

Код МРНТИ 38.61.31

*Д.Б. Ченсизбаев, Д.К. Аденова

Товарищество с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ И ЕГО СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ РАССОЛОВ

Аннотация. В настоящее время рассолы, вскрывающиеся при разработке различных месторождений полезных ископаемых, являются жидкими отходами и не перерабатываются. Высокое содержание промышленно-ценных компонентов в рассолах предопределяет экономическую эффективность их переработки при условии применения комплексных технологических схем. Из рассолов можно получить большой перечень товарной продукции, к тому же это сырье имеет ряд преимуществ перед месторождениями твердых полезных ископаемых. В статье описываются различные методы извлечения лития из рассолов, соляных растворов и геотермальных вод, включая осаждение, мембранное разделение, метод ионного обмена, адсорбцию и так далее. Целесообразность применения того или иного метода определяется рядом факторов: содержанием основных компонентов, обогащающих рассол, требованиями к продуктам, допустимой энергоемкостью. На рисунках также показаны технологические схемы переработки попутных пластовых рассолов с получением гидроксида лития.

Ключевые слова: рассолы, литий, месторождение, мембранное разделение, адсорбция, энергоемкость, технологическая схема, переработка, сырье, компоненты.

Табиғи тұздықтардан литий мен оның қосылыстарын алу технологияларын талдау

Аңдатпа. Қазіргі уақытта пайдалы қазбалардың әртүрлі кен орындарын игеру кезінде ашылған тұздықтар сұйық қалдықтар болып табылады және қайта өңделмейді. Тұздықтардағы өнеркәсіптік құнды компоненттердің жоғары мөлшері күрделі технологиялық схемаларды қолдану жағдайында оларды өңдеудің экономикалық тиімділігін анықтайды. Тұздықтардан сіз тауарлық өнімдердің үлкен тізімін ала аласыз, сонымен қатар бұл шикізат қатты пайдалы қазбалар кен орындарына қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. Мақалада литий тұздықтарынан, тұзды ертінділерден, теңіз және геотермалдық судан алудың әртүрлі әдістері сипатталған: жауын-шашын, мембраналық бөліну, ион алмасу әдісі адсорбция және т.б. Осы немесе басқа әдісті қолданудың орындылығы бірқатар факторлармен анықталады: тұздықты байытатын негізгі компоненттердің құрамы, өнімдерге қойылатын талаптар, рұқсат етілген энергия сыйымдылығы. Сондай-ақ, суреттерде литий гидроксидін алу үшін ілеспе резервуарларды өңдеудің технологиялық сызбалары көрсетілген.

Түйінді сөздер: тұздықтар, литий, кен орны, мембраналық бөліну, адсорбция, энергия сыйымдылығы, технологиялық схема, өңдеу, шикізат, компоненттер.

Analysis of technologies for the extraction of lithium and its compounds from natural

Abstract. At present, the brines uncovered during the development of various mineral deposits are liquid wastes and are not recycled. The high content of industrially valuable components in brines predetermines the economic efficiency of their processing on condition of application of complex technological schemes. From brines can be obtained a large list of commercial products, in addition, this raw material has a number of advantages over the deposits of solid minerals. This article describes various methods of lithium extraction from brines, saline solutions and geothermal water: including sedimentation, membrane separation, ion exchange method adsorption and so on. Feasibility of application of one or another method is determined by a number of factors: the content of the main components enriching the brine, the requirements for the products, the permissible energy intensity. The figures also show technological schemes for processing of associated formation brines to produce lithium hydroxide.

Key words: brines, lithium, deposit, membrane separation, adsorption, energy consumption, process flow diagram, processing, raw materials, components.

Введение

Интенсивная добыча многих полезных ископаемых привела к тому, что запасы некоторых редких элементов существенно сократились, а потребность в них резко увеличилась за счет расширения их использования в новых отраслях техники и технологии. Гидроминеральное сырье может стать альтернативой твердым полезным ископаемым.

