

**ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
MINERAL PROCESSING**

Научная статья

УДК 622.75

DOI: 10.26730/1999-4125-2022-4-59-66

**ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ
СТОЧНЫХ ВОД КОВЫКТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ****Первойкин Михаил Владимирович
Зелинская Елена Валентиновна**

Иркутский национальный исследовательский технический университет

*для корреспонденции: ronnie.94@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила:

17 июня 2022 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 августа 2022 г.

Принята к публикации:

31 августа 2022 г.

Ключевые слова:высококонтрированные
рассолы, характеристика
рассолов, селективное
извлечение металлов, жидкие
отходы**Аннотация.**

В условиях ограниченности природных ресурсов подземные высокоминерализованные воды (рассолы), насыщенные различными макро- и микроэлементами, представляют из себя потенциальное гидроминеральное сырье. В настоящее время в недрах земли залегают внушительные запасы рассолов, которые являются крупным источником ряда металлов и других ценных компонентов, таких как литий, бром, йод и другие, что обуславливает необходимость в разработке технологий их переработки. Объектом исследования послужили рассолы Ковыктинской газонефтеносной площади. Предметом исследования – процесс выделения металлов из сверхкрепких рассолов. Цель исследования – определить целесообразность извлечения металлов из сверхкрепких рассолов. Анализируется химический состав рассолов. Проводится анализ свойств основных компонентов рассолов. В связи с высоким содержанием лития, стронция, кальция и других компонентов высококонцентрированные рассолы рассматриваются как сырьевой литий-, стронций- и кальцийсодержащий материал. Рассмотрены проблемы селективного извлечения щелочных и щелочноземельных металлов из исследуемых рассолов. Выделены факторы, влияющие на процесс ионообменного извлечения щелочных и щелочноземельных металлов из рассолов. Проведены исследования физико-химических свойств рассолов и произведен подбор оптимальных условий ионообмена. Проанализированы существующие методы обогащения высококонцентрированных рассолов. Рассмотрены две принципиальные схемы извлечения полезных компонентов, под каждую из которых подобран сорбционный материал на основе исследованных параметров материала и его количества. Рассчитан объем извлекаемых металлов из рассолов при применении двух схем извлечения с применением катионитов. Проведен анализ экономической целесообразности извлечения лития, стронция и кальция из высококонцентрированных рассолов.

Для цитирования: Первойкин М.В., Зелинская Е.В. Извлечение металлов из высококонцентрированных сточных вод ковыктинского месторождения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2022. № 4 (152). С. 59-66. doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-59-66

Введение. В условиях необходимости комплексного подхода к использованию минерально-сырьевых ресурсов страны высококонцентрированные растворы являются потенциальным сырьем для извлечения таких компонентов, как литий, кальций, стронций, магний и других металлов [1]. Спрос и цена на извлекаемые компоненты, а также затраты на разработку новых месторождений стабильно высоки, что обуславливает необходимость анализа экономической целесообразности обогащения высококонцентрированных рассолов. При этом вследствие того, что металлы в рассолах присутствуют в больших количествах, необходимо разрабатывать экономически эффективные технологии их переработки.

Объектом исследования являются рассолы Ковыктинской газонефтеносной площади.

Химический состав рассолов представлен в таблице 1 в сравнении с месторождениями мира [2].

Таблица 1. Состав

Table 1. Composition

Месторождение, страна / deposit, country	Li	Na	K	Mg	Ca	Sr	Cl	Уд.вес г/см ³
Ковыктинский участок/ Kovykta area	0,392	1,8	12,8	28,35	153,9	2,43	350	1,45
Знаменский участок, Россия / Znamensky area, Russia	0,415	2,4	4,3	29,2	120,9	0,62	325,3	1,39
Салар де Атакама, (Чили)/ Salar de Atacama, (Chile)	1,96	93,2	22,0	12,3	0,3	~0	192,0	1,3
оз.Серлс, Калифорния, США/lake Searles, California, USA	0,080	141,7	27,6	~0	0,02	~0	149,8	1,3

Предмет исследования. Процесс извлечения металлов из сверхкрепких рассолов.

