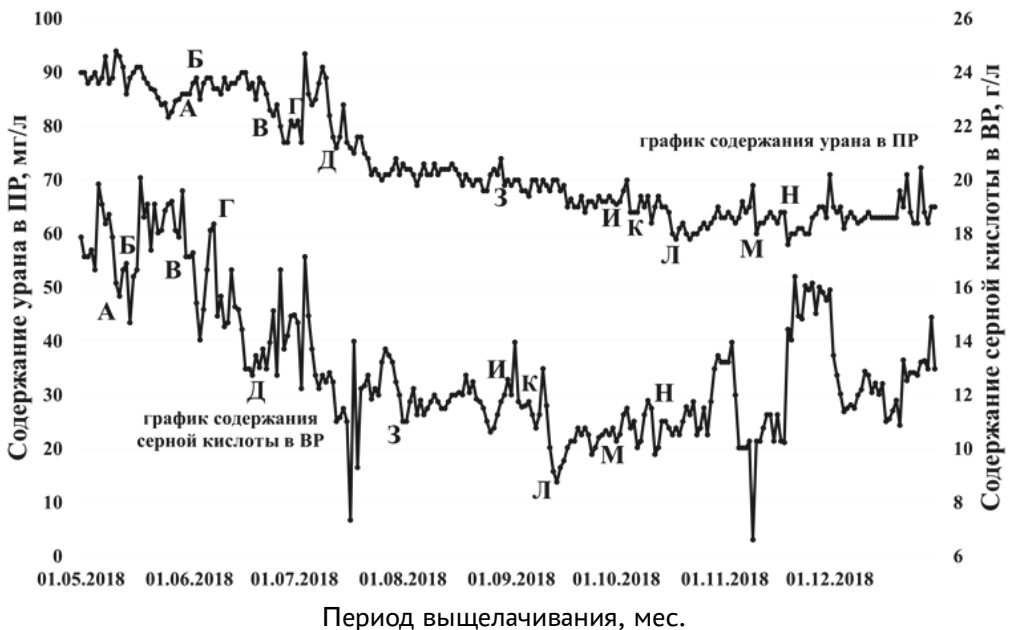


Рис. 1. Динамика изменения основных производственных показателей СПВ
Fig. 1. Dynamics of changes in the main production indicators of the SPV

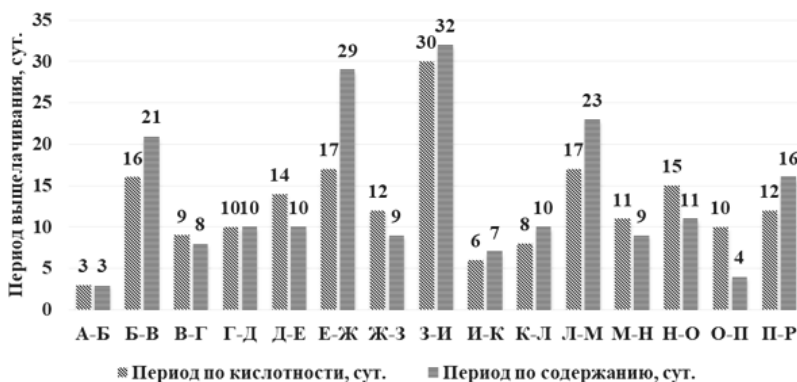


Рис. 2. Сопоставление длительности периодов подачи ВР с определенной кислотностью и соответствующих им периодов содержаний U в ПР
 Fig. 2. Comparison of the duration of the ВР supply periods with a certain acidity and the corresponding periods of the U content in the PR

периодов подачи кислоты с определенным содержанием незначительно отличается от временной протяженности соответствующих им периодов откачки ПР. Превышение отдельных столбцов на единицы пунктов объясняется тем, что анализ показателей производился по залежи X5 в целом без учета остановок отдельных скважин на ремонтно-восстановительные работы, когда могли выходить из строя отдельные скважины с аномальным для данных условий содержанием полезного компонента.