Установлено, что запасы гидроминерального сырья сопоставимы по отдельным элементам с известными месторождениями твердых полезных ископаемых. Так, в природных водах содержится до 80% брома, 78% лития, 40% рения, 35% цезия, 24% стронция от их общих запасов в земной коре. Но в настоящее время вопросы комплексного освоения подземных рассолов пока не нашли должного развития, несмотря на очевидную перспективность этого направления. На данный момент существуют различные технологии по извлечению ценных элементов и их соединений, но существующие технологические разработки по извлечению многих промышленно ценных компонентов из рассолов нуждаются в усовершенствовании применительно к химическому составу вод конкретных месторождений, а по другим компонентам необходима

разработка самостоятельных технологических решений. Оценивая микрокомпонентный состав различных типов подземных вод, следует отметить, что из присутствующих металлов особого внимания заслуживают в основном литий и стронций^{1,2} [1].

Несмотря на очевидную перспективность использования уникального вида природных ресурсов – попутных пластовых вод как источника получения щелочных и щелочноземельных металлов, вопросы его комплексного освоения пока не нашли должного развития. В первую очередь, это связано с отсутствием эффективных технологий их переработки на территории Республики Казахстан [2, 3].

В ряде стран (США, Италия, Израиль, Япония, Новая Зеландия, Исландия, Австралия) имеется определенный опыт по промышленному использованию гидроминерального сырья, и в этих же странах постоянно и планомерно ведутся технологические исследования для разработки методов извлечения ценных элементов из конкретных геохимических типов природных вод.

Целесообразность и экономическая эффективность переработки гидроминерального сырья подтверждается длительной добычей во многих странах лития, йода, брома, калия. Увеличение спроса на редкие металлы

¹<http://www.Pacificlithium.com/technology/associations.html>

²Дривер Дж. Геохимия природных вод. – М.: Мир, 1985. – 440 с.

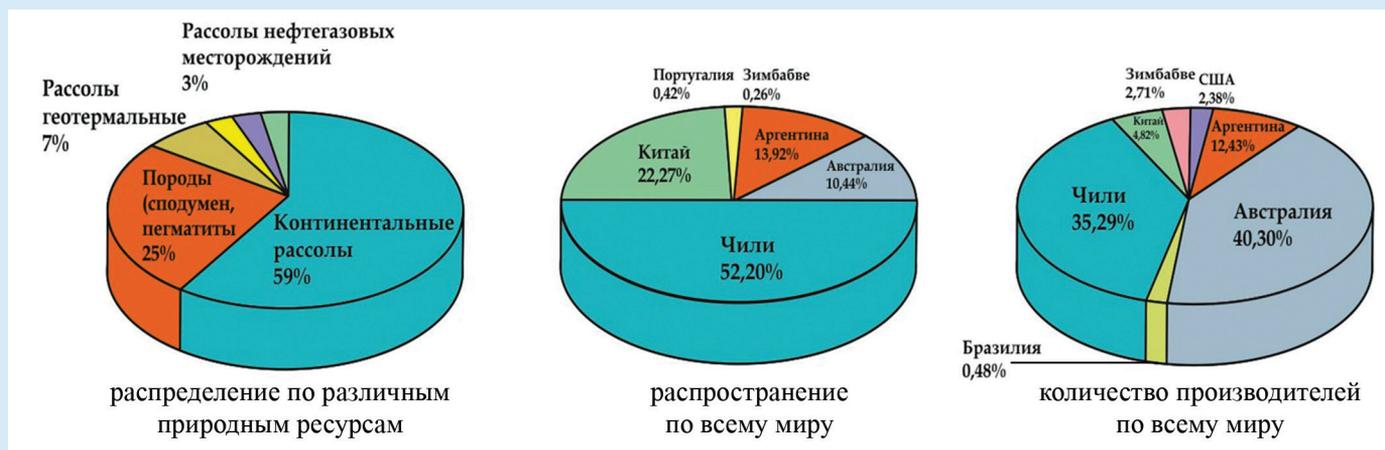


Рис. 1. Распределение лития.
Сурет 1. Литийдің таралуы.
Figure 1. The distribution of lithium.

(*Sr, B, Br, I*) объясняется широким их использованием во многих отраслях промышленности³.

Ресурсы лития

В целях обеспечения растущего потребления лития необходимо решить вопрос увеличения производства лития из различных источников. Коммерческое количество лития присутствует в минералах, глинах, а также в рассолах. Высококачественные литиевые руды и рассолы являются основными источниками для всего коммерческого производства лития. На рис. 1а показано распределение лития по различным

ресурсам, где видно, что континентальный рассол является крупнейшим источником лития (59%), за которым следует твердая порода (25%). Рис. 1б демонстрирует распространение лития по странам: наиболее крупные из изученных месторождений лития находятся в Бразилии и Чили. На рис. 1в изображено распределение производства лития по странам: основными производителями и экспортерами литиевых руд⁴ являются Чили и Австралия. Чили и Китай обладают огромными запасами литиевой руды. Канада, Россия, Сербия и Конго (Киншаса) владеют литиевыми рудами примерно по 1 млн т каждая, а запасы Бразилии составляют всего 180000 т.

