

## ОСОБЕННОСТИ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В КРИОЛИТОЗОНЕ ХИАГДИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

А. Г. Верхотуров<sup>1</sup>, А. А. Сабигатулин<sup>1</sup>, А. М. Зозуля<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

**Аннотация:** Метод скважинного подземного выщелачивания (СПВ) урана, используемый на Хиагдинском рудном поле, требует обеспечения непрерывности функционирования геотехнологических скважин и беспрепятственного движения выщелачивающих и продуктивных растворов. Низкая температура выщелачивающих растворов в рудоносных горизонтах существенно влияет на их вязкость и скорости фильтрации, поэтому разработка гидрогенных месторождений в криолитозоне по технологическим причинам приводит к существенным потерям полезного компонента на месте его залегания. Установлено, что изменение температур выщелачивающих растворов по откачным скважинам изменяется от 4,2 до 20,1 °С, а отстойниках от 6,45 до 18,1 °С. Одним из способов повышения эффективности показателей производства является локальная подача растворов серной кислоты в зоны откачных скважин. При эксплуатации скважин тепловое воздействие на мерзлые породы становится крайне интенсивным и приводит к возникновению термокарста в прискважинном пространстве. Наличие многолетнемерзлых пород мощностью до 90 м при кратковременной остановке скважин может приводить к формированию ледяных пробок, деформированию обсадных труб и выводу откачных скважин из эксплуатации. Изучение динамики криолитозоны необходимо и для обеспечения экологической безопасности при обработке месторождения.

**Ключевые слова:** геотехнология, уран, скважина, выщелачивание, фильтрация, зона, кольматация, производительность, восстановление, криолитозона.

**Для цитирования:** Верхотуров А. Г., Сабигатулин А. А., Зозуля А. М. Особенности скважинного подземного выщелачивания в криолитозоне Хиагдинского рудного поля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-2. – С. 37-46. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_32\_0\_37.

### Features of in-situ leaching in the permafrost zone of the Khiagda ore field

A. G. Verkhoturov<sup>1</sup>, A. A. Sabigatulin<sup>1</sup>, A. M. Zozulya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Transbaikal State University, Chita, Russia

**Abstract:** The method of in-situ leaching (ISL) of uranium, used in the Khiagda ore field, requires continuous operation of production wells and the unimpeded flow of leaching and pregnant solutions. The low temperature of the leaching solutions in the ore-bearing horizons greatly affects viscosity and permeation rate of the solutions. For this reason, development of hydrogenous deposits in the permafrost zone results in significant technological in-situ losses

of useful minerals. It is found that temperatures of leaching solutions vary from 4.2 to 20.1 °C in pumping wells and from 6.45 to 18.1 °C in settling ponds. One of the ways to increase the leaching efficiency is the local feed of sulfuric acid solutions to the zones of pumping wells. During operation of the wells, the thermal effect on frozen rocks becomes extremely intense and leads to the appearance of thermokarst in the near-wellbore space. After the well shutdown even for a short time, the presence of permafrost rocks with a thickness of up to 90 m can lead to the formation of ice plugs, deformation of casing pipes and to breakdown of pumping wells. The study into the permafrost zone behavior dynamics is also necessary to ensure the environmental safety of mining.

**Key words:** geotechnology, uranium, well, leaching, filtration, zone, colmatation, productivity, recovery, cryolithozona.

**For citation:** Verkhoturov A. G., Sabigatulin A. A., Zozulya A. M. Features of in-situ leaching in the permafrost zone of the Khiagda ore field. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-2):37-46. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_32\_0\_37.

---

## **Введение**

Скважинное подземное выщелачивания (СПВ) на уранодобывающем предприятии АО «Хиагда» впервые применяется в условиях южной криолитозоны, мощность которой достигает 90 метров. Наличие многолетнемерзлых пород (ММП) требует обеспечения непрерывности функционирования геотехнологических скважин и беспрепятственного движения выщелачивающих и продуктивных растворов. Преимущественно сплошное распространение ММП значительно осложняет сооружение и эксплуатацию геотехнологических скважин [1]. Кратковременная остановка работы скважин может приводит к формированию ледяных пробок и выводу откачных скважин из эксплуатации [2]. Исходя из рассмотренной выше проблемы, целью исследований являлось изучение динамики криолитозоны на территории действующего предприятия для обеспечения его безаварийной работы [3–8].

