

**В.И. Зеленин, А.Т. Садуакасова, В.И. Самойлов,
Н.А. Куленова, Т.А. Зяпаева, О.А. Дрючкова**

СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРОВ И ПРИРОДНЫХ ВОД

Исследованы сорбционные характеристики ионитов при их использовании для сорбции урана из урансодержащего модельного раствора, имитирующего морскую воду. В качестве урансодержащего раствора применяли водный раствор аммонийуранилтрикарбоната – $(\text{NH}_4)_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$, с содержанием основного вещества 96,6% масс. В результате проведенных исследований разработан способ извлечения урана из разбавленных растворов и природных вод с использованием шунгитсодержащего сорбента. Для его получения использовался шунгит Коксуского месторождения (Алматинская область). Получение шунгитсодержащего сорбента включает химическую активацию природного шунгита и последующее осаждение на его поверхности гидроксида цинка. В результате сорбции урана из имитата морской воды с использованием полученного сорбента получен насыщенный по урану сорбент, содержащий 6,35% урана. Ключевые слова: уран, сорбция, шунгит, гидроксид цинка, имитат морской воды.

В данных исследованиях в качестве имитата гидроминерального и техногенного урансодержащего сырья использовался раствор АУТК с концентрацией 5 мг/дм³ по урану. Принятая в экспериментах концентрация урана в исходном растворе АУТК (5 мг/дм³ по урану) обоснована тем, что наиболее богатые источники гидроминерального урансодержащего сырья характеризуются содержанием урана от 2,2 мг/дм³ до 60 мг/дм³ [1], а максимально допустимое содержание урана в сбросных растворах урановых производств оценивается в 15 мг/дм³.

Использованный в работе шунгит представляет собой углеродсодержащий природный минерал [2]. Данный минерал занимает промежуточное место между аморфными и кристаллическими формами углерода, обнаруживая признаки тех и других веществ. Основным структурным элементом шунгита являются глобулы, представляющие собой сферические или эллипсоидальные углеродные образования размером в среднем 10 нм, внутри которых было установлено наличие пустот. Кро-

Таблица 1

Химический состав Коксуских шунгитов, % масс.

C	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
10,00	28,02	7,77	4,52	1,16	1,07	1,28	1,75

ме внутренних пустот шунгит имеет межглобулярные пустоты (или поры). Запасы использованного в данной работе шунгита месторождения Коксу значительны и оцениваются сотнями миллионов тонн. Шунгит, использованный в данной работе, имел крупность $-0,1$ мм. Результаты химического, рентгено-структурного и термогравиметрического анализа шунгита месторождения Коксу представлены в табл. 1 и на рис. 1 и 2.

В работе [3] приведены сведения об использовании неорганических и органических сорбентов для сорбции урана при отработке урансодержащего рудного и гидроминерального сырья. Показано [3], что ионообменные свойства по отношению к урану проявляют гидроксиды циркония, ванадия, титана, магния, никеля, кобальта, кадмия, меди, цинка, полученные осаждением из растворов, а также смешанные гидроксиды, полученные, например, совместным осаждением из растворов гидроксидов меди и никеля.

В работах [4, 5] описана возможность извлечения урана разбавленных растворов и природных вод с использованием в качестве сорбентов гидроксидсодержащих материалов. Преимуществом неорганических сорбентов перед ионообменными смолами яв-

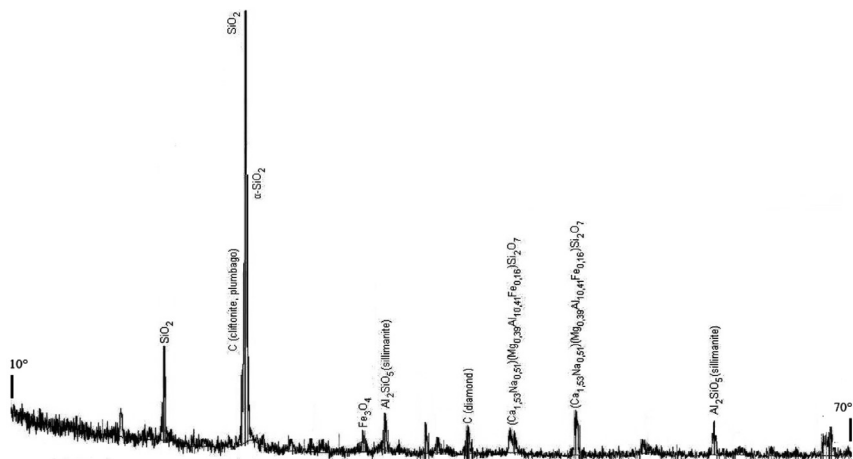


Рис. 1. Рентгенограмма исходного природного шунгита в диапазоне углов отражения от 10° до 70°