В земной коре присутствуют рассолы, называемые континентальными (подземными), которые являются основным источником производства карбоната лития.

В значительных количествах литий содержится в рассолах нефтяных скважин и геотермальных водах. Эти источники рассола и морской воды считаются менее дорогостоящими, чем добыча полезных ископаемых из таких пород, как сподумен, лепидолит, амблигонит и петалит, содержащие литий.

Методы извлечения лития из рассолов соленого озера и подземных промышленных вод

В последние годы были предложены различные способы извлечения лития из воды, применение которых доказало, что адсорбция является идеальным способом извлечения лития, поскольку имеет значительные преимущества, такие как доступность, более низкая стоимость, рентабельность, эффективность и простота в эксплуатации. Ранее сообщалось о различных материалах для извлечения лития, включая оксиды металлов, глинистые минералы, силикотитанаты и фосфат циркония. Основное внимание было сосредоточено на адсорбентах титано-литиевых сит [4-6], марганцево-литиевых сит [7, 8] и солей алюминия⁵.

Извлечение лития из рассола является важным потенциальным ресурсом. С экономической и научной

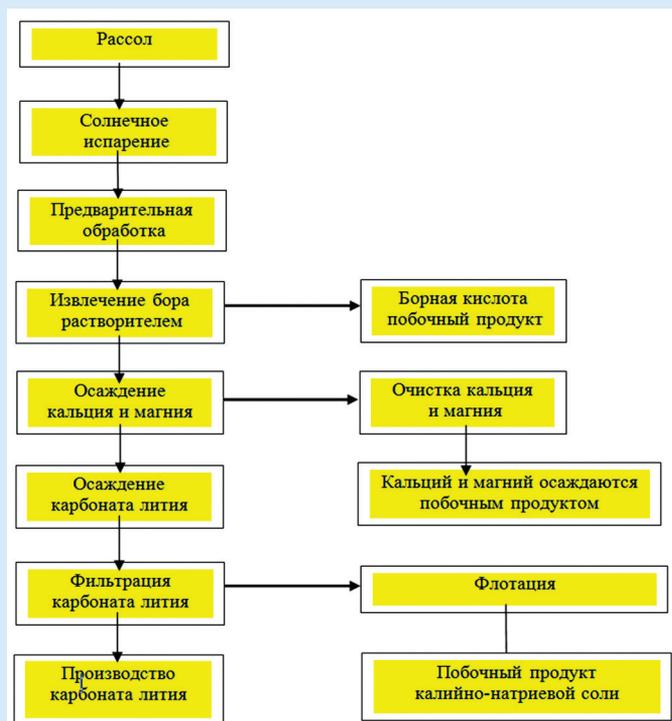


Рис. 2. Технология производства лития из рассола.
Сурет 2. Тұздықтан литий өндіру технологиясы.
Figure 2. Technology of lithium production from brine.

³Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология. // Под ред. Е.В. Пиннекера. – Новосибирск: Наука, 1980. – 225 с.

⁴<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/myb1-2015-lithi.pdf>



**Рис. 3. Добыча лития из рапы пустыни Атакама (Чили).
Сурет 3. Атакама (Чили) шөлінің рапасынан литий өндіру.
Figure 3. Extraction of lithium from the brine of the Atacama Desert (Chile).**

точки зрения, важны следующие моменты для рассмотрения извлечения лития из рассола: пригодность почвы пруда и допустимость площади для солнечного испарения; концентрация лития в рассоле; отношение щелочных металлов и щелочно-земельных элементов к литию; сложность фазовой химии. Ресурсы рассолов, содержащих литий, можно разделить на три типа: испарительные, геотермальные и нефтепромысловые. После испарения около 50% исходного природного рассола литий остается в остаточном рассоле, что обуславливается удерживанием лития осажденными солями. Остаточный рассол содержит большое количество Mg^{2+} , по сравнению с K^+ и Na^+ , что затрудняет извлечение лития из остаточного рассола.