Актуальность исследования

При выборе и обосновании технологии извлечения минерального сырья необходимо изучить формы нахождения ценных компонентов в рассолах, рассмотреть возможность селективного извлечения компонентов, а также минеральный состав исследуемых высококонцентрированных рассолов.

Целью исследования является применение технологии для использования рассолов в качестве гидроминерального сырья для ионообменного селективного извлечения щелочных и щелочноземельных металлов на основании изучения их физико-химического состояния.

Разработанность темы. Значительное количество работ посвящено изучению весьма сложных систем, например, извлечению металлов из многокомпонентных растворов. Несмотря на это, между степенью изученности подземных рассолов как полезного ископаемого и реальной возможностью их практического использования в настоящее время наблюдается большой разрыв. Ограниченный опыт в этом направлении базируется в основном, на практике переработки морской воды и рапы соленых озер. Эксплуатация рассолов сухих соленых озер Серлз в штате Калифорния, США, Силвер-Пик в штате Невада, Большого Соленого озера, в штате Юта осуществляется с целью получения соды, сульфата натрия, хлорида и сульфата калия, хлорида магния, брома и бромидов, очищенной буры, борной кислоты, карбоната натрия, фосфорной кислоты, карбоната (а также фосфата и сульфата) лития [3,4,5]. Технологические схемы комплексной переработки рассолов основаны на испарительном концентрировании и осаждении. Освоен промышленный способ переработки природных рассолов (США), заключающийся в предварительном выпаривании рассолов, очистке от примесей магния и щелочноземельных элементов и последующего осаждения лития из очищенного раствора в виде карбоната [4,5].

В мире наблюдается тенденция развития исследований по выделению лития из рассолов с помощью аморфных гидрооксидов алюминия. Для высокоминерализованных рассолов разработано два варианта технологии извлечения лития: с предварительным осаждением мешающих компонентов (магния); без предварительного осаждения магния. Испытания технологии осуществлены с использованием в качестве осадителя лития рентгеноаморфного (активного) гидрооксида алюминия, полученного механическим путем. [4,6,7,8]

В России разработана технология получения брома и соединений лития из рассолов

Таблица 2. Расчетные характеристики соединений компонентов подземных рассолов
 Table 2. Calculated characteristics of compounds of underground brines components