Задачи работ состояли в наблюдении за температурным режимом подземных вод и продуктивных растворов и анализе причин, вызывающих прекращение работы откачных скважин [9, 10].

## **Методы исследований и характеристика условий добычи урана**

В соответствии с целью и задачами исследований методика исследований включала: сбор, анализ и обработку материалов мерзлотно-гидрогеологических исследований, ранее выполненных на месторождении, оценку гидрометеорологических условий, измерения температур подземных вод, рекогносцировочное обследование территории, анализ данных ремонтно-восстановительных работ на откачных скважинах, связанных с их криогенным деформированием [11].

Хиагдинское рудное поле состоит из 8 месторождений: Хиагдинское, Тетрахское, Вершинное, Источное, Количиканское, Кореткондинское, Намаруское и Дыбынское (рис. 1) [12]. Все они приурочены к отложениям захороненных речных палеодолин неогенового возраста [13]. По мере освоения запасов Хиагдинского месторождения в отработку будут вовлекаться другие объекты рудного поля.

Процесс добычи урана на месторождении заключается в подаче выщелачивающих растворов в закачную скважину, растворении рудных минера-

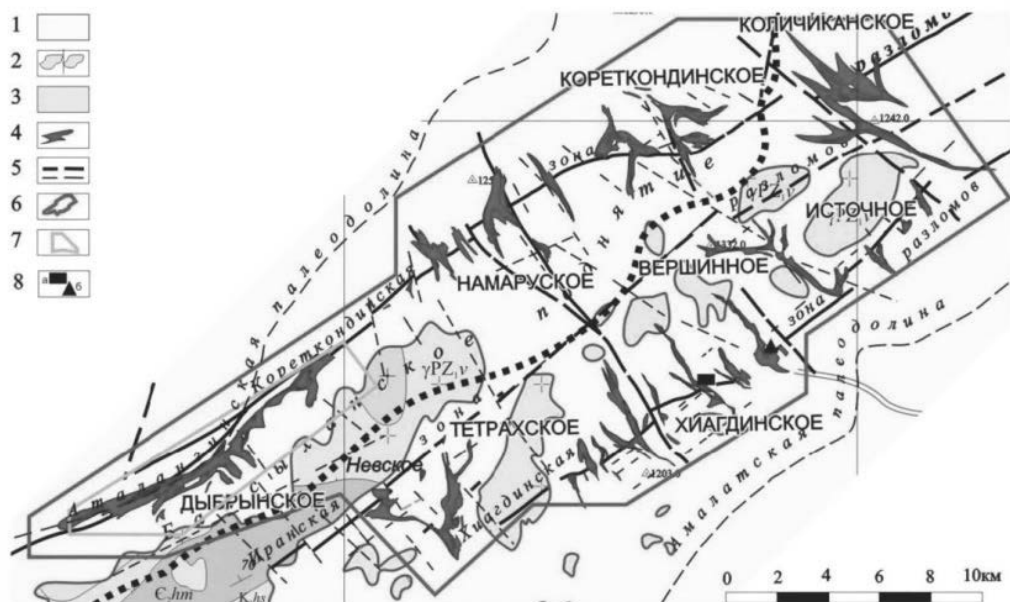


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Хиагдинского рудного поля [14]: 1 – гранитоиды Витимканского комплекса (2 – донеогеновые осадочные образования, выходящие на поверхность; 3 – гранитоиды куналейского комплекса ()); 4 – контуры месторождений (залежей) урана; 5 – тектонические нарушения разного ранга; 6 – контур Хиагдинского рудного поля; 7 – контур месторождения Дыбрын; 8- разведочно-эксплуатационные участки: а) первой очереди, б) второй очереди

Fig. 1. Schematic geological map of the Khiagda ore field [14]: 1 – granitoids of the Vitimkan complex (2 – pre-Neogene sedimentary formations coming to the surface; 3 – granitoids of the Kunalei complex ()); 4 – contours of uranium deposits (deposits); 5 – tectonic disturbances of various ranks; 6 – contour of the Khiagda ore field; 7 – contour of the Dybryn deposit; 8 – exploration and production areas: a) the first stage, b) the second stage

лов и переводе их в подвижное состояние, последующей откачке продуктивных растворов из откачной скважины на сорбционно-десорбционный передел для получения готовой продукции. С поверхности рудное тело перекрыто ММП, мощность которых достигает 90 м [15–17].

