

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АКТИВАЦИИ УПОРНЫХ УРАНОСОДЕРЖАЩИХ РУД АММОНИЙНО-ФТОРИДНЫМИ РАСТВОРАМИ

Гулота Михаил Александрович,

соискатель кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Факультета технологий и автоматизации атомной промышленности Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65.
E-mail: sciencesti@yandex.ru

Андреев Владимир Александрович,

канд. техн. наук, доцент кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65. E-mail: vaandreev@mephi.ru

Буйновский Александр Сергеевич,

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65; заслуженный деятель науки РФ. E-mail: bas@ssti.ru

Макаеев Юрий Николаевич,

канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65. E-mail: myn@ssti.ru

Молоков Петр Борисович,

канд. техн. наук, доцент кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65. E-mail: mpb@ssti.ru

Софронов Владимир Леонидович,

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой химии и технологии материалов современной энергетики Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65. E-mail: vlsofronov@mephi.ru

Иванов Захар Сергеевич,

аспирант кафедры химии и технологии материалов современной энергетики Факультета технологий и автоматизации атомной промышленности Северского технологического института – филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия, 636036, г. Северск, пр. Коммунистический, 65.
E-mail: sciencesti@yandex.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания промышленной технологии переработки упорных урансодержащих руд Эльконского месторождения.

Цель работы: исследование процесса активации упорных урансодержащих руд растворами гидрофторида аммония.

Методы исследования: нейтронно-активационный, фотоколориметрический, а также рентгенофазовый.

Результаты: предварительная обработка измельченной руды Эльконского рудного района растворами гидрофторида аммония позволяет разрыхлить и даже разрушить («активировать») прочные структуры минералов полевого шпата, кварца, силикатов с включениями браннерита, за счет удаления части силикатов в раствор (изменение массы руды, после обработки ее растворами гидрофторида аммония, достигает 30...50 %), делая минералы урана более доступными для выщелачивания кислотами. Степень извлечения урана из руды, активированной растворами гидрофторида аммония, увеличилась с 50...70 до 96 %.

Ключевые слова:

Руда, месторождение, браннерит, уран, гидрофторид аммония.

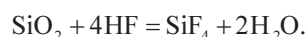
Из литературных источников [1–4] известно, что урановые руды Эльконского района являются малокарбонатными алюмосиликатными рудами, в которых уран представлен упорным минералом – браннеритом, образующим в руде мелкие включения размером 0,01...0,1 мм.

Данные руды на ~40...60 % сложены очень мелким минералом, не характерным для урановых руд – полевым шпатом, в котором рассеяны мелкие кристаллы пирита, содержащие золото в виде мельчайших выделений. В том же агрегате полевого шпата и золотоносного пирита присутствуют карбонаты (кальцит и др.).

Предварительно проведенные исследования процесса выщелачивания урана растворами серной и азотной кислот различных концентраций, в присутствии ионов Fe^{3+} с концентрациями (0,5...0,7 г·л⁻¹) и пиролюзита (10...20 г·кг⁻¹) при температуре 70...80 °С показали, что степень выщелачивания урана достигает 40...60 % при продолжительности выщелачивания равной 2–4 часа. Введение окислителей в растворы кислот увеличивает степень выщелачивания урана, но незначительно, до 60...70 %, что экономически нецелесообразно.

По всей видимости, трудность переработки руд Эльконского месторождения заключается в том, что в них содержатся значительные количества полевого шпата, кварца и силикатов, которые образуют прочные структуры с включениями минералов урана. Данные соединения практически не разрушаются минеральными кислотами, поэтому извлечение урана и золота из руд Эльконского месторождения требует нетрадиционных приемов и методов переработки. Видимо, необходимо разрушить силикатную структуру руды, чтобы сделать уран более доступным для выщелачивания.

Существует множество способов вскрытия руд и минералов. В частности, в работе [5] описаны кислотный, основной, аммиачный, карбонатный и др. способы вскрытия или разложения минералов. Однако они не подходят для разрушения кварцевой составляющей руды, поскольку SiO_2 инертен к большинству кислот, за исключением плавиковой, а со щелочами реагирует лишь при автоклавной обработке. Применение фтороводородной кислоты для удаления SiO_2 («обескремнивания» кварцевых руд) неизбежно приведет к образованию большого количества токсичного газа SiF_4 , который необходимо будет утилизировать



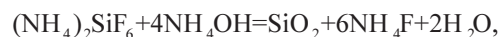
Известен способ [6] переработки кремнийсодержащих руд с использованием гидрофторида аммония (ГДФА) с образованием гексафторосиликата аммония $(NH_4)_2SiF_6$ по реакции



Образовавшийся в результате реакции гексафторосиликат аммония (ГФСА) является хорошо растворимым соединением, и может быть удален из системы в виде раствора.