Извлечение лития из рапы не соответствует какой-либо общей закономерности, так как каждый процесс специфичен и зависит от состава рапы. Стандартная технология извлечения, применяемая компанией Outotec для экстракции лития, включает в себя осаждение, экстракцию растворителем и флотацию (рис. 2.). Для извлечения лития компания Outotec использует процесс карбокатионирования⁶.

Добыча лития из гидроминеральных источников осуществляется в полупромышленных и промышленных масштабах в США из соленых озер (салары), в Японии из термальных вод, в Израиле из Мертвого моря. Извлечение металлического лития из геотермальных источников и рассола⁷ также изучалось в России, Германии, Болгарии и Корее.

При извлечении лития из соленых вод и рассолов наибольшее внимание уделяется методам ионообменной адсорбции на основе литий-ионных сит из-за их хорошей литий-ионной селективности и высоких адсорбционных свойств. С точки зрения стоимости и эффективности, извлечение ионов лития из растворов путем ионообменной адсорбции является важным методом.

Технологии по переработке рассолов и саларов Американского континента основаны на гелиоконцентрировании. Осаждение лития осуществляется в бассейнах в виде двойного сульфата лития и калия, который перерабатывается на соли лития и калия. После отделения сульфата калия осаждается карбонат лития. Из рассола после концентрирования в естественных условиях получают хлорид лития высокой чистоты (рис. 3).

⁵Bauman W.C., Burba III J.L. Recovery of lithium values from brines. / Patent US5389349A. – 1995: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/patent/US5389349>

⁶Lithium Production Technologies Outotec®. / Outotec Oyj. – 2016.

⁷Marinsky J.A., Marcus Yi. Ion Exchange and Solvent Extraction: A Series of Advances. / Taylor & Francis, 1995. – 472 p.

Анализ текущей ситуации в Казахстане

Для Казахстана наиболее перспективными источниками лития являются высокоминерализованные рассолы Шу-Сарысульской провинции, содержащие промышленные концентрации как лития, так и брома, магния и других компонентов. Рассолы Шу-Сарысульской провинции характеризуются следующим средним составом, г/л: $LiCl - 2,5$; $MgCl_2 - 115$; $CaCl_2 - 362$; $NaCl - 6,1$; $KCl - 8,1$; $Br - 9,5$; $\Sigma = 503$. Рассолы такого типа в мировой практике не используются из-за сложности их состава и, прежде всего, высокого отношения концентраций щелочноземельных металлов и магния к концентрации лития: $R = C(щ.з.м + Mg):CLi = 200 \dots 400$. Рассолы, промышленно перерабатываемые в США и Чили, имеют этот показатель на уровне $2 \dots 15$. Для решения проблемы использования рассолов Шу-Сарысульской провинции впервые созданы технологии и аппаратура для селективного извлечения лития, что позволяет получить после десорбции лития из сорбента растворы хлорида лития с примесями Mg , Ca ($R \leq 8$) и осуществлять их переработку в соединения лития: хлорид, гидроксид, карбонат, бромид, фторид^{1, 2}. Схема их получения приводится на рис. 4. Наряду с широкими возможностями получения литиевых продуктов из рассолов Шу-Сарысульской провинции их себестоимость может быть существенно снижена за счет комплексного использования указанного сырья с извлечением брома, магния, кальция и других ценных компонентов.

Заключение

Литий является одним из самых редких металлов и применяется в различных областях промышленности. Спрос на литий будет повышаться с постоянно растущим использованием электрических и электронных устройств и гибридных электромобилей. Поэтому поиск способов получения лития из водных источников, пригодных для производства соединений лития, является серьезной и очень важной задачей.

Химический состав подземных вод также играет немаловажную роль в технологическом процессе. Установлено, что наиболее легко поддаются переработке воды с относительно невысокой общей минерализацией (в основном до 100 г/л) и низкими содержаниями щелочноземельных металлов (кальций, магний, барий). В подземных водах в настоящее время обнаружено в растворенном виде свыше 80 элементов периодической системы Менделеева.

Извлечение лития адсорбционным методом дает многообещающие результаты для будущего производства. Благодаря методу адсорбции можно

избежать процесса испарения и кристаллизации, поэтому необходимо разработать и рекомендовать технически и экономически целесообразный, экологически безопасный и устойчивый процесс.