Сплошное распространение ММП в районе нарушается сквозными подрусловыми, подозерными и таликами на участках водоносных разломов. По этим таликам осуществляется питание и разгрузка подмерзлотных вод, не контактирующих с подошвой ММП непосредственно на месторождении

и контактирующих в областях разгрузки [18–20].

Температура подмерзлотных вод в рудоносном горизонте достаточно низкая и составляет 2–4 °С, что существенно сказывается на кинетике растворения урана. Низкая температура выщелачивающих растворов в рудоносных горизонтах существенно влияет на их вязкость. Повышение температуры растворов до 20 °С снижает их вязкость в 2,5 раза, соответственно изменяются и коэффициенты фильтрации в среднем от 2.09 м/сут до 3,6 м/сут. В результате повышается выщелачивающая способность растворов,

а соответственно производительность откачных скважин.

### Результаты исследований и обсуждение

В процессе эксплуатации полигонов выщелачивания практически не ведется режимных наблюдений за температурами многолетнемерзлых пород. В то же время в течение всего периода эксплуатации проводятся режимные замеры температур выщелачивающих и продуктивных растворов при помощи

специальных погружных термометров. В табл. 1 представлен анализ изменения температур растворов с 2016 по 2019 год.

Результаты исследований показали, что изменение температур выщелачивающих растворов по откачным скважинам варьирует от 4,2 до 20,1 °С, а отстойниках 6,45 до 18,1 °С.

Основным материалом обсадных труб откачных геотехнологических скважин является полиэтилен низкого давления или непластифицированный

Таблица 1

#### Сравнительный анализ температур выщелачивающих растворов Comparative analysis of leaching solution temperatures

Год	Залежь №	Средняя температура в зимний период, °С		
		в откачных скважинах	в отстойниках	Воздуха
1	2	3	4	5
2016	х5	11,2	—	-23,3 ноябрь-декабрь
	х6	—	13,6	
	х7	10,25	—	
	х3	9,95	—	
	х3а	6,45	13,9	
	и1	4,2	6,45	
2017	х5	12,1	—	-16,22 январь-апрель
	х6	—	12,72	
	х7	13,02	—	
	х3	11,42	—	
	х3а	9,2	12,95	
	и1	5,2	6,62	
2018	х5	13,24	—	-22,65 январь-март
	х6	—	11,7	
	х7	9,5	—	
	х3	11,82	—	
	х3а	14,01	12,1	
	и1	6,09	7,24	
	в1	4,97	6,53	
2019	х5	14,91	—	-20,7 январь-март октябрь-декабрь
	х3	15,95	—	
	х3а	17,1	18,1	
	и1	7,38	7,75	
	в1	6,47	7,31	
	х4	20,1	14	

поливинилхлорид [21]. Известно, что при бурении в интервалах, сложенных многолетнемерзлыми породами, происходит растепление стенок ствола скважины, цементированных льдом, и интенсивное кавернообразование.

Процесс растепления многолетнемерзлых пород происходит в два этапа: во время бурения скважины и в период ее эксплуатации. При эксплуатации скважин тепловое воздействие на мерзлые породы становится крайне интенсивным (табл. 1). Лед, превращаясь в воду, занимает меньший объем, в результате зона протаивания и кавернообразования (при высокой льдистости ММП) превращается в зону развития термокарста. Фактический объем ствола может превосходить номинальный в 3 раза и более. Процесс растепления начинается снизу и постепенно поднимается вверх по стволу скважины. В результате этого снижается прочность сцепления мерзлых пород с цементным камнем и сила тре-

ния в разрыхленных оттаявших породах, что может привести к опусканию колонны, нарушению прямолинейности колонны под действием сжимающих напряжений и герметичности ее резьбовых соединений [21, 22]. При длительных остановках эксплуатационных скважин возможно замерзание воды в заколонном пространстве, в интервале нахождения многолетнемерзлых пород, смятие обсадных колонн и формирование ледяных пробок.