Другое обоснование кроется в предположении, основанном на анализе периодов перемещения продуктивного фронта от начальных условий по закислению. Из графиков, представленных на рис. 3, 4, видна обратная зависимость времени, необходимого продуктивному фронту на перемещение от закачного ряда к откачному. Это объясняется как различием гидродинамических свойств растворов с разным содержанием кислоты, так и скоростью протекания реакции [20]. Достоверность таких выводов можно подтвердить после проведения статистических исследований на более протяженной временной выборке.

Статистическая часть

В обоснование тезиса о взаимозависимости технологических показателей проанализируем соотношение двух смежных временных периодов К — Л и М — Н, интервал между которыми составляет 26 суток, а значение содержания урана и серной кислоты приблизительно равны.

Отобразив оба графика на одной координатной плоскости (рис. 5, 6), можно сделать вывод об очевидной линейной зависимости концентрации U в ПР от концентрации H_2SO_4 в ВР в данных сегментах. Для установления наиболее достоверной функции растворения урана от количественного содержания компонента произведем аппроксимацию каждого сегмента в отдельности, где аргументом выступит последний.

С использованием компьютерной программы Correlay, в основу которой положен метод наименьших квадратов, были получены функциональные зависимости, наиболее полные с высокой степенью достоверности, определяющие соотношение содержания U от концентрации H_2SO_4 в ВР [21]. В табл. 1 приведены четыре полученных уравне-

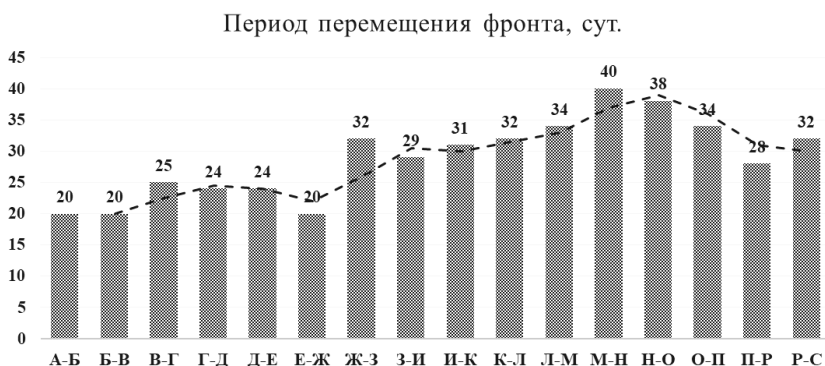


Рис. 3. Периоды перемещения продуктивных фронтов в водоносном горизонте
 Fig. 3. Periods of movement of productive fronts in the aquifer



Рис. 4. Средняя кислотность ВР за периоды перемещения продуктивных фронтов
 Fig. 4. Average BP acidity during the periods of movement of productive fronts

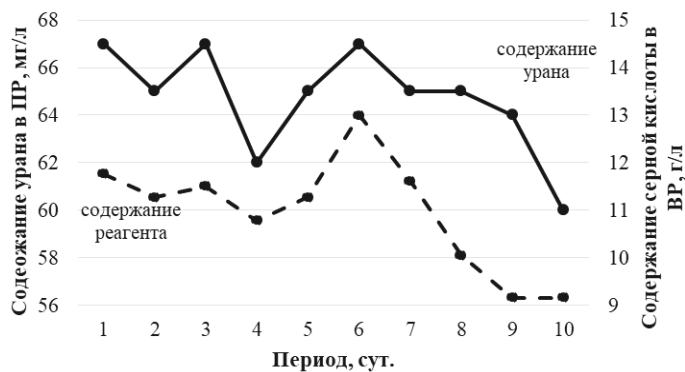


Рис. 5. Зависимость содержания урана в ПР от кислотности ВР в сегменте К – Л
 Fig. 5. Dependence of the uranium content in the PR from the acidity of BP in the K – L segment

ния с соответствующими коэффициентами для каждого сегмента.

