

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

УДК 556.551+556.314

Комплексное использование
минерального сырья. № 3. 2016.

В. И. САМОЙЛОВ¹, В. И. ЗЕЛЕНИН², А. Т. САДУАКАСОВА^{1}, Н. А. КУЛЕНОВА¹*

*¹Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, *a_saduakasova@mail.ru*

*²Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург, Россия*

СОРБЦИЯ УРАНА ИЗ ОЗЁРНОЙ ВОДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ И ПРОДУКТОВ ИХ МОДИФИКАЦИИ

В настоящее время одним из перспективных источников извлечения металлов, в том числе урана, является гидроминеральное сырьё. В статье показано, что для извлечения урана целесообразно использовать природные сорбенты. В проведенных исследованиях в качестве сорбентов использованы природный шунгит Коксуского месторождения (Алматинская область), природный цеолит Тайжузгенского месторождения (Восточно-Казахстанская область) и продукты их модификации. Модификация природных шунгита и цеолита заключалась в совместном химическом осаждении на их поверхности гидроксидов меди (II) и никеля (II). Сорбционная способность указанных сорбентов и продуктов их модификации при извлечении урана из озёрной воды исследована на примере озера Алаколь (Восточно-Казахстанская область), воды которого содержат десятки мкг/дм³ урана. По прогнозным оценкам количество урана в озере Алаколь составляет сотни тысяч тонн. Установлены условия модификации сорбентов и режимы сорбции урана. Экспериментальными исследованиями показано, что шунгит и цеолит позволяют извлечь из озёрной воды в опробованном статическом режиме сорбции порядка 92 % урана. В аналогичном режиме сорбции урана опробованные продукты модификации природных шунгита и цеолита обеспечили извлечение в сорбент до ~93÷96 % урана. Установленные зависимости могут быть использованы при разработке технологии извлечения урана из гидроминеральных источников и сбросных вод промышленных предприятий.

Ключевые слова: сорбция, уран, шунгит, цеолит, гидроксид меди, гидроксид никеля, озёрная вода.

Введение. В настоящее время в мире известны несколько десятков озёр с концентрацией урана от десятков мкг/дм³ до десятков тысяч мкг/дм³ [1-10]. Для сравнения, при извлечении урана методом подземного выщелачивания руд, продуктивные растворы со стадии выщелачивания, поступающие на операцию сорбции урана, оцениваются концентрацией урана в десятки тысяч мкг/дм³. Поэтому озёра с такой концентрацией урана сегодня могут рассматриваться как дешёвое сырьё для сорбционного извлечения из него данного металла.

Ранее нами в работах [11, 12] изучалась сорбционная способность шунгит-, цеолитсодержащих сорбентов при извлечении урана из подземной воды, содержащей 246,3 мкг/дм³ урана. Установлено, что композиция на основе природного шунгита и техногенного фосфогипса, а также продукт ее модификации гидроксидами меди (II) и никеля (II), способны извлекать из подземной воды в динамических и статических условиях сорбции 81,95÷94,63 % и 88,12÷97,80 % урана соответственно. Также была исследована сорбционная

способность шунгита, гранулированного с использованием трибутилфосфата, и продуктов его модификации гидроксидами цинка, меди (II) и никеля (II). В описанном случае было обеспечено извлечение урана из раствора на уровне 93,90÷99,46 %. Установлено, что данные порошкообразные сорбенты и продукты их модификации гидроксидами меди(II) и никеля(II) обеспечивают извлечение урана из подземной воды в сорбент в статических условиях сорбции соответственно 9,71÷14,40 % и 90,3÷93,1 % урана.

В представленной статье оценена сорбционная способность указанных сорбентов и продуктов их модификации применительно к извлечению урана из озёрной воды, которая содержит десятки мкг/дм³ урана.

Методика эксперимента, материалы и реагенты. Для проведения данных исследований в качестве гидроминерального урансодержащего сырья была использована вода озера Алаколь, расположенного на территории Восточно-Казахстанской области [13-14].