Помимо описанного выше, важной особенностью процесса выщелачивания урана является увеличение расхода реагента (серной кислоты) из-за снижения его активности по мере продвижения продуктивного фронта от ряда закачных скважин до откачных. Таким образом, происходит снижение кислотности со значения рН, равного 1,2 – 1,3 до 1,8 – 1,9. Данный факт обуславливает образование гидроксид-ионов, мигрирующих вместе с продуктивным фронтом. Как отмечают специалисты

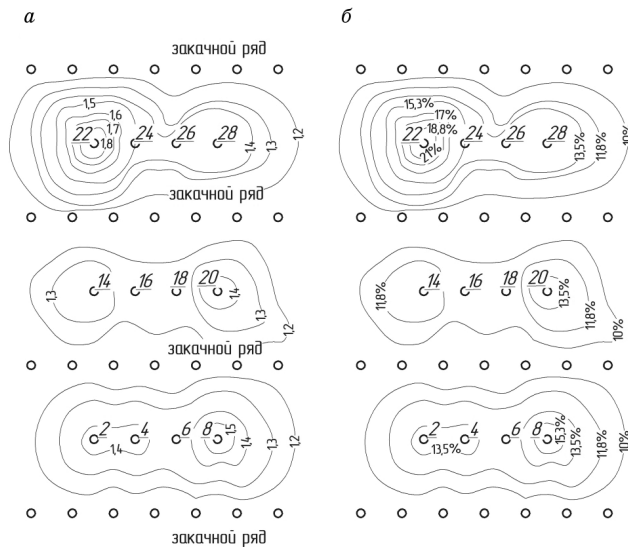
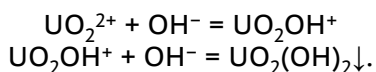


Рис. 2. Распределение продуктивности в урановом пласте на стадии выщелачивания: а – изогипсы кислотных фронтов; б – изогипсы доли образования гидроксильных групп  
 Fig. 2. Distribution of productivity in the uranium layer at the leaching stage: а – isohypses of acid fronts; б – isohypses of the fraction of hydroxyl group formation

ТОО «Семизбай – И», при диссоциации серной кислоты в водном растворе происходит образование двуокиси урана, которая, взаимодействуя с гидроксогруппой, образует выпадающий в осадок гидроксид уранила по схеме:



В одной из публикаций установлена количественная зависимость выпадения урана в осадок от кислотности среды [23], которая представлена на рис. 2а на примере одного из эксплуатационных блоков Хиагдинской группы месторождений. Как видно из схемы, зона пониженной кислотности образуется в районе откачных скважин, где происходит переотложение урана.

Следует отметить, что выпавший в осадок уран переходит в раствор при последующем росте кислотности, поэтому одним из способов повышения эффективности показателей производства является локальная подача раство-

ров серной кислоты в зоны откачных скважин.

Важной составляющей, влияющей на эксплуатацию добычных полигонов в условиях криолитозоны, является низкая температура растворов в водоносных горизонтах, что дополнительно снижает скорость протекания реакций и, следовательно, растворимость полезного компонента. В табл. 2 приведены показатели среднесуточных потерь урана на месте залегания от причин, связанных с падением кислотности и температурных факторов.

Обобщая описанное выше, можно сделать вывод о том, что разработка гидрогенных месторождений в криолитозоне методом скважинного подземного выщелачивания по технологическим причинам приводит к существенным потерям полезного компонента на участках выщелачивания.

Вопрос о повышении эффективности за счет растворения выпадающих в осадок урановых комплексов остаётся открытым и требует всестороннего изучения.

Таблица 2

*Суточные потери полезного компонента в виде гидроксид уранила*  
*Daily losses of the useful component in the form of uranyl hydroxide*

№ скважины	Дебет, м <sup>3</sup> /ч	pH растворов	Содержание урана, г/л	Осаждение урана в массиве, %	Суточные потери урана при осаждении, кг
2	3,1	1,41	151	14,0	1,8
4	2,5	1,43	23	14,0	0,2
6	4,1	1,35	98	12,1	1,3
8	6,3	1,61	320	15,7	9,0
14	1,5	1,39	123	12,5	0,6
16	2,0	1,23	45	11,0	0,3
18	5,6	1,22	40	11,0	0,7
20	6,3	1,45	99	14,5	2,5
22	5,5	1,90	147	22,0	5,5
24	3,0	1,50	15	15,3	0,2
26	2,8	1,41	225	14,0	2,5
28	4,1	1,45	311	14,1	5,0
				Итого:	29,6