Поскольку в условиях небольшой выборки статистических данных (10

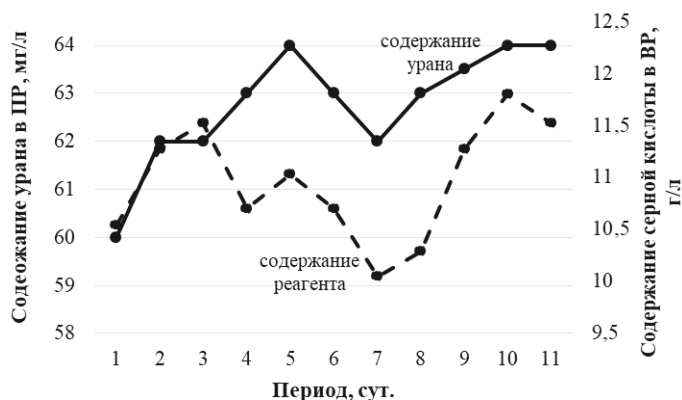


Рис. 6. Зависимость содержания урана в ПР от кислотности ВР в сегменте М – Н
 Fig. 6. Dependence of the uranium content in the PR from the acidity of BP in the M – N segment

Таблица 1

Приведение зависимости содержания U от концентрации H₂SO₄
 Reduction of the dependence of the U content on the H₂SO₄ concentration

Участок	Коэффициент	Уравнение функции			
		$y = A + Bx$	$y = A + B \ln x$	$y = Ae^{Bx}$	$y = \frac{x}{A + Bx}$
К – Л	A	49,49	29,03	37,01	0,0391
	B	1,38	14,93	0,23	0,01186
М – Н	A	52,37	38,098	42,308	0,029
	B	0,95	10,31	0,165	0,013

пунктов в сегменте К – Л и 11 – в сегменте М – Н) невозможно отдать предпочтение какой-либо из функций, авторы считают целесообразным вывести среднее от полученных количественных показателей, рассматривая каждое полученное значение как результат отдельного математического эксперимента [22]. В данном случае при определении среднего значения коэффициент Стьюдента принимался равным 3,182. Получаемое среднее значение укладывается в доверительный интервал, учитывающий погрешность, накопленную при аппроксимации (рис. 7, 8).

Таким образом, зависимость содержания урана в ПР от концентрации реагента в ВР на момент подачи в продук-

тивный пласт можно описать четырьмя независимыми уравнениями (см. табл.) с последующим выведением среднего значения, что в общем виде можно представить как

$$\gamma(c) = \bar{y} \quad (1)$$

где $\gamma(c)$ – функция, определяющая содержание урана от начальной концентрации H₂SO₄, мг/л; c – концентрация H₂SO₄ в ВР, г/л; y – усредненное значение зависимостей содержания урана от концентрации реагента, полученных при аппроксимации показателей выщелачивания.

Однако практика подземного выщелачивания показывает, что линейное представление о взаимозависимости основных технологических показателей

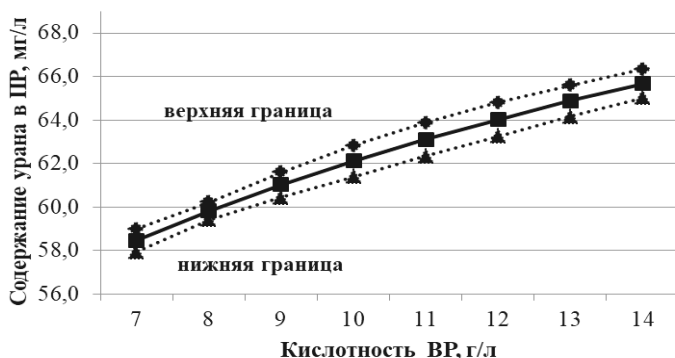


Рис. 7. Конечная зависимость содержания урана в ПР от кислотности ВР с доверительными интервалами в сегменте К – Л

Fig. 7. The final dependence of the uranium content in the PR from the acidity of BP with confidence intervals in the K – L segment