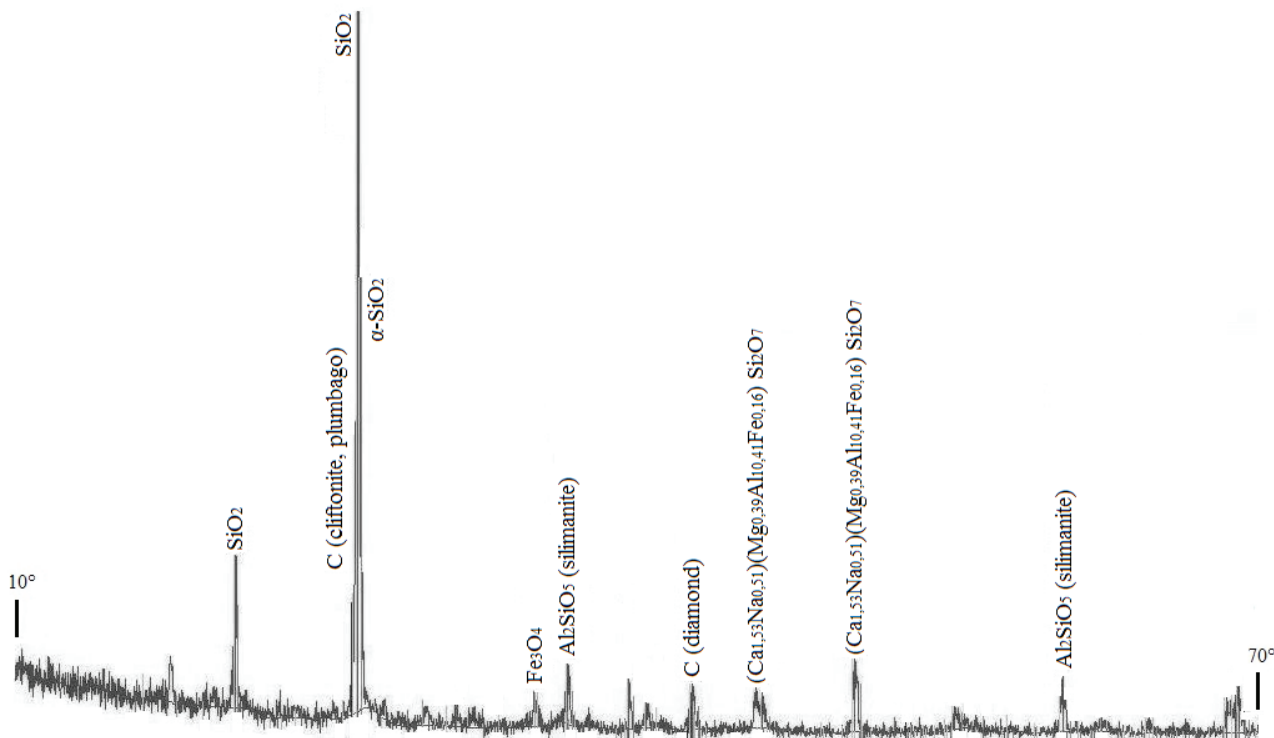


Рис. 1. Рентгенограмма природного шунгита в диапазоне углов отражения от 10°

Для предварительного анализа воды озера Алаколь в 2013÷2014 гг. были отобраны три пробы на северном побережье в трёх различных точках. По результатам анализа трёх проб исследованная вода в среднем имеет следующий химический состав, мг/дм³: U – 0,015; F – 1,7; Br – 1,8; Cl – 1395,4; NO₃⁻ – 1,1; SO₄²⁻ – 2910,8; HCO₃⁻ – 195,0; Na – 3143,7; Mg – 564,0; K – 31,3; Ca – 7,4. Для извлечения урана из озёрной воды использовали природные сорбенты – шунгит Коксуского месторождения Алматинской области и цеолит Тайжугенского месторождения Восточно-Казахстанской области, а также продукты модификации указанных сорбентов, полученные при совместном осаждении на их поверхности гидроксидов меди (II) и никеля (II).

Шунгит – углеродсодержащий природный минерал [15], имеющий примеси кремния, алюминия, железа и других элементов. Шунгит занимает промежуточное место между аморфными и кристаллическими формами углерода, обнаруживая признаки тех и других веществ. Основными структурными элементами шунгита являются глобулы, представляющие собой сферические или эллипсоидальные углеродные образования размером в среднем 10 нм, внутри которых было установлено наличие пустот. Кроме внутренних пустот шунгит имеет межглобулярные пустоты (или поры).