## Заключение

Интенсификация добычи в связи с нарастающей потребностью в уране является одной из актуальных задач на современном этапе разработки месторождения. Одним из основных направлений является обеспечение непрерывности процесса производства, которое определяется нормальным функционированием геотехнологических скважин и беспрепятственным движением выщелачивающих растворов. Работы по анализу и подбору оптимального температурного режима при разработке месторождений урана

методом скважинного подземного выщелачивания крайне важны. Наряду с обеспечением интенсификации добычи урана на месторождениях АО «Хиагда» необходимо обеспечение максимальной сохранности ММП для экологической безопасности района месторождения и прилегающих территорий.

Наблюдения за температурным режимом продуктивных растворов и ММП следует автоматизировать, так как от своевременного снятия показаний и обработки данных зависит технологический процесс и качество обработки полигонов СПВ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Christie Fabien / Angewandtes Vier-Phasen-Modell im norwegischen Permafrost / Bachelorarbeit, Universität Freiburg-CH, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Departement für Geowissenschaften / 2015.
2. Solodov I. N. In Situ Leach Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine, Russain Federatin // URAM-2014. IAEA. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cucle: Exploration, Mining, Production, Sypply and De-mand, Economics and Environment issues Vienna, Austria 23 – 27 June, 2014.
3. Агошков М. И., Малахов Г. М. Подземная разработка рудных месторождений – М.: Недра, 1966. – 664 с.
4. Антоненко Г. К., Гольдберг В. М. Фильтрационные свойства пород и вязкость растворов глубоких водоносных горизонтов. – М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1969. – 73 с.
5. Арнс В. Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 264 с.
6. Добыча урана методом подземного выщелачивания под ред. В. А. Мамилова. – М.: Атомиздат, 1980. – 248 с.
7. Manfred Hartmut Akstinat / Bohrlochzementation – Herausforderungen der Ölfeldchemie – / Cementing – Challenges of Oilfield Chemistry – (German Edition) / 2015.
8. The International Journal of Engineering and Science (IJES). Volume 8 Issue. 3 Series I. Pages. PP 80–84.2019. ISSN (e): 2319 – 1813 ISSN (p): 23–19 – 1805.
9. Saleh Ahmed, Fathi Elldakli, Phillip Mcelroy / Simulation Techniques used for Modeling Horizontal Wells andThe Role of Grid Refinement / 2019.
10. Пенкевич С. В. Методические указания к расчёту эрлифта при откачке из гидрогеологических скважин. – М.: МГГРУ, 2003. – 28 с.
11. Волков В. П. Сорбционные процессы действующих производств. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2014. – 160 с.
12. Матаев М. М., Кенжетаяев Ж. С. Подбор эффективных методов ремонтно-восстановительных работ при подземном выщелачивании урана// Успехи современного естествознания. – 2015. – №1. – С. 1001–1004.
13. Вестник РАЕН Издательство: Российская академия естественных наук (Москва). ISSN: 1682 – 1696 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29274270>.

13. Домаренко В. А., Краморенко С. В., Чернев Е. М. Поведение урана и радия при формировании руд месторождения Дыбын (Витимский ураново-рудный район, Республика Бурятия) // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием к 120-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР, профессора Феликса Николаевича Шахова. — Новосибирск, 2014. — С. 210—216.

14. Геологический портал GeoKniga <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-materialy-konferencii.pdf>.

15. Справочник по геотехнологии урана / [Белецкий В. И. и др.]; Под. ред. Д. И. Скоророва. — Энергоатомиздат, 1997. — 672 с.

16. Бурение и оборудование геотехнологических скважин / И. А. Сергиенко, А. Ф. Мосев, Э. А. Бочко, М. К. Пименов. — М.: Недра, 1984. — 224 с.

17. Халимов И. У. Совершенствование технологии скважинного подземного выщелачивания на основе развития процесса гидравлического разрыва пласта: дис. к.т.н. — М.: РГГРУ, 2014.

18. Оракбаев Е. Ж. Исследование и разработка эффективных систем управления процессом подземного выщелачивания: дис. докт. наук. — Алматы: КНИТУ им. К. И. Сатпаева, 2017. — 117 с.