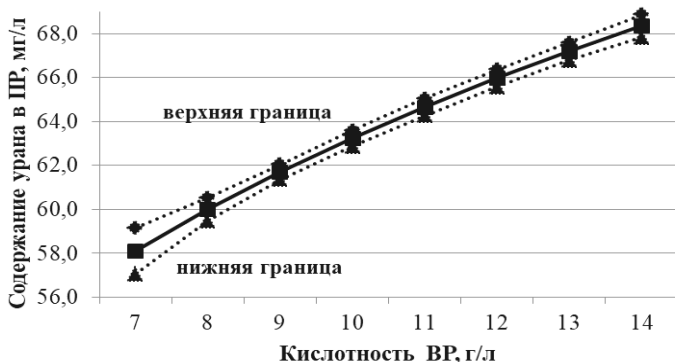


Рис. 8. Конечная зависимость содержания урана в ПР от кислотности ВР с доверительными интервалами в сегменте М – Н

Fig. 8. The final dependence of the uranium content in the PR from the acidity of BP with confidence intervals in the M – N segment

отражает картину не в полном объеме. По мере снижения площадной продуктивности полезного компонента в пласте за период эксплуатации, его массопереноса, выпадения в осадок и истощения запасов необходимо учитывать также коэффициент понижения содержания урана по времени $k(t)$. После анализов графиков корреляции концентрации полезного компонента (рис. 7, 8), было установлено, что за период времени, равный 25–30 суток, добыча урана на участке М – Н снизилась по срав-

нению с участком К – Л в 0,98 раза. Из этого вытекает вывод о внесении в качестве дополнения к предлагаемой авторами методике поправочного коэффициента $k(t)$, вследствие чего уравнение (1) примет вид:

$$\gamma(c,t) = k(t) \cdot \bar{y} \quad (2)$$

причем $k(30 \text{ сут.}) = 0,98$.

Выводы

Обобщая вышеизложенное, следует отметить, что выщелачивание урана

является, с одной стороны, непрерывным процессом, с другой – несет в себе элементы дискретности, поскольку численные показатели характеристик продуктивного фронта невозможно отслеживать непрерывно, а для установления сколько-нибудь достоверной и универсальной зависимости показателей необходимо накопление существенного объема статистического материала. Вместе с тем четко прослеживается прямая зависимость концентрации полезного компонента в ПР от количества поданного в недра реагента. Учитывая небольшую продолжительность отдельных сегментов, нельзя отдавать предпочтение какому-либо одному уравнению зависимости,

а следует прогностические расчеты производить комплексно с использованием наработанного математического аппарата.

Остаются недостаточно исследованными факторы, связанные со снижением концентрации реагента по времени (при прочих равных условиях), а также вопросы «сжатия – растяжения» времени перемещения продуктивных фронтов от количества поданной кислоты. Данные актуальные вопросы математического моделирования процессов выщелачивания требуют дальнейшего всестороннего изучения, а решение поставленной научной задачи позволит наиболее эффективно подходить к вопросам недропользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акимов А. М., Котельникова С. А.* Разработка и испытание исследовательского комплекса для выщелачивания урана из горных отвалов уранодобывающих шахт / Сборник статей по материалам научно-практической конференции «Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности». Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2016. С. 238 – 241.
2. *Бейдин А. В., Овсейчук В. А., Морозов А. А.* Исследования выщелачиваемости руд, добытых камерными системами, в зависимости от горно-геологических и технологических факторов / Вестник ЗабГУ. – Чита: ЗабГУ, 2017. – Вып. № 9. – С. 4 – 11.
3. *Бейдин А. В., Овсейчук В. А., Морозов А. А.* Исследования сортируемости руд, добытых камерными системами, в зависимости от куска сортируемой горнорудной массы // Вестник ЗабГУ. – Чита: ЗабГУ, 2017. – Вып. № 8. – С. 33 – 40.
4. *Гусаров М. А., Юров А. В., Щипков А. А., Леонов С. В.* Анализ применимости законов распределения для оценки надежности системы оперативного управления добычей урана методом скважинного подземного выщелачивания / Сборник статей по материалам научно-практической конференции «Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий». – Москва: НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 94.
5. *Голик В. И.* Анализ полноты выщелачиваемости урана в кучах / Маркшейдерия и недропользование. – Москва: ООО «Геомар Недра», 2017. – Вып. № 3 (89). – С. 24 – 33.
6. *Гончарова Н. А., Гуцул М. В., Носков М. Д.* Предпроектное геотехнологическое моделирование отработки блока месторождения урана методом скважинного подземного выщелачивания // Известия высших учебных заведений. Физика. – Томск: НИ ТПУ, 2017. – Том 60. – № 9 – 2. – С. 29 – 32.
7. *Кочкин Б. Т., Солодов И. Н., Ганина Н. И., Рекун М. Л., Тарасов Н. Н., Шугина Г. А., Шулик Л. С.* Геохимические особенности рудовмещающей среды на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля // Геология рудных месторождений. – Москва: РАН, 2017. – Вып. № 5. – С. 349 – 362.