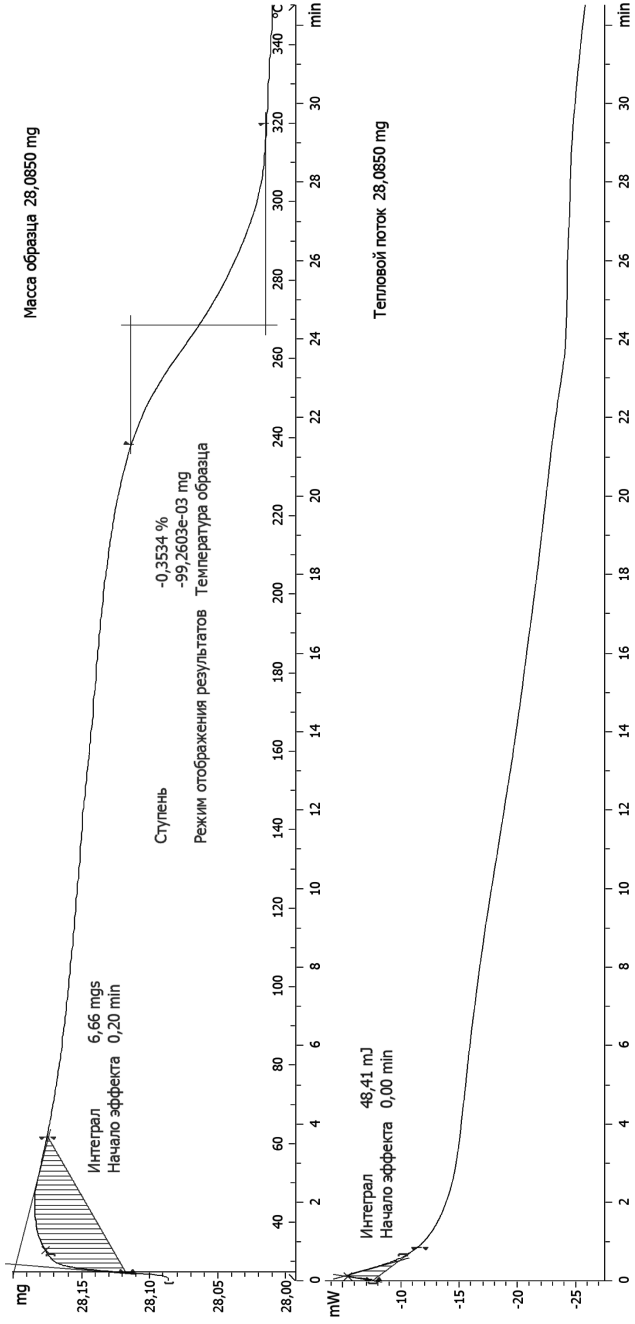


Рис. 2. Результаты термовравиметрического анализа шунгита

ляется их селективность по отношению к урану при сорбции из разбавленных растворов с высоким солесодержанием. Общим недостатком считается невысокая сорбционная емкость.

Авторы работы [6] предложили применять для извлечения урана из морской воды смешанный гидроксид меди и никеля. Данный продукт ими получен замораживанием геля гидроксидов. Однако указанный ионит имеет недостатки – относительно низкую степень извлечения урана и относительно малую концентрацию урана в ионите по окончании процесса сорбции.

В данной работе решалась задача получения сорбента, позволяющего повысить степень извлечения урана в сорбент и получить более концентрированный по урану ионит по окончании процесса сорбции урана.

Авторами [7] получены гранулы гидроксидсодержащего материала, представляющего собой шунгит, модифицированный гидроксидами меди (II) и никеля, имеющий массовое соотношение шунгит : гидроксид меди (II) : гидроксид никеля, равное 16 : 1 : 4.

В данной статье решалась задача дополнительного повышения содержания урана в сорбенте и исключение стадии гранулирования сорбента при его получении.