19. International overview of ISL uranium mining operations // P/ Woods, Th. Pool2, V. Benes, O. Gorbatenko, B. Jones, H. Marten, I. Solodov, J.Slezak. / IAEA — URANIUM RAW MATERIAL FOR THE NUCLEAR FUEL CYCLE: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues 23—27 June, 2014 Vienna, Austria URAM 2014.

20. Верхотуров А. Г., Сабигатулин А. А. Совершенствование конструкции и ремонт геотехнологических скважин, сооружаемых в криолитозоне Центрального Забайкалья: сб. науч. ст. — Чита: ЗабГУ, 2018.- Ч.2. — С. 20—24.

21. The influence of high infiltration rates, suspended sediment concentration and sediment grain size on river and lake bed clogging. January 2015 DOI: 10.14279/depositonce-4399. Marcus Soares / The influence of high infiltration rates, suspended sediment concentration and sediment grain size on river and lake bed clogging / 2015.

22. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет (Пермь) ISSN: 2224—9923eISSN: 2305—1140 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21769743>.

23. Овсейчук В. А., Зозуля А. М. Снижение технологических потерь урана при подземном выщелачивании за счет растворения гидроксида уранила / Вестник ЗабГУ. — Чита: ЗабГУ, 2019. — Том 25 — № 4. — С. 4—12. **ПИАБ**

## REFERENCES

1. Christe Fabien. Angewandtes Vier-Phasen-Modell im norwegischen Permafrost / Bachelorarbeit, Universität Freiburg-Ch, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Departement für Geowissenschaften. 2015.

2. Solodov I. N. In Situ Leach Mining of Uranium in the Permafrost Zone, Khiagda Mine, Russain Federatin. URAM-2014. IAEA. International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cucle: Exploration, Mining, Production, Sypply and De-mand, Economics and Environment issues Vienna, Austria 23 27 June, 2014.

3. Agoshkov M. I., Malahov G. M. *Podzemnaya razrabotka rudnyh mestorozhdenij* [Underground mining of ore deposits]. Moscow: Nedra, 1966. 664 p. [In Russ]

4. Antonenko G. K., Gol'dberg V. M. *Fil'tracionnye svoystva porod i vyazkost' rastvorov glubokih vodonosnyh gorizontov* [Filtration properties of rocks and viscosity of solutions of deep aquifers]. Moscow: Izd-vo VSEGINGEO, 1969. 73 s. [In Russ]