Запасы шунгита месторождения Коксу значительны и оцениваются сотнями миллионов тонн. Шунгит, использованный в данной работе, имел крупность +0,5–1,0 мм, химический состав, приведённый в таблице 1, и фазовый состав, показанный на рисунке 1.

Таблица 1 – Химический состав шунгита и цеолита

Сорбент	Содержание, мас. %							
	C	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
Шунгит	10,00	28,02	7,77	4,52	1,16	1,07	1,28	1,75
Цеолит	не опр.	30,59	9,73	1,66	1,46	1,29	2,02	3,59

Цеолиты – кристаллические водные алюмосиликаты, которые содержат в качестве катионов щелочные и щелочноземельные элементы [16]. Цеолиты относятся к группе каркасных алюмосиликатов, состоящих из тетраэдров AlO₄ и SiO₄. Каркасы цеолитов содержат каналы и сообщающиеся между собой полости, в которых находятся катионы и молекулы воды. Химический состав цеолитов в общем виде можно представить формулой M_{x/n}[(AlO₂)_x(SiO₂)_y]·_wH₂O, где M – Na, K, Ca, Mg, Ba [16]. Запасы цеолита Тайжугенского месторождения существенны и оцениваются десятками миллионов тонн.

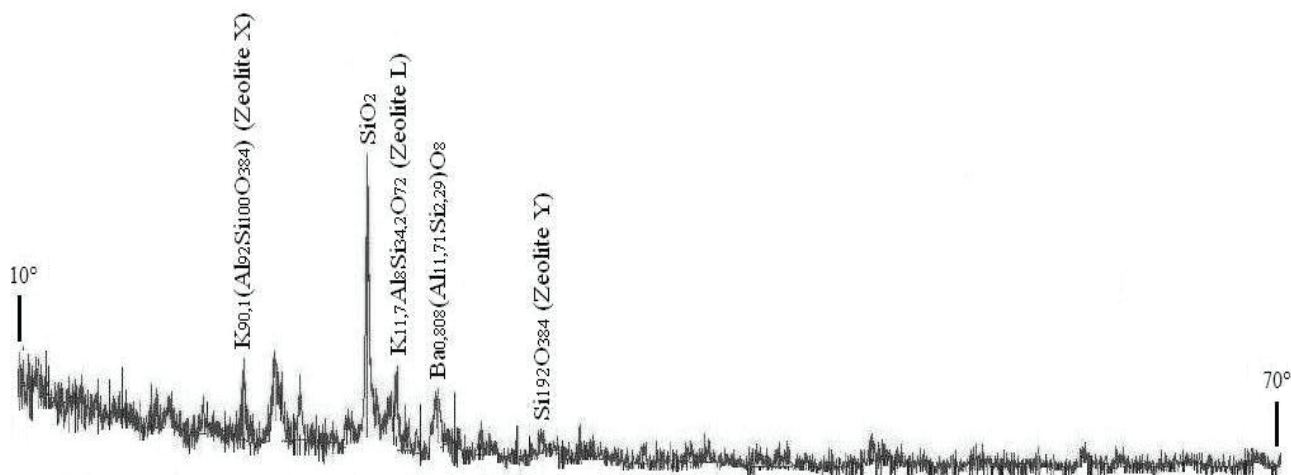


Рис. 2. Рентгенограмма природного цеолита в диапазоне углов отражения от 10°

Цеолит, использованный в данной работе, имел крупность +0,5–1,0 мм, химический состав, приведённый в таблице 1, и фазовый состав, показанный на рисунке 2.

Указанные выше сорбенты и продукты их модификации использованы для сорбции урана из озёрной воды вышеприведённого состава в статических условиях (с использованием стеклянных стаканов объёмом 1 дм³). Все эксперименты проведены при температуре 20 °С и атмосферном давлении.

Гранулометрический состав сорбентов определяли методом ситового анализа.

Для осуществления контакта воды с сорбентом использовано перемешивающее устройство ES-8300 «Экрос» (Россия).

Исходную озёрную воду и фильтраты сорбции урана анализировали на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS 7500 сx «Agilent technologies» (США).