В разработанном с данной целью способе извлечения урана из имитата гидроминерального и техногенного сырья сорбцию урана осуществляли на химически активированном шунгите крупностью +0,5–1,0 мм. Химически активированный шунгит модифицировали гидроксидом цинка при соотношении шунгит : гидроксид цинка, равном 7:1. Химическое активирование и модификация шунгита проведены по следующей методике.

Частицы шунгита выдерживали в течение 30 мин в серно-кислом растворе сульфата цинка (рН1) с содержанием цинка 31 г/дм³. Затем в пульпу сорбента добавляли раствор едкого натра для осаждения гидроксида цинка (осаждение проводилось при рН8). Незакрепленный на поверхности шунгита гидроксид цинка декантировали из пульпы сорбента методом отмучивания. Модифицированный таким образом шунгит использовали для сорбции урана в динамических условиях, аналогичных условиям испытания сорбента из смеси шунгита и гидроксидов меди и никеля. Результаты испытания приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, полная динамическая обменная емкость модифицированного шунгита выше, чем у сорбента из смеси шунгита и гидроксидов меди и никеля. В результате испытания получен 6,35%-ный по урану концентрат. Степень извлечения урана из раствора в разработанном способе по срав-

Таблица 2

Сравнительные данные по сорбции урана из имитата морской воды модифицированным шунгитом и сорбентом из смеси шунгита и гидроксидов меди и никеля

Характеристика	Смесь шунгита и гидроксидов меди и никеля	Модифицированный шунгит
Концентрация урана в исходном растворе, мг/дм ³	5,0	5,0
Скорость фильтрации, м/час (см ³ /мин)	1,5	1,5
Высота слоя сорбента в колонке, мм	3	3
Объем раствора, пропущенного через колонку, дм ³	10	10
Обменная емкость, мг/г	39,7	63,5
Степень извлечения урана из раствора	84,92	86,00
Элюент	1М (Na) ₂ CO ₃	1М Na ₂ CO ₃
Весовое отношение элюент/сорбент при 90%-ном вымывании урана	100:1	100:1
Наличие вещества сорбента в фильтрате	нет	нет

нению с известным способом увеличилась с 84,92 % до 86,00 % (табл. 1). Десорбция сорбированного урана проведена практически полностью (>90%) при одинаковом массовом соотношении элюент и сорбент.

Применение химически активированного серной кислотой крупнозернистого шунгита, модифицированного гидроксидом цинка, позволяет исключить использование гранул и получить более насыщенный по урану концентрат.

Выводы

1. Разработан способ модификации порошкообразного шунгита гидроксидами меди (II) и никеля, последующей грануляции модифицированного продукта и использование полученных гранул для извлечения урана из модельного раствора АУТК. Определены технологические параметры процесса сорбции урана на гранулах модифицированного шунгита. Результатами данных исследований показана возможность получения концентрата с содержанием урана 3,97%, что соответствует урановой руде сорта I («очень богатая руда»).

2. Разработан способ модификации химически активированного крупнозернистого шунгита гидроксидом цинка для извле-

чения урана из модельного раствора АУТК. Определены технологические параметры процесса сорбции урана с использованием модифицированного крупнозернистого шунгита. Результатами данных исследований показана возможность получения концентрата с содержанием урана 6,35%, что соответствует урановой руде сорта I («очень богатая руда»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Самойлов В. И., Садуакасова А. Т.* Гидроминеральное урансодержащее сырье // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 6. — С. 96–104.
2. *Мусина У. Ш., Самонин В. В.* Известия СПбГТИ (ТУ). — 2013. — № 19(45). — С. 39–41.
3. *Садуакасова А. Т., Самойлов В. И., Зеленин В. И.* Сорбенты, применяемые в химико-металлургических технологиях извлечения урана // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов. Материалы XII Международной научной конференции. Т. 3. — Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2015. — С. 224–230.
4. *Ласкорин Б. Н., Метальников С. С., Смолина Г. И.* Извлечение урана из природных вод // Атомная энергия. — 1977. — № 43. — Вып. 6. — С. 472–476.
5. *Андреанов А. М. и др.* Сорбция урана промышленным образцом гидроксиды титана // Радиохимия. — 1977. — № 19. — Вып. 6. — С. 784–786.
6. Авторское свидетельство SU1349288 от 02.01.86.
7. *Зеленин В. И., Садуакасова А. Т., Самойлов В. И., Куленова Н. А., Зяпаева Т. А.* Способ извлечения урана из имитата морской воды с применением модифицированного шунгита // Материалы за 12-а международна научна практична конференция. Т. 11. — София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2016. — С. 8–10. **ПАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Зеленин В. И.*² — доктор технических наук, профессор,
e-mail: zeleninvik@gmail.com,