Гидрофторид аммония обладает следующими преимуществами перед фтороводородной кислотой:

- 1) при фторировании кварцевых руд позволяет избежать образования значительных количеств токсичного газа SiF_4 ;
- 2) возможность регенерации для его повторного использования:



Исследования процесса фторирования различного вида минерального сырья гидрофторидом аммония проводились и ранее. В частности, в работе [7] исследовано взаимодействие кремнийсодержащих минералов разных структурных типов и составов с гидрофторидом аммония, проведена термодинамическая оценка возможных реакций. Установлено, что в условиях перемешивания исходных реагентов при комнатной температуре происходит частичное (до 40 %) разложение силикатов и активирование оставшейся части, облегчающее завершение процесса разложения за счет высушивания смеси при температуре 110 °С. При этом сделан вывод, что $NH_4F \cdot HF$ является перспективным реагентом для разложения силикатных горных пород.

Взаимодействие чистого кварца с гидрофторидом аммония изучалось неоднократно [8, 9]. В работе [9] авторы заявляют, что для полного фторирования SiO_2 необходим избыток гидрофторида аммония (108...110 %) от стехиометрии, в то время как в работе [8] установлено, что полное взаимодействие реагентов имеет место при мольном соотношении $SiO_2:NH_4F \cdot HF=1:3,5$ и сопровождается экзотермическим эффектом выше 100 °С, при этом в газовую фазу выделяется аммиак. В процессе фторирования образуются

$(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 \cdot \text{NH}_4\text{F}$ и $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, сублимирующийся при температуре 319 °С. В работе [10] предполагается, что образование $(\text{NH}_4)_3\text{SiF}_7 = (\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6 \cdot \text{NH}_4\text{F}$ по реакции SiO_2 с $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF}$ более вероятно, чем образование SiF_4 или $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$.

Фторидной переработке руд посвящен ряд работ Института геологии и природопользования ДВО РАН [10–12], экспериментально изучены процессы фторирования рутила, циркона, ильменита и ряда других руд с применением фторидов аммония. Кроме того, исследовались процессы разложения таких минералов, как кварц, волластанит, ларнит, каолинит, хлорит, диопсид и др. Показано, что все они хорошо фторируются гидрофторидом аммония с образованием и удалением гексафторосиликата аммония и других фторометаллатов металлов, входящих в структуру минералов. Таким образом, гидрофторид аммония является эффективным реагентом для фторирования кварцсодержащих руд и может быть использован для частичного или полного удаления избыточного кварца из исходного концентрата.

Для переработки урановых руд Эльконского месторождения нет необходимости полностью извлекать кварцевую составляющую, достаточно лишь частично разрушить («расплатать») прочные силикатные структуры и сделать полезные компоненты более доступными для выщелачивающих агентов, т. е. «активировать» руду.

В данной работе приведены результаты исследований, проведенных нами по фтораммонийному методу активации упорных урансодержащих руд растворами $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF}$, а также результаты последующего выщелачивания из них урана.

Исследование процесса разложения руды бифторидом аммония

Химический состав исходной руды

Для установления химического состава опытной партии руды образцы в количестве 5 штук из представительной партии были переданы для проведения нейтронно-активационного анализа, который осуществлялся силами сотрудников аккредитованной лаборатории на исследовательском реакторе НИ ТПУ (г. Томск).

Таблица 1. Результаты определения некоторых матричных и примесных элементов

Проба	Al	Ti	Mg	Ca	K	Mn	Sm	La	U	Au	V
	%						г·т ⁻¹				
1	7,06	0,295	0,927	3,08	5,11	0,0357	149,6	50,6	2803	1,17	499,5
2	6,99	0,305	1,020	3,20	5,34	0,0360	170,1	53,6	2785	1,18	523,5
3	7,14	0,281	0,900	3,15	5,21	0,0345	134,3	50,4	2743	1,16	520,6
4	7,08	0,304	0,930	3,04	5,30	0,0351	135,8	49,4	2796	1,08	485,3
5	7,03	0,287	0,852	3,08	5,06	0,0358	150,4	62,5	2703	1,20	481,1
6*	6,51	0,213	1,075	2,15	5,56	0,131	18,7	28,1	277	1,21	95,7

Примечание: проба * представляла собой нерастворимый остаток, полученный после обработки руды гидрофторидом аммония и последующего выщелачивания из нее урана и других элементов серной кислотой.