Компонент	Содержание, % от суммы главного иона (мольный)	Коэффициент активности	Компонент	Содержание, % от суммы главного иона (мольный)	Коэффициент активности
1	2	3	4	5	6
Na ⁺	22,0091	0,3989	K ⁺	99,0161	0,3487
Ca ²⁺	0,3644	0,0131	Mg ²⁺	6,25476	0,0155
Str ²⁺	82,3004	0,0119	Li ⁺	8,74	0,5379
Rb ⁺	70,6694	0,3422	H ⁺		0,5914
Cl ⁻	14,2026	0,3356	OH ⁻		0,2582
(HCO ₃) ⁻	0,03528	0,3636	(SO ₄) ²⁻	65,4381	0,0043
I ⁻	99,9736	0,2880	H ₂ O		0,0234
(CO ₃) ²⁻	0,005	0,0038	CO ₂	75,7744	1,2183
H ₂ CO ₃	12,9764	1,2183	NaHCO ₃	0,00066	1,2183
(NaCO ₃) ⁻	2,0232*10 ⁻⁷	0,2882	(NaSO ₄) ⁻	0,0013	0,2882
NaHSO ₄	9,2176*10 ⁻⁸	1,2183	NaCl	77,3228	1,2183
NaOH	2,1356*10 ⁻⁸	1,2183	Na ₂ CO ₃	2,2716*10 ⁻¹⁰	1,2183
Na ₂ SO ₄	1,1481*10 ⁻⁵	1,2183	NaBr	0,6660	1,2183
MgCO ₃	1,2877*10 ⁻⁸	1,2183	MgSO ₄	6,9068*10 ⁻⁵	1,2183
(Mg(CO ₃) ₂) ²⁻	1,3310*10 ⁻¹³	0,0038	(Mg(SO ₄) ₂) ²⁻	1,1046*10 ⁻⁵	0,0038
(MgHSO ₄) ⁺	1,302*10 ⁻⁸	0,2882	MgBr ₂	0,0926	1,2183
Mg(HSO ₄) ₂	1,705*10 ⁻¹⁷	1,2183	MgCl ₂	82,5803	1,2183
MgCl ⁺	11,0721	0,2882	Mg(OH) ₂	1,3868*10 ⁻²⁰	1,2183
MgOH ⁺	1,0934*10 ⁻⁷	0,2882	H ₂ SO ₄	7,8*10 ⁻⁸	1,2183
(HSO ₄) ⁻	0,0114	0,2882	KHCO ₃	3,0681*10 ⁻⁵	1,2183
HCl	3,2195*10 ⁻¹⁰	1,2183	(KSO ₄) ⁻	0,00026	0,2882
(KCO ₃) ⁻	1,8114*10 ⁻⁸	0,2882	KCl	0,9077	1,2183
KHSO ₄	2,7414*10 ⁻¹⁰	1,2183	K ₂ CO ₃	0,0587	1,2183
KOH	5,7875*10 ⁻¹⁰	1,2183	(CaHCO ₃) ⁺	0,0009	1,2183
K ₂ SO ₄	7,2631*10 ⁻⁷	1,2183	Ca(HCO ₃) ₂	2,4194*10 ⁻¹²	0,0038
CaCO ₃	1,7829*10 ⁻⁷	1,2183	CaSO ₄	0,00047	1,2183
(Ca(CO ₃) ₂) ²⁻	2,8264*10 ⁻¹³	0,0069	(Ca(SO ₄) ₂) ²⁻	5,0463*10 ⁻⁵	0,0038
(CaHSO ₄) ⁺	2,9065*10 ⁻⁸	0,2882	(CaCl) ⁺	19,205	0,2882
Ca(HSO ₄) ₂	1,8920*10 ⁻¹⁷	1,2183	CaBr ₂	0,5880	0,0069
CaCl ₂	79,8411	1,2183	(SrHCO ₃) ⁺	3,7883*10 ⁻⁵	0,2882
Ca(OH) ₂	5,5712*10 ⁻²⁰	1,2183	Sr(HCO ₃) ₂	1,0516*10 ⁻⁹	1,2183
SrCO ₃	8,5198*10 ⁻⁹	1,2183	SrSO ₄	2,0927*10 ⁻⁵	1,2183
(Sr(CO ₃) ₂) ²⁻	1,9563*10 ⁻¹⁴	0,0038	(Sr(SO ₄) ₂) ²⁻	3,2663*10 ⁻⁶	0,0038
(SrHSO ₄) ⁺	3,0351*10 ⁻¹⁰	0,2882	SrCl ⁺	7,3462	0,2882
Sr(HSO ₄) ₂	3,0779*10 ⁻¹⁹	1,2185	SrOH ⁺	2,354*10 ⁻³	0,2882
SrCl ₂	10,3534	1,2185	Br ⁻	31,2534	0,3456
Sr(OH) ₂	1,3509*10 ⁻²¹	1,2185	LiCl	91,2267	1,2183
Li ₂ CO ₃	1,213	1,2183	(LiSO ₄) ⁻	0,01440	0,2882
Rb ₂ SO ₄	1,3304*10 ⁻⁸	1,2185	RbHSO ₄	2,8199*10 ⁻⁸	1,2185
Rb ₂ CO ₃	3,6665*10 ⁻⁶	1,2185	(RbSO ₄) ⁻	0,00067	0,2882
RbOH	2,9810*10 ⁻⁹	1,2185	(RbCO ₃) ⁻	3,8167*10 ⁻¹⁰	0,2882
RbCl	27,6724	1,2185	RbHCO ₃	6,7865*10 ⁻⁷	1,2185
RbBr	0,7573	1,2185			

артезианских бассейнов, основанная на сорбционных и электрохимических процессах извлечения лития и воздушно-десорбционной технологии получения брома [4,9,10].