*Садуакасова А. Т.*¹ — докторант кафедры,
e-mail: a_saduakassova@mail.ru,

*Самойлов В. И.*¹ — доктор технических наук,
старший преподаватель, e-mail: samval@bk.ru,

*Куленова Н. А.*¹ — кандидат технических наук,
ассоциированный профессор, зав. кафедрой,
e-mail: NKulenova@ektu.kz,

*Зяпаева Т. А.*² — студент,
e-mail: zeleninvik@gmail.com,

Дрючкова О. А. — научный сотрудник филиала РГП «НЦ КПМС РК» «ВНИИцветмет», г. Усть-Каменогорск (Казахстан).
070010, Усть-Каменогорск, e-mail: olesyal89@mail.ru,

¹ Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева,

² Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина.

**METHOD OF URANIUM RECOVERY FROM DILUTE
SOLUTIONS AND ENVIROMENTAL WATERS**

Paper represents results of ion exchangers' sorption properties research at their using for uranium sorption from the uranium-containing test solution imitated sea water.

As uranium-containing solution aquatic solution of ammonium uranyl tricarbonate (NH₄)₄[UO₂(CO₃)₃] with base material content 96,6 per cent were used.

In consequence of carried out research method of uranium sorption from dilute solutions and environmental waters by using of shungite-containing sorbent is worked out. The sorbent produced by using of Koku deposit's shungite (Almaty region). Production of shungite-containing sorbent includes chemical activation of natural shungite and zinc hydroxide's precipitation on its surface. As the result of uranium sorption from sea water imitate by means of shungite-containing sorbent the sorbent rich by uranium containing 6,35 per cent of uranium were obtained.

Key words: uranium, sorption, shungite, zinc hydroxide, sea water imitate.

AUTHORS

*Zelenin V.I.*², Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: zeleninvik@gmail.com,

*Saduakassova A.T.*¹, Doctoral Candidate, e-mail: a_saduakasova@mail.ru,

*Samoilov V.I.*¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Lecturer, e-mail: samval@bk.ru,

*Kulenova N.A.*¹, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor,

Head of Chair, e-mail: NKulenova@ektu.kz,

*Zyapaeva T.A.*², e-mail: zeleninvik@gmail.com,

Dryuchkova O.A., Research Assistance of RGP «NC KPMS RK»

«VNIItsvetmet» filial agency, 070010, Oskemen, Kazakhstan, e-mail: olesyal89@mail.ru,

¹ D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University,

070003, Oskemen, Kazakhstan,

² Ural Federal University, 620002, Ekaterinburg, Russia.

REFERENCES

1. Samoylov V.I., Saduakasova A. T. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 6, pp. 96–104.

2. Musina U. Sh., Samonin V. V. *Izvestiya SPbGTI (TU)*. 2013, no 19(45), pp. 39–41.

3. Saduakasova A. T., Samoylov V. I., Zelenin V. I. *Perspektivnye tekhnologii, oborudovanie i analiticheskie sistemy dlya materialovedeniya i nanomaterialov. Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. T. 3. (Advanced technologies, equipment and analytical systems for materials science and nanomaterials. XII International Scientific Conference Proceedings, vol. 3), Ust'-Kamenogorsk, VKGTU, 2015, pp. 224–230.

4. Laskorin B. N., Metal'nikov S. S., Smolina G. I. *Atomnaya energiya*. 1977, no 43, issue 6, pp. 472–476.

5. Andrianov A. M. *Radiokhimiya*. 1977, no 19, issue 6, pp. 784–786.

6. Copyright certificate SU1349288, 02.01.86.

7. Zelenin V. I., Saduakasova A. T., Samoylov V. I., Kulenova N. A., Zyapaeva T. A. *Materialy za 12-a mezhduнародna nauchna praktichna konferentsiya*. T. 11 (Материали за 12-а международна научна практична конференция, vol. 11), Sofiya, «Byal GRAD-BG» OOD, 2016, pp. 8–10.