Результаты анализа представлены в табл. 1, а в табл. 2 приведены результаты анализа химического состава пробы.

Таблица 2. Химический состав исходной руды

Соединение/элемент	Содержание, %	Соединение/элемент	Содержание, %
SiO_2	57,55	Na_2O	1,08
TiO_2	1,50	K_2O	7,03
Al_2O_3	12,12	CaCO_3	7,65
Fe_2O_4	4,34	CaF_2	1,22
FeO	1,15	U	0,265
MnO	0,03	Au, г/т	0,96
CaO	5,16	Mo	<0,002

Из приведенных в таблицах данных видно, что руда включает до 60 % SiO_2 , при этом содержание (г·т⁻¹) урана в руде варьируется от 2703 до 2803, самария – от 134,3 до 170,1, лантана – от 49,4 до 62,5, золота – от 1,08 до 1,20.

Обработка руды растворами гидрофторида аммония

В работе применяли порошки руды фракции – 0,315...+0,2 мм. Обработку руды осуществляли по следующей методике.

Навески порошка руды заданной массы заливали водными 40 % растворами гидрофторида аммония. Отношение массы руды к объему раствора составляло Т: Ж=1:(1,5–2,5). Смеси нагревали при интенсивном перемешивании до 75...80 °С и выдерживали 2 часа, после чего перемешивание прекращали и смеси охлаждали до комнатной температуры. Для проведения процесса «активации» использовали стаканы из полиэтилена, погруженные в водяную баню. После охлаждения водные растворы ГФСА отделяли от оставшейся массы руды – нерастворимых осадков (НО) фильтрованием на фильтре «красная лента». НО промывали дистиллированной водой и направляли на выщелачивание урана.

Анализы на содержание в растворах урана и примесей осуществляли по аттестованным методикам, принятым в Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) «ОАО СХК» (г. Северск). Качественный анализ на содержание примесей в руде и нерастворимых остатках проводили рентгенофазовым анализом (РФА) на приборе Spectroscan-V.

На первом этапе исследовали влияние содержания ГДФА в растворах на выход кремния и урана в растворы ГФСА. Масса порошка руды составляла по 10 г в каждом опыте. Отношение массы порошка руды к объему раствора ГДФА Т: Ж=1:2. Обработку порошков руды осуществляли при периодическом перемешивании в течение 2 часов.

Полученные результаты показали, что содержания кремния и урана в растворах ГФСА практически не зависят от содержания ГДФА в исходных растворах (табл. 3).

Таблица 3. Содержание урана и кремния в растворах ГФСА

Исходный раствор ГДФА, мас. %	Содержание Si, г·л ⁻¹	Содержание Si, % к навеске	Содержание U, мг·л ⁻¹	Содержание U, в % от массы навески	Содержание U, в % от массы U в навеске
20	10,22	1,94	58,9	0,0119	3,96
40	15,40	2,99	40,8	0,0079	3,63
60	13,22	2,25	54,4	0,0092	3,10

Содержание кремния в растворах ГФСА, определенное фотоколориметрическим методом, составило 1,9...3 % от массы руды, содержание урана – 3,1...3,96 % от массы урана в руде при содержании урана в руде 0,3 %.

Данные по содержанию кремния в растворах, по всей видимости, занижены. Возможно, причина заключается в образовании в растворах ГФСА полимерных соединений кремния, не определяемых фотоколориметрическим методом. Методика определения кремния в растворах, использованная нами, основана на способности кремниевой кислоты в кислом растворе образовывать с ионами молибдата комплексную гетерополикислоту, окрашенную в желтый цвет. Методика применима для определения кремния, находящегося в растворах в виде мономера или димера кремниевой кислоты. Полимеризованные соединения кремния (золи, гели) не образуют с молибдатом соответствующую гетерополикислоту, вследствие чего данный метод, вероятно, занижает содержание кремния в коллоидных растворах урана.