Важное значение при использовании подземных вод в качестве минерального сырья имеет постоянство содержания полезных компонентов. Даже незначительные изменения концентраций этих компонентов могут существенно сказаться на показателях технологического процесса и, в конечном счете, на экономических показателях разработки месторождения. Допустимые отклонения определяются в каждом конкретном случае соответствующими экономическими расчетами.

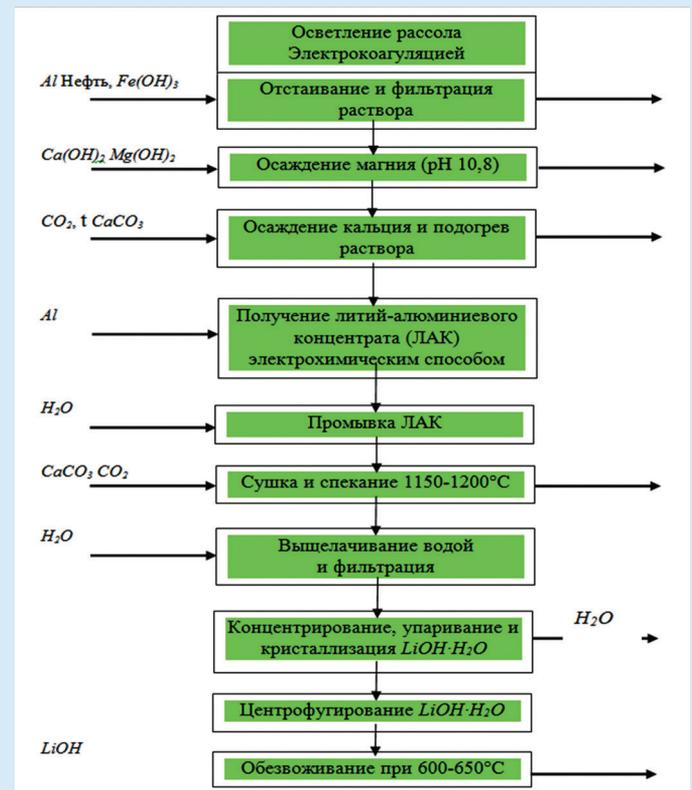


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема переработки попутных пластовых рассолов с получением гидроксида лития и оксида магния. Сурет 4. Литий гидроксиді мен магний оксидін өндірумен байланысты қабаттық тұзды ерітінділерді өңдеудің негізгі технологиялық схемасы.

Figure 4. Basic technological scheme for processing associated formation brines to produce lithium hydroxide and magnesium oxide.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Забродин Н.И., Нечаева А.А., Коробочкина Т.В. Содержание редких щелочных элементов в соляном сырье Советского Союза и перспективы их промышленного освоения. // Редкие щелочные элементы. – Новосибирск: Сиб. отд. АН СССР, 1960. – С. 97-100 (на русском языке)
2. Шадрунова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., Орехова Н.Н. Проблемы и перспективы освоения ресурсов гидроминерального сырья. // Материалы Международного совещания «Современные процессы комплексной и глубокой