Комплексная переработка промышленных йодо-бромных вод с применением ионообменных, электрохимических, экстракционных методов и осаждения направлена на

получение йода, брома, соединений кальция, натрия, магния, стронция, лития и рубидия. В связи с тем, что при комплексной переработке рассолов литий, рубидий и цезий часто теряются с промежуточными продуктами и маточными растворами, выводимыми из технологического процесса, особую ценность приобретают методы селективного выделения этих элементов из морской воды или рассолов, природных либо полученных естественным или искусственным упариванием морской воды до начала кристаллизации хлоридов натрия и калия [11,12,13].

Методология и методы исследования. Использовались атомно-абсорбционный анализ, пламенная фотометрия, пламенная масс-спектрометрия, аналитико-экспериментальные, статические, динамические методы ионообменного процесса, математическое моделирование кинетики ионного обмена, планирование и обработка результатов эксперимента с применением статистических методов и пакета прикладных программ Microsoft Excel, Cliper, программного продукта HG32.

Результаты исследования.

Основной проблемой селективного извлечения ионов щелочных и щелочноземельных металлов из исследуемых рассолов является их богатый элементный состав и одновременное присутствие близких по свойствам макро- и микрокомпонентов.

Анализ данных показал необходимость углубленного изучения физико-химических характеристик рассолов и установления зависимостей между термодинамическими параметрами рассолов как физико-химической системы, а также их влияния на процесс селективного извлечения компонентов.

Изучены структурно-химические характеристики рассолов, путем математического моделирования их состава получены ряды селективности и характеристика истинного состава (Таблица 2), что показало возможность сорбционного извлечения металлов.

В работе производился расчет кинетических характеристик ионообменного процесса. Была высказана гипотеза о влиянии радиусов ионов на процесс их селективного извлечения без учета состояний их гидратированности. Проведенный расчет констант обмена для ионообменных смол, использованных в эксперименте, показал уменьшение селективности при уменьшении радиуса ионов. Распределение рассчитанных на модельных растворах коэффициентов селективности показало их зависимость от концентрации компонентов в растворах, а кажущиеся константы равновесия и константы концентрационные - отсутствие зависимости от типа системы.

Были исследованы параметры, влияющие на сорбцию ионов, а именно природа сорбционного материала. Результаты, полученные в ходе работы, свидетельствуют о том, что процесс ионного обмена стронция на водород на катионите с кинетической точки зрения является смешаннодиффузионным с небольшим вкладом внешнедиффузионной конвективной составляющей при малых скоростях перемешивания $n=10$ (в условиях ламинарного движения) и температуре до 297°K. Расчетные значения критерия Bio при этих параметрах > 1 . Граничным является значение величины $n = 25$, при значении T до 297 °K. Значения критерия Bio при этих параметрах $=1$. При увеличении скорости перемешивания от 20 до 70 (турбулентное перемешивание), температуре > 303 °K на процесс ионного обмена в большей степени начинает оказывать влияние диффузия через пленку. При этом расчетные значения критерия $Bio < 1$.

Анализ проведенных работ однозначно указывает на значительные преимущества применения ионообменной технологии для извлечения металлов. Однако определяющим вопросом является изучение влияния состава и физико-химических свойств рассолов на эффективность извлечения компонентов.