В следующей серии экспериментов навески руды по 50 г обрабатывали 40 % растворами ГДФА при Т:Ж=1:(1,5–2,5) при температуре 80 °С в течение 1 ч при перемешивании с помощью мешалки ПЭ-8000 (150 об./мин), табл. 4.

Таблица 4. Содержание урана и кремния в растворах ГФСА

№ опыта	Т:Ж	Седиментационный объем осадка, % от общего объема смеси	Содержание Si, % к навеске	Содержание U, % к U в навеске
1	1:2,5	86	3,8	0,5
2	1:1,8	93	2,0	0,8
3	1:1,8	79	1,8	1,2
4	1:1,8	92	2,2	1,6
5	1:1,8	70	2,1	1,4

Полученные результаты показали, что при обработке руды растворами ГДФА получались осадки с частицами черного и серого цвета с низкими седиментационными и фильтрационными характеристиками (седиментационный объем через сутки выдержки смеси составил от 65 до 92 % от общего объема смеси). При фильтровании через лавсановый фильтр большая часть осадка переходила в раствор, в результате чего растворы ГФСА становились мутными.

Содержание урана в растворах ГФСА изменяется от 0,5 до 1,6 % от массы урана в руде. Среднее содержание урана в растворах ГФСА составило ~1,2 %. Среднее содержание кремния в растворах ГФСА, равное ~2,2 %, занижено по указанной выше причине.

Растворы ГФСА отделили от осадка фильтрованием через бумажный фильтр «красная лента», после чего обрабатывали 25 % раствором аммиака с целью выделения из них оксидов кремния и растворимого в воде фторида аммония. Осадки промывали на фильтре водой, после чего выщелачивали из них уран растворами кислот.

Количество кремния, переходящего в раствор в виде ГФСА, определяли массовым методом по следующей методике. Растворы ГФСА обрабатывали 25 % раствором NH₄OH при комнатной температуре и температуре 60 °С. Смесь перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение 30 мин, после чего осадок диоксида кремния отделяли от раствора фильтрованием через фильтр «красная лента», промывали 50 мл воды и сушили до постоянной массы при температуре 100 °С.

В ходе проведения экспериментов отмечено, что осаждение диоксида кремния из растворов начиналось при pH=8. При pH=10 диоксид кремния полностью выделялся из растворов в виде белых аморфных частиц осадка, взвешенных в объеме раствора. Седиментационный объем осадка, через сутки выдержки растворов, составил от 46 до 75 % от общего объема смеси.

Масса осадка диоксида кремния после промывки водой и высушивания составила 25...30 % от массы навесок исходной руды, что существенно отличается от результатов, полученных фотоколориметрическим методом, и, по-видимому, подтверждает неприменимость фотоколориметрической методики для определения полимерного кремния в растворах.

Выщелачивание урана из активированной руды

Выщелачивание урана из активированной руды проводили на установке, представленной на рисунке, по следующей методике.

Руду после фторирования растворами ГДФА обрабатывали растворами минеральных кислот с окислителями и без окислителей при температуре 80 °С, Т:Ж=1:2 и перемешивании в течение 4 часов с помощью мешалки ПЭ-8000 ч (150 об./мин).

По окончании процесса выщелачивания растворы отделяли от НО фильтрованием через бумажный фильтр «красная лента», осадки промывали водой, высушили и качественно, методом РФА, определяли в них содержание примесей. Растворы анализировали на содержание урана и примесей по аттестованным методикам, принятым в ЦЗЛ ОАО «СХК» (г. Северск).

В первой серии опытов исследовали влияние содержания окислителей – пероксида водорода и нитрита натрия в сернокислых растворах на извлечение урана из руды. Концентрация серной кислоты в исходных растворах составляла 150 г·л⁻¹. В сернокислые растворы вводили по 0,075 г диоксида марганца (15 кг на 1 т руды) и 0,035 г соли мора (FeSO₄·(NH₄)₂SO₄) из расчета содержания железа в растворах 0,5 г·л⁻¹ (1 кг·т⁻¹ руды). После чего добавляли в раствор пероксид водорода с концентрацией 1,0 г·л⁻¹ (20 кг·т⁻¹ руды) или нитрит натрия,

концентрация которого также составляла $1,0 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ ($20 \text{ кг}\cdot\text{т}^{-1}$ руды). Для сравнения проводили эксперимент без добавки нитрита натрия и пероксида водорода в исходный раствор.