8. Машковцев Г. А., Митуга А. К., Полонянкина С. В., Солодов И. Н., Щеточкин В. Н. Проблемы и перспективы обеспечения атомной отрасли России природным ураном / Разведка и охрана недр. — Москва: ВНИИМС им. Н. М. Федоровского, 2016. — Вып. № 9. — С. 80–87.
9. Медведев В. В., Зозуля А. М., Гуров С. Г. Повышение эффективности подготовки блока к подземному выщелачиванию пологих рудных тел // Горный журнал. — Москва: Руда и металлы, 2018. — Вып. № 7. — С. 49–53.
10. Солодов И. Н., Гладышев А. В., Иванов А. Г. Опыт добычи урана методом скважинного подземного выщелачивания в криолитозоне // Разведка и охрана недр. — Москва: ВНИИМС им. Н. М. Федоровского, 2017. — Вып. № 11. — С. 65–70.
11. Солодов И. Н., Полонянкина С. В., Воробьева Л. Ю., Носков М. Д., Иванов А. Г. Устранение потерь и разубоживания урана при скважинном подземном выщелачивании // Разведка и охрана недр. — Москва: ВНИИМС им. Н. М. Федоровского, 2018. — Вып. № 7. — С. 52–58.
12. Солодов И. Н., Морозов А. А., Физико-химические геотехнологии — главный вектор развития уранодобывающей отрасли // Горный журнал. — Москва: Руда и металлы, 2017. — Вып. № 8. — С. 5–10.
13. Шрайнер А. Э. Применение нерегулярных схем расположения скважин при добыче урана методом скважинного подземного выщелачивания: Сборник статей по материалам XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. — Томск: НИ ТПУ, 2017. — С. 606–607.
14. Castro L., Blázquez M. L., González F., Muñoz J. A., and Ballester A. “Reductive leaching of jarosites by *Aeromonas hydrophila*,” *Minerals Engineering*, vol. 95, pp. 21–28, 2016.
15. Potysz A., P. N. L. Lens, J. van de Vossenberg et al. “Comparison of Cu, Zn and Fe bioleaching from Cu-metallurgical slags in the presence of *Pseudomonas fluorescens* and *Acidithiobacillus thiooxidans*.” *Applied Geochemistry*, vol. 68, pp. 39–52, 2016.
16. Polak C. International Symposium on 23–27 June 2014 Vienna, Austria Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues // International Atomic Energy Agency. — Vienna, 2014. — Pp. 8–9 (254 s). URL: <http://www-pub.iaea.org/iaeametings/46085/> (дата обращения: 19.08.2016).
17. Yang Y., Liu W., S. Bhargava K., Zeng W., Chen M. “A XANES and XRD study of chalcopyrite bioleaching with pyrite”. *Minerals Engineering*, vol. 89, pp. 157–162, 2016.
18. Fonti V., Dell’Anno A., Beolchini F. “Does bioleaching represent a biotechnological strategy for remediation of contaminated sediments?” *Science of the Total Environment*, vol. 563–564, pp. 302–319, 2016.
19. Бейдин А. В., Овсейчук В. А., Морозов А. А. Технология рудоподготовки и ренгенометрической сепарации бедных урановых руд в подземных условиях // Горный журнал. — Москва: Руда и металлы, 2018. — Вып. № 7. — С. 63–68.
20. Голик В. И., Заалишвили В. Б., Разоренов Ю. И. Опыт добычи урана выщелачиванием // Горный информационно-аналитический бюллетень. — Москва: ООО «Горная книга», 2014. — Вып. № 7. — С. 97–103.
21. Аликулов Ш. Ш. Математическое моделирование фильтрации растворов подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд // Известия высших учебных заведений. — Екатеринбург: УрГГУ, 2017. — Вып. № 5. — С. 95–101.
22. Лизункин М. В. Технологические схемы подготовки руды для блочного подземного выщелачивания при отработке месторождений Стрельцовского рудного поля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — Москва: ООО «Горная книга», 2016. — Вып. № 3. — С. 297–305. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Akimov A. M., Kotel'nikova S. A. *Razrabotka i ispytanie issledovatel'skogo kompleksa dlya vyshchelachivaniya urana iz gornyh otvalov uranodobyvayushchih shaht* [Development and testing of a research complex for leaching uranium from mining dumps of uranium-producing mines]. Sbornik statej po materialam nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye voprosy yaderno-himicheskikh tekhnologij i ekologicheskoy bezopasnosti». Sevastopol': FGAOU VO «SevGU», 2016. pp. 238–241. [In Russ]