Процесс извлечения ионов металлов включает несколько стадий:

- процесс сорбции ионов металлов на первой колонне в течение 4 часов; промывка колонны с загруженным сорбентом;
- процесс десорбции ионов магния, лития и натрия 2,5 н соляной кислотой в течение 2 часов и дальнейшее разделение ионов магния, натрия и лития на второй колонне;
- процесс десорбции ионов стронция и кальция 4 н соляной кислотой в течение 2 часов;
- разделение ионов лития, натрия, магния из полученного элюата на второй, свежезагруженной колонне в течение 60 минут [14,15].

Цикл ионообменного процесса составляет 6 часов. При количестве рассола, поступающего в голову схемы, в объеме 960 м³/сут. и плотности 1,42 кг/м³ количество поступающего в схему рассола составит 208000 т/г. При этом, исходя из характеристик процесса и материального баланса, реализация схемы позволит получать следующие виды товарной продукции: хлорид натрия более 2500 т/г; хлорид кальция более 5500 т/г; хлорид лития более 40 т/г.

По другой предложенной схеме процесс сорбции извлекаемых ионов включает следующие операции:

- процесс десорбции ионов лития и натрия 1 N соляной кислотой в течение 2 часов;
- процесс десорбции 2,5 N соляной кислотой в течение 2 часов;
- процесс десорбции ионов стронция и кальция 4 N соляной кислотой в течение 30 мин;
- сорбция фильтрата на карбоксильном катионите, поступившего с операции № 1;
- повторная сорбция фильтрата на сорбенте на карбоксильном катионите;
- десорбция 4 N соляной кислотой для извлечения ионов стронция [14,15].

Реализация схемы позволит получать следующие виды товарной продукции: хлорид натрия более 4000 т/г; хлорид кальция более 3000 т/г; хлорид лития более 1000 т/г.

Для получения продукции из рассолов необходимо строительство предприятия и создание соответствующей инфраструктуры. Произведенные расчеты показывают, что предприятие может окупить вложения в течение 7 лет.

Однако необходимо также учитывать возможные риски:

- Инвестиционные затраты при реализации проекта могут оказаться выше планируемых в связи с удорожанием стоимости стандартизированного и нестандартизированного оборудования вследствие инфляции, колебания курсов валют, возникновением непредвиденных затрат, изменением в законодательстве РФ;
- Недостоверная оценка запасов гидроминерального сырья;
- Снижение цен на извлеченный полезный компонент (литий; стронций и тд);
- Высокая конкуренция на рынке;
- Низкий спрос на извлекаемые полезные компоненты.

Заключение. По результатам проведенного анализа технологий переработки гидроминерального сырья обоснована необходимость изучения физико-химических параметров, влияющих на селективное ионообменное извлечение макро- и микрокомпонентов из природных рассолов.

Подобраны оптимальные условия для проведения процесса селективного разделения микро- и макрокомпонентов, содержащихся в природных рассолах, а также установлены ряды селективности для хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов, содержащихся в подземных рассолах, значительно отличающиеся от классических рядов селективности. Произведен расчет объемов затрат на обустройство комплекса для извлечения полезных компонентов из высококонцентрированных рассолов, согласно которому извлечение металлов из высококонцентрированных рассолов экономически целесообразно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко С. С., Куликов Г. В. Подземные промышленные воды. М. : Недра, 1984. 79 с.
2. Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. М. : Недра. 285 с.
3. Плошников Н. И., Краевский С. Гидрологические аспекты охраны окружающей среды. М. : Недра, 1983. 207 с.
4. Ласкорин Б. Н., Логвиненко И. А. Иониты и ионный обмен. Л. : Наука, 1975. С. 5-10.
5. Леонов С. Б. [и др.] Гидроминеральное сырье и проблемы его переработки. Иркутск : ИрГТУ, 1999. 120 с.
6. Sorour M. H. [и др.] Synthesis, Characterization and Performance Evaluation of Lithium Manganese Oxide Spinel for Lithium Adsorption // Egypt. J. Chem. 2017. Vol. 60, No. 4. P. 697-710.
7. Choubey P. K. [и др.] Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element Lithium. Part II: From sea water and spent lithium ion batteries (LIBs) // Minerals Engineering. 2017. Vol. 110. P. 104-121.
8. Choubey P. K. [и др.] Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium.