- переработки труднообогатимого минерального сырья: Плаксинские чтения». – Иркутск: ООО ПЦ «РИЭЛ», 2015. – С. 54-58 (на русском языке)
3. Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Вялов В.Д., Калугин О.А., Сульдина О.В. Некоторые аспекты распространения промышленных подземных вод Казахстана и перспективы их использования. // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – Алматы, 2014. – №6. – С. 49-54 (на русском языке)
 4. Moazeni M., Hajirour H., Askari M., Nusheh M. Гидротермальный синтез и характеристика нанотрубок диоксида титана как новых адсорбентов лития. // Бюллетень исследования материалов. – 2015. – №61(61). – С. 70-75 (на английском языке)
 5. Tang D.H., Zhou D.L., Zhou J.B., Zhang P., Zhang L.Y., Xia Y. Приготовление адсорбента H_2TiO_3 – литий с использованием низкосортного титанового шлака. // Гидрометаллургия. – 2015. – №157. – С. 90-96 (на английском языке)
 6. Wang S.L., Li P., Cui W.W., Zhang H.L., Wang H.Y., Zheng S.L. и др. Гидротермальный синтез обогащенного литием $\beta-Li_2TiO_3$ с применением ионного сита: отличная адсорбция лития. // РСК Прогресс. – 2016. – №6(104). – С. 102608-102616 (на английском языке)
 7. Chitrakar R., Kanoh H., Miyai Y., Ooi K. Извлечение лития из морской воды с использованием адсорбента оксида марганца ($H_{1,6}Mn_{1,6}O_4$), полученного из $Li_{1,6}Mn_{1,6}O_4$. // Исследования в области промышленной и инженерной химии. – 2001. – №40(9). – С. 2054-2058 (на английском языке)
 8. Shi X.C., Zhou D.F., Zhang Z.B., Yu L.L., Xu H., Chen B.Z. Синтез и свойства $Li_{1,6}Mn_{1,6}O_4$ и его адсорбционное применение. // Гидрометаллургия. – 2011. – №110(1). – С. 99-106 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Забродин Н.И., Нечаева А.А., Коробочкина Т.В. Кеңес Одагының тұз шикізатындағы сирек сілтілі элементтердің құрамы және олардың өнеркәсіптік даму перспективалары. // Сирек сілтілі элементтер. – Новосибирск: КСРО Ғылым академиясының Сібір бөлімі ҒА, 1960. – Б. 97-100 (орыс тілінде)
2. Шадрюнова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., Орехова Н.Н. Гидроминералды шикізат ресурстарын игерудің мәселелері мен болашағы. // Халықаралық кеңес материалдары «Қиын байытылатын минералды шикізатты кешенді және терең өңдеудің заманауи процестері: Плаксин оқулары». – Иркутск: ЖШҚ ПЦ «РИЭЛ», 2015. – Б. 54-58 (орыс тілінде)
3. Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Вялов В.Д., Калугин О.А., Сульдина О.В. Қазақстанның өнеркәсіптік жерасты суларының таралуының кейбір аспектілері және оларды пайдалану перспективалары. / ҚР ҰҒА жаңалықтары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. – Алматы, 2014. – №6. – Б. 49-54 (орыс тілінде)
4. Moazeni M., Hajirour H., Askari M., Nusheh M. Гидротермиялық синтез және жаңа литий адсорбенттері ретінде титан диоксиді нанотүтікшелерінің сипаттамасы. // Материалдарды зерттеу хабаршысы. – 2015. – №61(61). – Б. 70-75 (ағылшын тілінде)
5. Tang D.H., Zhou D.L., Zhou J.B., Zhang P., Zhang L.Y., Xia Y. Төмен сортты титан қожын пайдаланып H_2TiO_3 – литий адсорбентін дайындау. // Гидрометаллургия. – 2015. – №157. – Б. 90-96 (ағылшын тілінде)
6. Wang S.L., Li P., Cui W.W., Zhang H.L., Wang H.Y., Zheng S.L. және т. б. Литиймен байытылған $\beta-Li_2TiO_3$ гидротермиялық синтезі иондық елеуіш арқылы: литийдің тамаша адсорбциясы. // КБР жетістіктері. – 2016. – №6(104). – Б. 102608-102616 (ағылшын тілінде)
7. Chitrakar R., Kanoh H., Miyai Y., Ooi K. $Li_{1,6}Mn_{1,6}O_4$ алынған марганец оксиді адсорбентінің ($H_{1,6}Mn_{1,6}O_4$) көмегімен теңіз суынан литий алу. // Өнеркәсіптік және инженерлік химия саласындағы зерттеулер. – 2001. – №40(9). – Б. 2054-2058 (ағылшын тілінде)
8. Shi X.C., Zhou D.F., Zhang Z.B., Yu L.L., Xu H., Chen B.Z. және т. б. $Li_{1,6}Mn_{1,6}O_4$ синтезі мен қасиеттері және оның адсорбциялық қолданылуы. // Гидрометаллургия. – 2011. – №110(1). – Б. 99-106 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Zabrodin N.I., Nechaeva A.A., Korobochkina T.V. Soderzhanie redkix shhelochnyx e'lementov v solyanom syr'e Sovetskogo Soyuza i perspektivy ix promyshlennogo osvoeniya. // [Content