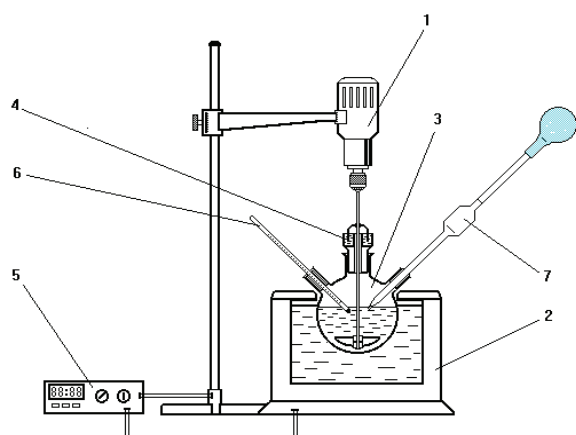


Рисунок. Схема лабораторной установки: 1) электродвигатель механической мешалки; 2) электрический термостат; 3) реактор растворения; 4) гидрозатвор; 5) регулятор числа оборотов мешалки; 6) термометр; 7) пробоотборник

Во второй серии опытов исследовали влияние содержания пероксида водорода и нитрита натрия в азотнокислых растворах на извлечение урана из руды. Концентрация азотной кислоты в исходных растворах составляла $150 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$.

В азотнокислые растворы вводили пероксид водорода с концентрацией $1,0 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ ($20 \text{ кг}\cdot\text{т}^{-1}$ руды) или нитрит натрия, концентрация которого также составляет $1,0 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ ($20 \text{ кг}\cdot\text{т}^{-1}$ руды).

Результаты проведенных исследований (табл. 5, 6) показывают, что предварительная обработка руды ГДФА с последующим выщелачиванием урана из пробы серной или азотной кислотой в сочетании с пероксидом водорода и нитритом натрия позволяет достигать высоких степеней извлечения урана в растворы ($94\text{...}98\%$).

Таблица 5. Влияние содержания окислителя на извлечение урана в сернокислых растворах

Проба	Окислитель	Концентрация окислителя, $\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$	Остаточное содержание U в HNO_3 , % к U в навеске	Суммарное извлечение урана, % к U в навеске	Изменение массы руды после обработки, мас. %
1*	–	–	56	44,0	23,6
2*	NaNO_2	1	44	56,0	26
3*	H_2O_2	1	27,3	62,7	28,2
4	–	–	2,2	97,8	30
5	H_2O_2	1	2,2	97,8	30
6	NaNO_2	1	1,7	98,3	35,4

Примечание: пробы * показывают результаты выщелачивания урана из не активированной руды.

Следует отметить, что достаточно высокие показатели по извлечению урана в растворы достигаются и без применения нитрита натрия и пероксида водорода (табл. 1, проба 6*). Как следует из этих данных, часть примесных элементов вместе с ура-

ном переходят в раствор, в частности Sm на $87,5\%$, V – 81% , в то же время La извлекается на 50% . Увеличивается содержание Mn из-за того, что в качестве окислителя добавляли MnO_2 . Эти факты также следует учитывать при разработке комплексной технологии переработки руд Эльконского месторождения.

Таблица 6. Влияние содержания окислителя на извлечение урана в азотнокислых растворах

Проба	Окислитель	Концентрация окислителя, $\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$	Остаточное содержание U в HNO_3 , % к U в навеске	Суммарное извлечение урана, % к U в навеске	Изменение массы руды после обработки, мас. %
1*	H_2O_2	1	21,7	78,3	42,1
2*	NaNO_2	1	31,4	68,6	44,3
3	H_2O_2	1	3,9	96,1	51,4
4	NaNO_2	1	6,1	93,9	41,8

Примечание: пробы * показывают результаты выщелачивания урана из не активированной руды.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что предварительная обработка измельченной руды Эльконского рудного района растворами ГДФА позволяет увеличить степень выщелачивания урана из руды с $50\text{...}70$ до 96% , по всей видимости, благодаря разрушению прочных структур минералов полевого шпата, кварца, силикатов с включениями браннерита, за счет удаления кремния в раствор (изменение массы руды, после обработки ее растворами ГДФА, достигает $30\text{...}50\%$), делая минералы урана более доступными для выщелачивания.