Экспериментальная часть и обсуждение полученных результатов. Сорбция урана из воды озера Алаколь с использованием шунгита и цеолита. Ранее авторами данной работы были опубликованы доклады с результатами поисковых исследований по извлечению урана из воды озера Алаколь [17]. Эти результаты, дополненные новыми экспериментальными данными, приводятся ниже. Для сорбции урана из озёрной воды вышеуказанного химического состава применяли природный шунгит и цеолит крупностью +0,5–1,0 мм. Сорбцию урана из озёрной воды проводили в статических условиях. Для повышения концентрации урана в исследуемой воде, её предварительно упаривали. В сосуд, содержащий 0,5 дм³ исследуемой воды,

помещали 0,5 г сорбента. Эксперименты по сорбции урана проводили при температуре 25 °С. В ходе эксперимента воду с сорбентом постоянно перемешивали механической мешалкой в течение 1 ч. Затем из воды отбирали 1 см³ декантата, подвергали его контрольной фильтрации, после чего полученный фильтрат анализировали на содержание урана масс-спектральным методом [18]. В воду, полученную после первой стадии сорбции урана, дополнительно помещали новую порцию природного сорбента массой 0,5 г. Далее воду с 1 г сорбента также выдерживали при постоянном перемешивании 1 ч, после чего анализировали на содержание урана. В конце эксперимента в воду со второй стадии сорбции урана добавляли новую порцию сорбента в количестве 0,5 г. Воду с 1,5 г сорбента выдерживали при указанных выше условиях, а затем анализировали на содержание урана. Результаты опытов по сорбции урана приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты опытов по извлечению урана из воды озера Алаколь шунгитом и цеолитом (Концентрация U – 42,3 мкг/дм³. Условия: объем воды – 0,5 дм³, время контакта – 1 ч)

№ опыта	Сорбент	Навеска сорбента, г	Концентрация U в декантате сорбции, мкг/дм ³	Извлечение урана в сорбент за 1, 2, 3 стадии сорбции	
				мкг	%
1	Шунгит	0,5	6,42	17,9	84,8
2		1,0	4,98	18,6	88,1
3		1,5	3,14	19,5	92,4
4	Цеолит	0,5	3,82	19,2	91,0
5		1,0	3,83	19,2	91,0
6		1,5	3,58	19,3	91,5

Из данных, представленных в таблице 2 видно, что:

1) в опыте 1 извлечение урана в шунгит составило ~ 85 % (в последующих опытах 2 и 3 данный показатель вырос до ~ 88 % и далее до ~ 92,5 %);

2) в опыте 4 извлечение урана в цеолит составило 91 % (в последующих опытах 5 и 6 данный показатель остался на том же уровне).

Установлено, что в условиях эксперимента оба сорбента обеспечивают извлечение урана на уровне 91-92,4 %, но такое извлечение при использовании цеолита достигается за 1 ч, тогда как при использовании шунгита только за 3 ч. При этом цеолита требуется в 3 раза меньше, чем шунгита.

С целью повышения сорбционной способности шунгита и цеолита в дальнейшей работе поставлены опыты по их модификации.

Сорбция урана из воды озера Алаколь с использованием модифицированных шунгита и цеолита. Указанные сорбенты были модифицированы гидроксидами меди (II) и никеля с использованием рекомендаций, приведённых в работах [19, 20]. Согласно выбранному способу модификации сорбента, его навеску крупностью +0,5–1,0 мм и массой 1,5 г помещали в химический стакан объёмом 100 см³. Далее к сорбенту приливали 19,2 см³ раствора нитратов меди (II) и никеля с концентрацией меди 0,7212 г/дм³, никеля 2,8096 г/дм³. Затем при постоянном перемешивании данного раствора в него добавляли 9,6 см³ раствора едкого натра концентрацией 400 г/дм³. Полученную смесь перемешивали 30 мин при комнатной температуре, после чего из неё декантировали взвесь неосаждённых на сорбент гидроксидов. Операцию очистки модифицированного сорбента от взвесей гидроксидов повторяли ещё 2÷3 раза с использованием дистиллированной воды в объёме 100 см³ на каждую очистку. Полученный в результате такой модификации сорбент сушили при 100 °С до постоянной массы.

Модифицированный сорбент подвергали дополнительно четырёхкратной модификации в режиме, использованном при его однократной модификации. Продукт пятикратно модифицированного сорбента использовали в последующих опытах по сорбции урана из воды озера Алаколь. Полученные результаты представлены в таблице 3. Применяли тот же режим сорбции, что и при использовании немодифицированных шунгита и цеолита, указанный выше.