- of rare alkaline elements in salt raw material of Soviet Union and prospects of their industrial development]. // *Redkie shhelochnye e'lementy = Rare alkaline elements*. – Novosibirsk: Sib. otd. AN SSSR = Siberian Branch of Academy of Sciences of USSR, 1960. – P. 97-100 (in Russian)
2. Shadrinova I.V., Zelinskaya E.V., Volkova N.A., Orekhova N.N. Problemy i perspektivy osvoeniya resursov gidromineral'nogo syr'ya [Problems and prospects of development of hydro-mineral resources]. // // *Materialy Mezhdunarodnogo soveshaniya «Sovremennye processy kompleksnoj i glubokoj pererabotki trudnoobogatimogo mineral'nogo syr'ya: Plaksinskie chteniya»*. = *Materials of the International Meeting «Modern processes of complex and deep processing of difficult minerals: Plaksin readings»*. – Irkutsk: LLP PC «RIEL», 2015. – P. 54-58 (in Russian)
 3. Murtazin E.Zh., Kan S.M., Vyalov V.D., Kalugin O.A., Suldina O.V. Nekotorye aspekty rasprostraneniya promyshlennykh podzemnykh vod Kazaxstana i perspektivy ix ispol'zovaniya [Some aspects of industrial groundwater distribution in Kazakhstan and prospects for their use]. // *Izvestiya NAN RK. Seriya geologii i texnicheskix nauk = Proceedings of NAS RK, Geology and Technical Sciences Series*. – Almaty, 2014. – №6. – P.49-54 (in Russian)
 4. Moazeni M., Hajipour H., Askari M., Nusheh M. Hydrothermal synthesis and characterization of titanium dioxide nanotubes as new lithium adsorbents. // *Materials Research Bulletin*. – 2015. – №61(61). – P. 70-75 (in English)
 5. Tang D.H., Zhou D.L., Zhou J.B., Zhang P., Zhang L.Y., Xia Y. Preparation of H_2TiO_3 – lithium adsorbent using low-grade titanium slag. // *Hydrometallurgy*. – 2015. – №157. – P. 90-96 (in English)
 6. Wang S.L., Li P., Cui W.W., Zhang H.L., Wang H.Y., Zheng S.L., et al. Hydrothermal synthesis of lithium-enriched β - Li_2TiO_3 with an ion-sieve application: Excellent lithium adsorption. // *RSC Advances*. – 2016. – №6(104). – P. 102608-102616 (in English)
 7. Chitrakar R., Kanoh H., Miyai Y., Ooi K. Recovery of lithium from seawater using manganese oxide adsorbent ($H_{1.6}Mn_{1.6}O_4$). Derived from $Li_{1.6}Mn_{1.6}O_4$. *Industrial&Engineering Chemistry Research*. – 2001. – №40(9). – P. 2054-2058 (in English)
 8. Shi X.C., Zhou D.F., Zhang Z.B., Yu L.L., Xu H., Chen B.Z., et al. Synthesis and properties of $Li_{1.6}Mn_{1.6}O_4$ and its adsorption application. // *Hydrometallurgy*. – 2011. – №110(1). – P. 99-106 (in English)

Сведения об авторах:

Ченсизбаев Д.Б., PhD докторант кафедры гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии Satbayev University (г. Алматы, Казахстан); младший научный сотрудник лаборатории промышленных и геотермальных вод Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» (г. Алматы, Казахстан), chensizbayev84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7673-4228>.

Аденова Д.К., PhD, старший научный сотрудник лаборатории моделирования гидрохимических и геоэкологических процессов Товарищества с ограниченной ответственностью «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина», (г. Алматы, Казахстан), dinara1982_82mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7973-811X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ченсизбаев Д.Б., Satbayev University, Гидрогеология, инженерлік және мұнайгаз геология кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан); «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі, Өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Аденова Д.К., PhD, «У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты» Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі, гидрохимиялық және геоэкологиялық үдерістерді модельдеу зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Chensizbayev D.B., PhD Student at the Department of Hydrogeology, Engineering and Petroleum Geology of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan); Junior Researcher at the Laboratory of Industrial and Geothermal Waters of the «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» Limited Liability Partnerships (Almaty, Kazakhstan)

Adenova D.K., PhD, Senior Researcher at the Laboratory for Modeling Hydrochemical and Geoecological Processes of the «Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin» Limited Liability Partnerships (Almaty, Kazakhstan)

Настоящая работа выполнена в рамках программы «Тепло-энергетический, минерально-сырьевой и лечебно-оздоровительный потенциал термоминеральных и промышленных подземных вод Казахстана. Оценка состояния и тенденций изменения гидрогеохимических показателей подземных вод под влиянием природно-климатических изменений и антропогенных нагрузок» (Грант № BR10262555).

Авторы высоко отмечают поддержку Комитета геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.