5. Arens V. Zh. *Geotekhnologicheskie metody dobychi poleznykh iskopaemykh* [Geotechnological methods of mining]. Moscow: Nedra, 1975. 264 p. [In Russ]
6. *Dobycha urana metodom podzemnogo vyshchelachivaniya* [Uranium mining by in-situ leaching]. pod red. V. A. Mamilova. Moscow: Atomizdat, 1980. 248 p. [In Russ]
7. Manfred Hartmut Akstinat / Bohrlochzementation Herausforderungen der Ölfeldchemie – / Cementing Challenges of Oilfield Chemistry (German Edition) / 2015.
8. The International Journal of Engineering and Science (IJES). Volume 8 Issue. 3 Series I. Pages. PP 80 – 84.2019. ISSN (e): 2319 1813 ISSN (p): 23 – 19 1805.
- Saleh Ahmed, Fathi Elldakli, Phillip Mcelroy / Simulation Techniques used for Modeling Horizontal Wells and The Role of Grid Refinement / 2019.
9. Penkevich S. V. *Metodicheskie ukazaniya k raschyotu erlifta pri otkachke iz gidrogeologicheskikh skvazhin* [Methodological guidelines for the calculation of the airlift when pumping out of hydrogeological wells]. Moscow: MGGRU, 2003. 28 p. [In Russ]
10. Volkov V. P. *Sorbcionnye processy dejstvuyushchih proizvodstv* [Sorptions processes of existing industries]. Moscow: Izdatel'skij dom «Ruda i metally», 2014. 160 p. [In Russ]
11. Mataev M. M., Kenzhetaev Zh. S. Selection of effective methods of repair and restoration work under underground leaching of uranium. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2015. no. 1. pp. 1001 – 1004. [In Russ]
12. *Vestnik RAEN*. Izdatel'stvo: Rossijskaya akademiya estestvennykh nauk (Moskva). ISSN: 1682 – 1696 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29274270>. [In Russ]
13. Domarenko V. A., Kramorenko S. V., Chernev E. M. *Povedenie urana i radiya pri formirovanii rud mestorozhdeniya Dybryn (Vitimskij uranovo-rudnyj rajon, Respublika Buryatiya)* [Behavior of uranium and radium during the formation of ores at the Dybryn deposit (Vitim uranium-ore region, Republic of Buryatia)]. *Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem k 120-letiyu so dnya rozhdeniya chlenakorrespondenta AN SSSR, professora Feliksa Nikolaevicha Shahova*. Novosibirsk, 2014. S. 210 – 216. [In Russ]
14. *Geologicheskij portal GeoKniga* [Geological portal GeoKniga] <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-materialy-konferencii.pdf>. [In Russ]
15. *Spravochnik po geotekhnologii urana* [Handbook of uranium geotechnology] [Beleckij V. I. i dr.]; Pod. red. D. I. Skorovarova. Energoatomizdat, 1997. 672 p. [In Russ]
16. *Burenie i oborudovanie geotekhnologicheskikh skvazhin* [Drilling and equipment for geotechnological wells] I. A. Sergienko, A. F. Mosev, E. A. Bochko, M. K. Pimenov. Moscow: Nedra, 1984. 224 p. [In Russ]
17. Halimov I. U. *Sovershenstvovanie tekhnologii skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniya na osnove razvitiya processa gidravlicheskogo razryva plasta* [Improvement of the technology of borehole underground leaching based on the development of the process of hydraulic fracturing]: dis. k.t.n. Moscow: RGGRU, 2014. [In Russ]
18. Orakbaev E. Zh. *Issledovanie i razrabotka effektivnykh sistem upravleniya processom podzemnogo vyshchelachivaniya* [Research and development of effective control systems for the process of underground leaching: dis. doct. sciences]: dis. dokt. nauk. Almaty: KNITU im. K. I. Satpaeva, 2017. 117 p. [In Russ]
19. International overview of ISL uranium mining operations. P. Woods, Th. Pool2, V. Benes, O. Gorbatenko, B. Jones, H. Marten, I. Solodov, J. Slezak. Iaea uranium raw material for the nuclear fuel cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues 23 27 June, 2014 Vienna, Austria URAM 2014.
20. Verhoturov A. G., Sabigatulin A. A. *Sovershenstvovanie konstrukcii i remont geotekhnologicheskikh skvazhin, sooruzhaemykh v kriolitozone Central'nogo Zabajkal'ya* [Improvement of the design and repair of geotechnological wells constructed in the permafrost zone of Central Transbaikalia]: sb. nauch. st. Chita: ZabGU, 2018. Ch.2. pp. 20 – 24. [In Russ]

21. The influence of high infiltration rates, suspended sediment concentration and sediment grain size on river and lake bed clogging. January 2015 DOI: 10.14279/depositonce-4399. Marcus Soares / The influence of high infiltration rates, suspended sediment concentration and sediment grain size on river and lake bed clogging / 2015.

22. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining]. Izdatel'stvo: Permskij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet (Perm') ISSN: 2224 – 9923eISSN: 2305 – 1140 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21769743>. [In Russ]

23. Ovsejchuk V. A., Zozulya A. M. Reduction of technological losses of uranium in underground leaching due to dissolution of uranyl hydroxide. *Vestnik ZabGU*. Chita: ZabGU, 2019. Tom 25 no. 4. pp. 4 12. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Верхотуров Алексей Геннадьевич*<sup>1</sup> – кандидат геол.-минерал. наук, доцент, заведующий кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии;

*Сабигатулин Алексей Александрович*<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: ya.sabik1994@yandex.ru;

*Зозуля Артём Михайлович*<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: mr.hunter.82@mail.ru;

<sup>1</sup> Забайкальский государственный университет, Чита, Россия.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Verkhoturov A. G.*<sup>1</sup>, Assistant professor, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), head of department Hydrogeology and Engineering Geology, e-mail: : weral0606@yandex.ru;

*Sabigatulin A. A.*<sup>1</sup>, Graduate student, e-mail: ya.sabik1994@yandex.ru;

*Zozulya A. M.*<sup>1</sup>, Graduate student, e-mail: mr.hunter.82@mail.ru;

<sup>1</sup> Transbaikal 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.