Таблица 3 – Результаты опытов по извлечению урана из воды озера Алаколь модифицированными шунгитом и цеолитом (Концентрация U – 42,3 мкг/дм³. Условия: объём воды – 0,5 дм³, время контакта – 1 ч)

№ опыта	Модифицированный сорбент	Навеска Сорбента, г	Концентрация U в декантате сорбции, мкг/дм ³	Извлечение урана в сорбент за 1, 2, 3 стадии сорбции	
				мкг	%
1	Шунгит	0,5	2,4	19,9	94,3
2		1,0	2,8	19,7	93,4
3		1,5	1,8	20,2	95,7
4	Цеолит	0,5	3,3	19,4	91,9
5		1,0	2,7	19,7	93,4
6		1,5	3,0	19,6	92,9

Сравнительный анализ данных, представленных в таблицах 2 и 3, показывает, что:

– шунгит способен сорбировать из воды озера Алаколь до 92,4 % урана, тогда как модифицированный шунгит – до 95,7 % урана;

– цеолит способен сорбировать из воды озера Алаколь до 91,5 % урана, тогда как модифицированный цеолит – до 93,4 % урана.

В заключительных опытах (опыты 3 и 5, таблица 3) концентрация урана в воде после его сорбции снижается до 1,8÷2,7 мкг/дм³. Вследствие такой низкой концентрации урана в воде существенного повышения извлечения его в сорбент не достигается.

Выводы. Опробованные для извлечения урана из воды озера Алаколь природные сорбенты – шунгит и цеолит, позволяют извлекать порядка 92 % урана в условиях поставленного эксперимента.

Модификация шунгита и цеолита гидроксидами меди (II) и никеля (II) обеспечила повышение степени извлечения урана из воды озера Алаколь соответственно до 95,7 % и 93,4 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Самойлов В.И., Садуакасова А.Т. Гидроминеральное ураносодержащее сырьё // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 15. – С. 96-104.
- 2 Mingkuan Qin. Current Progresses and Prospects on Unconventional Uranium Resources (UUR) of China. Technical Meeting on Uranium from Unconventional Resources. IAEA. – Vienna, Austria, 4–6 November – 2009. – [электрон. ресурс] – 2009. – URL: https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/documents/RawMaterials/TM_Vienna2009/presentations/9_QIN-CHINA.pdf (дата обращения: 20.07.2016).
- 3 Mehmet Yaman, Muharrem Ince, Ensar Erel, Emine Cengiz1, Tulin Bal1, Cigdem Er, Fevzi Kilicel. Distribution Study of U, V, Mo, and Zr in Different Sites of Lakes Van and Hazar, River and

Seawater Samples by ICP-MS. // *Clean – Soil, Air, Water* – 2011. – Vol. 36, № 6 – P. 530-536.

4 Hammer U. T. *Saline lake ecosystems of the world*. – Dordrecht – Boston: Dr. W. Junk Publishers, USA. P. 1986-616.

5 Хакимов Н., Назаров Х.М., Мирсаидов И.У., Баротов Б.Б., Мирсаидов У. О возможностях извлечения урана из рапы озера Сасык-Куль Таджикистана // Докл. АН Республики Таджикистан. – 2011. – Т. 54, № 9. – С. 769-773.

6 Исупов В.П., Шацкая С.С., Бородулина И.А. Уран в минерализованных озёрах Западной Монголии и сопредельной территории России: ресурсы, источники накопления, пути инновационного освоения // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2014. – № 22. – С. 429-436.

7 Stromman G., Rosseland B.O., Skipperud L., Burkitbaev L.M., Uralbekov B. Uranium activity ratio in water and fish from pit lakes in Kurday, Kazakhstan and Taboshar, Tajikistan. // *Journal of Environmental Radioactivity* – 2013. – Vol. 123 – p. 71-81.

8 Kulenbekov Z., Merkel B.J. Investigation of the natural uranium content in the Issyk-Kul Lake, Kyrgyzstan. *Freiberg Online Geology*. – [электронный ресурс] – 2012. URL: http://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-geologie-718/pdf/fog_volume_33.pdf (дата обращения: 20.07.2016).