2. Bejdin A. V., Ovsejchuk V. A., Morozov A. A. Studies of leachability of ores extracted by chamber systems, depending on mining and geological and technological factors. *Vestnik ZabGU*. Chita: ZabGU, 2017. Vyp. no. 9. pp. 4–11. [In Russ]
3. Bejdin A. V., Ovsejchuk V. A., Morozov A. A. Studies continue in line with the ores mined chamber system, depending on the piece of sorti-sponsored mass mining. *Vestnik ZabGU*. Chita: ZabGU, 2017. Vyp. no. 8. pp. 33–40. [In Russ]
4. Gusarov M. A., Yurov A. V., Shchipkov A. A., Leonov S. V. *Analiz primenimosti zakonov raspredeleniya dlya ocenki nadezhnosti sistemy operativnogo upravleniya dobychej urana metodom skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniya* [The analysis of the applicability of the laws of distribution to assess the reliability of the system the operational governance of the uranium mining method of underground leaching]. Sbornik statej po materialam nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy innovacionnogo razvitiya yadernyh tekhnologij». Moscow: NIYaU MIFI, 2018. p. 94. [In Russ]
5. Golik V. I. Analysis of the completeness of uranium leachability in piles. *Markshejderiya i nedropol'zovanie*. Moscow: OOO «Geomar Nedra», 2017. Vyp. no. 3 (89). pp. 24–33. [In Russ]
6. Goncharova N. A., Gucul M. V., Noskov M. D. Pre-Project geotechnical modeling of mining a block of a uranium Deposit using the method of well underground leaching. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Fizika*. Tomsk: NI TPU, 2017. Tom 60. no. 9–2. pp. 29–32. [In Russ]
7. Kochkin B. T., Solodov I. N., Ganina N. I., Rekun M. L., Tarasov N.N., Shugina G. A., Shulik L. S. Geochemical features of the ore-containing medium in the uranium deposits of the Khiagda ore field. *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*. Moscow: RAN, 2017. Vyp. no. 5. pp. 349–362. [In Russ]
8. Mashkovcev G. A., Mituga A. K., Polonyankina S. V., Solodov I. N., Shchetochkin V. N. Problems and prospects of providing the Russian nuclear industry with natural uranium. *Razvedka i ohrana nedr*. Moscow: VNIIMS im. N. M. Fedorovskogo, 2016. Vyp. no. 9. pp. 80–87. [In Russ]
9. Medvedev V. V., Zozulya A. M., Gurov S. G. Improving the efficiency of block preparation for underground leaching of flat ore bodies. *Gornyj zhurnal*. Moscow: Ruda i metally, 2018. Vyp. no. 7. pp. 49–53. [In Russ]
10. Solodov I. N., Gladyshev A. V., Ivanov A. G. Experience of uranium extraction by means of well underground leaching in the cryolithozone. *Razvedka i ohrana nedr*. Moscow: VNIIMS im. N. M. Fedorovskogo, 2017. Vyp. no. 11. pp. 65–70. [In Russ]
11. Solodov I. N., Polonyankina S. V., Vorob'eva L. Yu., Noskov M. D., Ivanov A. G. Elimination of losses and dilution of uranium during borehole underground leaching. *Razvedka i ohrana nedr*. Moscow: VNIIMS im. N. M. Fedorovskogo, 2018. Vyp. no. 7. pp. 52–58. [In Russ]
12. Solodov I. N., Morozov A. A., Physical and chemical geotechnologies the main vector of development of the uranium mining industry. *Gornyj zhurnal*. Moscow: Ruda i metally, 2017. Vyp. no. 8. pp. 5–10. [In Russ]
13. Shrajner A. E. *Primenenie neregulyarnyh skhem raspolozheniya skvazhin pri dobyche urana metodom skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniya* [Use of irregular schemes of arrangement of wells for the extraction of uranium using in situ recovery]: Sbornik statej