Part I: from mineral and brine resources // Minerals Engineering. 2016. Vol. 89. P. 119-137.

9. Вартамян Г. С., Гордзенский Г. С. Подземные воды России. М.: Геоинформмарк, 1996. 87 с.
10. Капченко Л. Н. Связь нефти, рассолов и соли в земной коре. Л.: Недра, 1974. 184 с.
11. Каршигина З. Б. [и др.] Извлечение лития из попутных пластовых рассолов месторождений нефти и газа // Цветные металлы, 2020. № 7. С. 26-32.
12. Ковалева Д. А. [и др.] Выделение лития на газоконденсатных месторождениях // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2021. № 11(119). С. 32-34.
13. Левченко Е. Н., Ключарев Д. С. Нетрадиционные источники критических редких металлов // Разведка и охрана недр. 2020. № 9. С. 35-43.
14. Уланова О. В. Разработка процесса селективного извлечения щелочных и щелочно-земельных металлов из подземных рассолов: специальность 25.00.13 "Обогащение полезных ископаемых": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2001. 202 с.
15. Воронина Е. Ю., Барнась С. Б., Уланова О. В., Зелинская Е. В. Разработка рациональной технологии использования карьерных вод // Сборник научных трудов «Гидроминеральные ресурсы Восточной Сибири», Иркутск, 2001 г. С. 35-43.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Первойкин Михаил Владимирович, аспирант, Иркутский национальный исследовательский технический университет (Россия, г. Иркутск, ул.Лермонтова, 83), gonnie.94@mail.ru

Зелинская Елена Валентиновна, доктор технических наук, профессор.

Иркутский национальный исследовательский технический университет (Россия, г. Иркутск, ул.Лермонтова, 83), zelinskaelena@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Первойкин Михаил Владимирович – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Зелинская Елена Валентиновна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

EXTRACTION OF METALS FROM HIGHLY CONCENTRATED WASTEWATER FROM THE KOVYKTA DEPOSIT

Mikhail V. Pervoikin,
Elena V. Zelinskaya

Irkutsk National Research Technical University

*for correspondence: katezhurav@yandex.ru



Article info

Submitted:

17 June 2022

Approved after reviewing:

30 August 2022

Accepted for publication:

31 August 2022

Keywords: highly concentrated brines, characteristics of brines, selective extraction of metals, liquid waste

Abstract.

In conditions of limited natural resources, underground highly mineralized waters (brines) saturated with various macro- and microelements represent a potential hydromineral raw material. Currently, there are impressive reserves of brines in the bowels of the earth, which are a major source of a number of metals and other valuable components, such as lithium, bromine, iodine and others, which necessitates the development of technologies for their processing. The object of the study was the brines of the Kovykta gas-oil-bearing area. The subject of the study is the process of metals extraction from ultra-strong brines. The purpose of the study is to determine the feasibility of metals extraction from ultra-strong brines. The chemical composition of brines is analyzed. The properties of the main components of brines are analyzed. Due to the high content of lithium, strontium, calcium and other components, highly concentrated brines are considered as raw lithium, strontium and calcium-containing material. The problems of selective extraction of alkaline and alkaline earth metals from the studied brines are considered. The factors influencing the process of ion exchange extraction of alkaline and alkaline earth metals from brines are identified. Studies of the physico-chemical properties of brines have been carried out and optimal ion exchange conditions have been selected. The existing methods of enrichment of highly concentrated brines are analyzed. Two basic schemes of extraction of useful components are considered, for each of which a sorption material is selected based on the studied parameters of the material and its quantity. The volume of extracted metals from brines is calculated with the help of two extraction schemes using cationites. An analysis of the economic feasibility of extracting lithium, strontium and calcium from highly concentrated brines has been carried out.