9 Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ляхов Н.З., Шварцев С.Л., Ариунбилэг С., Колпакова М.Н., Шацкая С.С., Чупахина Л.Э., Куйбида Л.В., Мороз Е.Н. Ураноносность высокоминерализованных озёр Северо-Западной Монголии // Доклады Российской Академии Наук. – 2011. – Т. 437. № 1. – С. 85-89.

10 Островский Ю.В., Заборцев Г.М., Ляхов Н.З., Исупов В.П. Извлечение урана из минерализованных вод озера Шаазгай нуур (Монголия) // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2012. – Т. 20. № 6. – С. 707-712.

11 Садуакасова А.Т., Самойлов В.И., Зеленин В.И., Куленова Н.А. Сорбция урана из подземной воды с использованием шунгита, фосфогипса и продуктов их модификации // *Комплексное использование минерального сырья*. – 2016. – № 2. – С. 51-56.

12 Saduakassova A.T., Samoilov V.I., Zelenin V.I., Kulenova N.A. Methods for sorption purification of underground water to remove uranium. // *Russian Journal of Applied Chemistry* – 2016. – Vol. 89, № 4 – P. 467-475.

13 *Гидрогеология СССР. В 45 кн. / Под ред. А.В.Сидоренко. Кн. 37. Восточный Казахстан*. – М.: Недра, 1970. – 473 с.

14 Филонец П.П., Омаров Т.Р. *Озёра Центрального и Южного Казахстана*. – Алма-Ата: Наука. 1981. – 232 с.

15 Мусина У.Ш., Самонин В.В. Углерод-минеральный состав шунгитовых пород Коксуского месторождения Казахстана // *Известия СПбГТИ (ТУ)*. – 2013. – Т. 45. № 19. – С. 39-41.

16 Breck D. *Zeolite molecular sieves*. New York: A Wiley-Inter science publication, 1974.

17 Садуакасова А.Т., Самойлов В.И., Зеленин В.И., Куленова Н.А. Полежаев С.Н. Исследование процесса сорбционного извлечения урана из воды озера Алаколь // *Образование и наука без границ: матер XI Междунар. конф. – Przemysł, Polska, 2015* – Vol. 14. P. 7-11.

18 Karpas Z. *Analytical Chemistry of Uranium: Environmental, Forensic, Nuclear, and Toxicological Applications*. Boca Raton: CRC Press, 2014. – 324 p.

19 Зеленин В.И., Рычков В.Н. Извлечение урана из растворов гидроксидами металлов // *Актуальные проблемы урановой промышленности: матер. III Междунар. конф.* – Алматы, Казахстан, 2005. – С. 208-216.

20 Пат. 1349288 РФ. Способ извлечения урана из

разбавленных растворов / Зеленин В.И., Пахолков В.С., Цевин А.П., Худяков В.И.; опубл. 1987, Бюл. № 40.

REFERENCES

1 Samoilov V.I., Saduakassova A.N. *Gidromineral'noe uransoderzhashchee syr'e* (Hydromineral uranium-containing raw materials). *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' = Mining informational and analytical bulletin*. **2015**. 15. 96-104 (in Russ.).

2 Mingkuan Qin. Current Progresses and Prospects on Unconventional Uranium Resources (UUR) of China. *Technical Meeting on Uranium from Unconventional Resources 4–6 November 2009*. Vienna, Austria. **2009**. [electronic resource]. 2009. URL: https://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/documents/RawMaterials/TM_Vienna2009/presentations/9_QIN-CHINA.pdf (requirements date: 25.12.2015). (in Eng.).

3 Mehmet Yaman, Muharrem Ince, Ensar Erel, Emine Cengiz1, Tulin Bal1, Cigdem Er, Fevzi Kilicel. Distribution Study of U, V, Mo, and Zr in Different Sites of Lakes Van and Hazar, River and Seawater Samples by ICP-MS. *Clean – Soil, Air, Water*. **2011**, 39 (6), 530-536 (in Eng.).

4 Hammer U. T. *Saline lake ecosystems of the world*. Dordrecht – Boston: Dr. W. Junk Publishers. USA. **1986**. 616 (in Eng.).

5 Khakimov N., Nazarov Kh.M., Mirsaidov I.U., Barotov B.B., Mirsaidov U. *O vozmozhnostyakh izvlecheniya urana iz rapy ozera Sasyk-Kul' Tadzhikistana* (A note on the possible uranium extraction from Sasyk-Kul's natural brine in Tadzhikistan). *Dokl. AN Respubliki Tadzhikistan = Tadzhikistan Academy of Sciences reports*. **2011**. 54. 9. 769-773 (in Russ.).