При обработке руды растворами ГДФА $0,5\text{...}1,6\%$ от массы урана в руде переходит в растворы ГФСА. Обработка растворов ГФСА 25% раствором аммиака приводит, по-видимому, к осаждению полиуранатов аммония совместно с аморфным диоксидом кремния. Установление оптимальных условий обработки ГДФА руды, уменьшение содержания урана в растворах ГФСА и подготовка твердых остатков для захоронения требует дополнительных исследований (уменьшение температуры, концентрации реагентов, продолжительности процесса, использование окислителей, аппаратное оформление процессов и т. д.).

Выводы

Для переработки урановых руд Эльконского месторождения предложено использовать дополнительную операцию по «активации» руд растворами ГДФА. При этом степень выщелачивания урана возрастает с $50\text{...}70$ до 96% .

Установление оптимальных условий обработки руды бифторидом аммония, уменьшения содержания урана в растворах ГФСА и подготовки твердых остатков для захоронения требует дополнительных исследований (уменьшение температуры, концентрации реагентов, продолжительности процесса, использование окислителей, аппаратное оформление процессов и т. д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машковцев Г.А. Геолого-промышленные типы урановых месторождений стран СНГ. – М.: ВИМС, 2008. – 72 с.
2. Шумилкин С.В. Научно-методическое руководство по гидрометаллургической оценке урановых руд при разведке месторождений. – М.: ВИМС, 1979. – 98 с.
3. Геотехнология металлов / В.Г. Язиков, Е.И. Рогов, В.Л. Забазнов, А.Е. Рогов. – Алматы: Фортресс, 2005. – 394 с.
4. Уран России: Сборник докладов научно-технического совещания. – М., 20–21 ноября 2007. – М.: ФГУП «ЦНИИ-АТОМИН-ФОРМ», 2008. – 228 с.
5. Зеликман А.Н., Вольдман Г.М., Беляевская Л.В. Теория гидрометаллургических процессов. – М.: Металлургия, 1975. – 505 с.
6. Раков Э.Г. Химия и технология неорганических фторидов. – М.: Изд-во МХТИ им. Менделеева, 1990. – 162 с.
7. О фторировании кремнийсодержащих минералов гидродифторидом аммония / Л.Н. Куриленко, Н.М. Лапаш, Е.Б. Меркулов, В.Ю. Глущенко // Электронный журнал «Исследовано в России». – 2002. – Т. 5. – С. 1465–1471. URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/130.pdf> (дата обращения: 28.01.2014).
8. Исследование взаимодействия двуоксида кремния с бифторидом аммония / В.Д. Братишко, Э.Г. Раков, Б.Н. Судариков, В.А. Черкасов, Ю.М. Куляко // Тр. МХТИ им. Менделеева. – 1969. – Вып. 60. – С. 111–115.
9. Михайлов М.А., Складнев Ю.Н., Эпов Д.Г. Сухие методы синтеза некоторых комплексных фторидов // Изв. Сиб. отд. АН СССР. Сер. Химических наук. – 1968. – № 4. – С. 64–66.
10. Мельниченко Е.И. Фторидная переработка редкометалльных руд Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 267 с.
11. Демьянова Л.П. Фторидный способ переработки кварцсодержащего сырья Приамурья с получением высококремнистых продуктов: дисс. ... канд. техн. наук. – Томск, 2009. – 121 с.
12. Экспериментальное изучение физико-химических условий переработки силикатных и алюмосиликатных пород методом фторидной металлургии / В.С. Римкевич, Е.И. Мельниченко, Ю.Н. Маловицкий, Д.Г. Эпов, Л.П. Демьянова // Материалы XV Росс. совещания по экспериментальной минералогии. – Сыктывкар, 2005. – С. 494–496.

Поступила 06.02.2014 г.

UDC 622.778

RESEARCH OF ACTIVATION OF PERSISTENT URANIUM ORES BY AMMONIUM FLUORIDE SOLUTIONS

Mikhail A. Gulyuta,

Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: sciencesti@yandex.ru

Vladimir A. Andreev,

Cand. Sc., Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: vaandreev@mephi.ru

Aleksandr S. Buynovskiy,

Dr. Sc., Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: bas@ssti.ru

Yury N. Makaseev,

Cand. Sc., Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: myn@ssti.ru

Petr B. Molokov,

Cand. Sc., Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: mpb@ssti.ru

Vladimir L. Sofronov,

Dr. Sc., Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: vlsofronov@mephi.ru

Zakhar S. Ivanov,

Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Russia, 636036, Seversk, Communistic prospectus, 65. E-mail: sciencesti@yandex.ru

The urgency of the discussed issue is caused by the need to develop the technology of industrial processing of persistent uranium ores.