For citation: Pervoikin M.V., Zelinskaya E.V. Extraction of metals from highly concentrated wastewater from the kovykta deposit. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2022; 4(152):59-66. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.26730/1999-4125-2022-4-59-66

REFERENCES

1. Bondarenko S.S., Kulikov G.V. *Podzemnye promyshlennyye vody*. M.: Nedra; 1984.
2. Krainov S.R., Shvets V.M. *Osnovy geokhimiya podzemnykh vod*. M.: Nedra; 1980.
3. Ploshnikov N.I., Krayevskiy S. *Gidrologicheskiye aspekty ohrany okruzhayushchey sredy*. M.: Nedra; 1983.
4. Laskorin B.N., Logvinenko I.A. *Ionity i ionnyi obmen*. L.: Nauka; 1975. P. 5-10.
5. Leonov S.B., Zelinskaya Y.V., Gorbunova O.I. *Gidromineralnoye syryo i problem yego pererabotki*. Irkutsk: IrGTU; 1999.
6. Sorour M.H. [et al.] Synthesis, Characterization and Performance Evaluation of Lithium Manganese Oxide Spinels for Lithium Adsorption. *Egypt. J. Chem.* 2017; 60(4):697-710.
7. Choubey P.K. [et al.] Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element Lithium. Part II: From sea water and spent lithium-ion batteries (LIBs). *Minerals Engineering*. 2017. Vol. 110. P. 104-121.
8. Choubey P.K. [et al.] Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium. Part I: from mineral and brine resources. *Minerals Engineering*. 2016; 89:119-137.
9. Vartanyan G.S., Gordzenskiy V.D. *Podzemnye vody Rossii*. M.: Geoinformmark; 1996.

10. Kapchenko L.N. Svyaz nefi, rassolov i soli v zemnoy kore. L.: Nedra; 1974.
11. Karshigina Z.B. [et al.] Izvlecheniye litiya iz poputnykh plastovykh rassolov mestorozhdeniy nefi i gaza. *Tsvetnyye metally*. 2020; 7:26-32.
12. Kovaleva D.A. [et al.] Vydeleniye litiya na gazokondensatnykh mestorozhdeniyah. *Delovoy zhurnal Neftegaz.RU*. 2021; 11(119):32-34.
13. Levchenko E.N., Klyucharev D.S. Netraditsionnye istochniki kriticheskikh redkikh metallov. *Razvedka i ohrana nedr*. 2020; 9:35-43.
14. Ulanova O.V. Razrabotka processa selektivnogo izvlecheniya shchelochnykh i shchelochno-zemel'nykh metallov iz podzemnykh rassolov : special'nost' 25.00.13 "Obogashcheniye poleznykh iskopaemykh" : dissertatsiya na soiskaniye uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Irkutsk, 2001.
15. Voronina E.Yu., Barnas' S.B., Ulanova O.V., Zelinskaya E.V. Razrabotka racional'noj tekhnologii ispol'zovaniya kar'emykh vod. *Sbornik nauchnykh trudov «Gidromineral'nye resursy Vostochnoy Sibiri»*. Irkutsk, 2001.

© 2022 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Mikhail V. Pervoikin, postgraduate, Irkutsk National Research Technical University, (Russia, Irkutsk, ul.Lermontov, 83), ronnie.94@mail.ru

Elena V. Zelinskaya, Doctor of Technical Sciences, Professor. Irkutsk National Research Technical University, (Russia, Irkutsk, ul.Lermontov, 83), zelinskaelena@mail.ru

Contribution of the authors:

Mikhail V. Pervoikin – review of relevant literature; conceptualization of research; data collection and analysis; conclusions; writing text.

Elena V. Zelinskaya – setting a research task; scientific management.

All authors have read and approved the final manuscript.