6 Isupov V.P., Shatskaya S.S., Borodulina I.A. *Uran v mineralizovannikh ozerakh Zapadnoi Mongolii i sopredel'noi territorii Rossii: resursy, istochniki nakopleniya, puti innovatsionnogo osvoeniya* (Uranium in the lakes of West Mongolia and cross-border region of Russia: recourses, source of accumulation, innovative reclamation routs) *Khimiya v interesakh ustojchivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*. **2014**. 22. 429-436 (in Russ.).

7 Stromman G., Rosseland B.O., Skipperud L., Burkitbaev L.M., Uralbekov B. Uranium activity ratio in water and fish from pit lakes in Kurday, Kazakhstan and Taboshar, Tajikistan. *Journal of Environmental Radioactivity*. **2013**, 123, 71-81 (in Eng.).

8 Kulenbekov Z., Merkel B.J. *Investigation of the natural uranium content in the Issyk-Kul Lake, Kyrgyzstan*. *Freiberg Online Geology*. Freiberg, Germany. [electronic resource]. **2012** URL: http://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-geologie-718/pdf/fog_volume_33.pdf (access date: 20.07.2016). (in Eng.).

9 Isupov V.P., Vladimirov A.G., Lyakhov N.Z., Shvartsev S.L., Ariunbilэг S., Kolpakova M.N., Shatskaya S.S., Chupakhina L.E., Kuibida L.V., Moroz E.N. *Uranonosnost' vysokomineralizovannikh ozyor Severo-Zapadnoj Mongolii* (The uranium-containing of northwest Mongolia highly mineralized lakes) *Dokl. Rossiyskoy Akad. Nauk = Reports of Russian Academy of Sciences*. **2011**. 437. 1. 85-89 (in Russ.).

10 Ostrovskij Yu.V., Zabortsev G.M., Lyakhov N.Z., Isupov V.P. *Izvlechenie urana iz mineralizovannikh vod ozera Shaazgai nuur (Mongolia)*. (Uranium extraction from highly mineralized water of Shaazgai nuur Lake (Mongolia)). *Khimiya v interesakh ustojchivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*. **2012**. 20. 6. 707-712 (in Russ.).

11 Saduakassova A.T., Samoilov V.I., Zelenin V.I., Kulenova N.A. *Sorbtsiya urana iz podzemnoj vody s ispol'zovaniem shungita, fosfogipsa i produktov ikh modifikatsii* (Uranium sorption from groundwater by using of shungite, phosphogypsum and products of

their modification). *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya* = *Complex Use of Mineral resources*. **2016**. 2. 51-56 (in Russ.).

12 Saduakassova A.T., Samoilov V.I., Zelenin V.I., Kulenova N.A. Methods for sorption purification of underground water to remove uranium. *Russian Journal of Applied Chemistry*. **2016**. 89 (4). 467-475 (in Eng.).

13 *Gidrogeologiya SSSR* (Hydrogeology of the USSR) under editorship of Sidorenko A.V. Vol. 37. Eastern Kazakhstan Moscow: Nedra, **1970**, 473 (in Russ.).

14. Filonets P.P., Omarova T.R. *Ozera Tsentralnogo i Yuzhnogo Kazakhstana* (Central and Southern Kazakhstan Lakes), Alma-Ata: Nauka, **1981**, 232 (in Russ.).

15 Musina U.Sh., Samonin V.V. *Uglerod-mineral'nyj sostav shungitovykh porod Koksuskogo mestorozhdeniya Kazakhstana* (Carbon-inorganic composition of Koksus deposit's schungite rocks). *Izvestiya SPbGTI (TU) = Proceedings of the SPbSTI (TU)*. **2013**. 19 (45). 39-41. (in Russ.).

16 Breck D. Zeolite molecular sieves. New York: Wiley-Interscience publication, **1974**. (in Eng.).

17 Saduakassova A.T., Samoilov V.I., Zelenin V.I., Kulenova

N.A., Polezhaev S.N. *Issledovanie protsessa sorbtionnogo izvlecheniya urana iz vody ozera Alakol'*. (Research of uranium sorption extraction from water the Lake Alakol). *Wykształcenie i nauka bez granic: mater. XI Międzynar. naukowo-praktycznej konf.* (Science and education without borders: proceedings of XI international conference – Przemysł, Poland. **2015**. 14. 7-11. (in Russ.).