po materialam XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodyh uchyonyh, posvyashchennogo 130-letiyu so dnya rozhdeniya professora M. I. Kuchina. Tomsk: NI TPU, 2017. pp. 606 – 607. [In Russ]

14. Castro L., Blázquez M. L., González F., Muñoz J. A., and Ballester A. Reductive leaching of jarosites by *Aeromonas hydrophila*. *Minerals Engineering*, vol. 95, pp. 21 – 28, 2016.

15. Potysz A., P. N. L. Lens, J. van de Vossenberg et al. Comparison of Cu, Zn and Fe bioleaching from Cu-metallurgical slags in the presence of *Pseudomonas fluorescens* and *Acidithiobacillus thiooxidans*. *Applied Geochemistry*, vol. 68, pp. 39 – 52, 2016.

16. Polak C. International Symposium on 23 – 27 June 2014 Vienna, Austria Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues. International Atomic Energy Agency. Vienna, 2014. Pp. 8 – 9 (254 p). URL: <http://www-pub.iaea.org/iaea meetings/46085/> (data obrashcheniya: 19.08.2016).

17. Yang Y., Liu W., S. Bhargava K., Zeng W., Chen M. “A XANES and XRD study of chalcopyrite bioleaching with pyrite”. *Minerals Engineering*, vol. 89, pp. 157 – 162, 2016.

18. Fonti V., Dell’Anno. A., Beolchini F. “Does bioleaching represent a biotechnological strategy for remediation of contaminated sediments?” *Science of the Total Environment*, vol. 563 – 564, pp. 302 – 319, 2016.

19. Bejdin A. V., Ovsejchuk V. A., Morozov A. A. Technology of ore preparation and renegoradiometric separation of poor uranium ores in underground conditions. *Gornyj zhurnal*. Moscow: Ruda i metally, 2018. Vyp. no. 7. pp. 63 – 68. [In Russ]

20. Golik V. I., Zaalishvili V. B., Razorenov Yu. I. Experience of uranium mining by leaching. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014. no. 7. pp. 97 – 103. [In Russ]

21. Alikulov Sh. Sh. Mathematical modeling of filtration of underground leaching of uranium from weakly permeable ores. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij*. Ekaterinburg: UrGGU, 2017. Vyp. no. 5. pp. 95 – 101. [In Russ]

22. Lizunkin M. V. Technological schemes of ore preparation for block underground leaching when working out deposits of the Streltsy ore field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016. no. 3. pp. 297 – 305. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зозуля Артем Михайлович¹ – аспирант, mr.hunter.82@mail.ru;

Овсейчук Василий Афанасьевич¹ – докт. техн. наук, профессор кафедры «Подземной разработки месторождений полезных ископаемых», mks3115637@yandex.ru;

¹ Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zozuliy A. M.¹, post-graduate student, mr.hunter.82@mail.ru;

Ovseytchuk B. A.¹, Dr. Sci. (Eng.), professor of stand «Underground Extractions of mineral deposits », Mks3115637@yandex.ru;

¹ Transbaikalian state university, Chita, Russia.

Получена редакцией 20.11.2020; получена после рецензии 17.12.2020; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 20.11.2020; received after the review 17.12.2020; accepted for printing 10.02.2021.