The main aim of the study: to research the activation of persistent uranium ores by ammonium bifluoride solutions.

The methods used in the study: neutron activation analysis, photocolorimetric analysis and X-ray diffraction analysis.

The results: preliminary processing of grinded uranium ore of Elkon uranium district by ammonium bifluoride solutions allows loosening and even disrupting («activate») persistent structure of minerals such as feldspar, quartz, other silicates containing brannerite, due to the removal part of silicates to a soluble form, making uranium minerals more accessible to leaching by acids. The uranium leaching degree from activated ore increased from 50...70 to 96 %.

Key words:

Ore, deposit, brannerite, uranium, ammonium bifluoride.

REFERENCES

1. Mashkovtsev G.A. *Geologo-promyshlennye tipy uranovykh mestorozhdeniy stran SNG* [Geological and industrial types of uranium deposits of the CIS countries]. Moscow, VIMS Publ., 2008. 72 p.
2. Shumilkin S.V. *Nauchno-metodicheskoe rukovodstvo po gidrometallurgicheskoy otsenke uranovykh rud pri razvedke mestorozhdeniy* [Research and methodological guide on assessment of uranium ores by hydrometallurgical exploration]. Moscow, VIMS Publ., 2008. 98 p.
3. Yazikov V.G., Rogov E.I., Zabaznov V.L., Rogov A.E. *Geotekhnologiya metallov* [Geotechnology of metals]. Almaty, Fortress, 2005. 394 p.
4. Uran Rossii [Uranium of Russia]. *Sbornik dokladov nauchno-tekhnicheskogo soveshchaniya*. Moscow, FGUP «TSNII-ATOMINFORM», 2008. 228 p.
5. Zelikman A.N., Voldman G.M., Belyaevskaya L.V. *Teoriya gidrometallurgicheskikh protsessov* [Theory of hydrometallurgical processes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 505 p.
6. Rakov E.G. *Khimiya i tekhnologiya neorganicheskikh ftoridov* [Chemistry and technology of inorganic fluorides]. Moscow, MKHTI im. Mendeleeva Publ., 1990. 162 p.
7. Kurilenko L.N., Laptash N.M., Merkulov E.B., Glushchenko V.Yu. [On fluorination of siliceous minerals ammonium hydrogen bifluoride]. *Elektronnyy Zhurnal «Issledovano v Rossii»*, 2002, vol. 5, pp. 1465–1471. Available at: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2002/130.pdf> (accessed 28.01.2014).
8. Bratishko V.D., Rakov E.G., Sudarikov B.N., Cherkasov V.A., Kulyako Yu.M. Issledovanie vzaimodeystviya dnuokisi kremniya s biftoridom ammoniya [Research of silicon dioxide and ammonium bifluoride interaction]. *Tr. MKHTI im. Mendeleeva*, 1969, Iss. 60, pp. 111–115.
9. Mikhaylov E.T., Sklyadnev Yu.N., Epov D.G. Sukhie metody sinteza nekotorykh kompleksnykh ftoridov [Dry synthesis methods of some complex fluorides]. *Izv. Sib. otd. AN SSSR Ser. Khimicheskikh nauk*, 1968, no. 4, pp. 64–66.
10. Melnichenko E.I. *Ftoridnaya pererabotka redkometalnykh rud Dalnego Vostoka* [Fluoride processing of rare-metal ores in the Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2002. 267 p.
11. Demyanova L.P. *Ftoridnyy sposob pererabotki kvartso-derzhashchego syrya*. *Diss. Kand. nauk* [Fluoride method for processing quartz-bearing raw materials to produce high-silicon Amur products. Cand. Diss.]. Tomsk, 2009. 121 p.
12. Rimkevich V.S., Melnichenko E.I., Malovitsky Yu.N., Epov D.G., Demyanova L.P. Eksperimentalnoe izuchenie fiziko-khimicheskikh uslovy peperabotki silikatnykh i alyumosilikatnykh porod metodom ftoridnoy metallurgii [Experimental study of physical and chemical conditions of processing silicate and aluminium silicate rocks by the fluoride metallurgy method]. *Materialy XV Ross. soveshchaniya po eksperimentalnoy mineralogii* [Materials of the XV Russian meeting on experimental mineralogy]. Syktyvkar, 2005. pp. 494–496.