18 Karpas Z. Analytical Chemistry of Uranium: Environmental, Forensic, Nuclear, and Toxicological Applications. Boca Raton: CRC Press, **2014**, 324. (in Eng.).

19 Zelenin V.I., Rychkov V.N. *Izvlechenie urana iz rastvorov gidroksidami metallov* (The uranium extraction from the solutions using of metal's hydroxides). *Aktual'nye problem uranovoi promyshlennosti: mater. III mezhdunar. konf.* (Current problems of the uranium industry: proceedings of III international conference) Almaty: Bastau, Kazakhstan. **2005**. 208-216 (in Russ.).

20 Pat. 1349288 RU. *Sposob izvlecheniya urana iz razbavlenikh rastvorov* (Method for uranium recovery from diluted solution). Zelenin V.I., Pakholkov V.S., Tsevin A.P., Khudyakov V.I. Opubl. **1987**, 40. (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Қазіргі кезде металдарды, сонымен қатар уранды сіңіру әдістерімен бөліп алудың перспективті көзі - гидроминералды шикізат болып саналады. Бұл жұмыста иониттер ретінде табиғи сіңіргіштерді қолдану тиімді болып саналады. Мақалада көрсетілген зерттеулерде сіңіргіштер ретінде Көксу кенорнының (Алматы облысы) табиғи шунгиті, Тайжүзген кенорнының (Шығыс Қазақстан облысы) табиғи цеолиті және оларды түрлендіру өнімдері қолданылды. Табиғи шунгит пен цеолитті түрлендіру олардың беттерінде мыстың (II) және никельдің гидроксидтерін химиялық тұндыру арқылы жүзеге асырылды. Құрамында мкг/дм³ уран кездесетін Алакөл (Шығыс Қазақстан облысы) көлінің суынан уранды бөліп алу кезіндегі берілген сіңіргіштердің және оларды түрлендіру өнімдерінің сіңіргіштік қасиеттері зерттелді. Алакөл көлінің суындағы уранның мөлшерін болжамдық бағалау жүз мың тоннаны көрсетті. Сіңіргіштерді түрлендіру және уранды сіңіру режимдерінің шарттары белгіленді. Эксперименттік зерттеулер берілген судан шунгит пен цеолит сіңірудің статистикалық режимінде 92 % уранды бөліп алатындығын көрсетті. Уранды сіңірудің ұқсас режимінде табиғи шунгит пен цеолиттің түрлендірудің сынамау өнімдері ~ 93÷96 % уранды сорбентке бөліп алуды қамтамасыз етті. Белгіленген қатынастар гидроминералды шикізат көздерінен және өндірістік кәсіпорындардан шыққан сулардан уранды бөліп алу технологиясын игеру кезінде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: сіңіру, уран, шунгит, цеолит, мыс гидроксиді, никель гидроксиді, көл суы.

SUMMARY

At present time hydro-mineral raw material is one of the perspective sources for metals extracting by sorption, particularly uranium. In the paper suitability of natural sorbents using is shown. In the researches natural schungite of Koksus deposit (Almaty region), natural zeolite of Tajzhuzgen deposit (East Kazakhstan region) and products of their modification were used as sorbents. Modification of natural schungite and zeolite consists in simultaneous chemical precipitation of copper (II) and nickel (II) hydroxides on the surface of natural sorbents. Sorption capacity of indicated sorbents and products of their modification was studied for uranium extraction from the lake water by use samples from Alakol Lake (East Kazakhstan region), water of this lake contains tens $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ of uranium. According to prognostic estimation uranium amount in Alakol Lake is equal to hundreds of thousands tones. Sorbents modification and sorption processes terms were determined. It was shown that schungite and zeolite extract from this water in static conditions of sorption about 92 % of uranium. Products of modification of natural schungite and zeolite in analogous sorption conditions extract ~ 93÷96 % of uranium. Results of work can be used at development of technology for uranium extraction from hydro-mineral sources and waste waters of production plants.

Key words: sorption, uranium, schungite, zeolite, copper hydroxide, nickel hydroxide, lake water.

Поступила 24.03.2016