

ПОШУКОВА ГЕОХІМІЯ. ГЕОХІМІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 553. 042:658. 563(477)

Е.А. КУЛИШ, В.М. КАДОШНИКОВ, Л.И. НЕСЫНОВА, И.Р. ПИСАНСКАЯ, С.И. ТЕРЕЩЕНКО

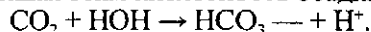
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ УРАНА РАСТВОРАМИ СЛАБЫХ КИСЛОТ ИЗ АЛЬБИТИТОВ С НИЗКИМ ЕГО СОДЕРЖАНИЕМ

Рассмотрено влияние разбавленных водных растворов минеральных и органических кислот на альбитит с низким содержанием урана из отвалов Мичуринского месторождения, Кировоградской обл. Показано, что при воздействии на альбитит водных растворов кислот различной природы происходит частичное растворение карбонатов, альбита и рудного вещества. Одновременно с этим из породы активно выщелачивается уран, интенсивность выноса которого контролируется кислотно-восстановительными свойствами среды и наличием в ней лигандов.

ВСТУПЛЕНИЕ

Одним из источников загрязнения окружающей среды радионуклидами являются твердые отходы предприятий обогащения и переработки урановых руд. Эти отходы содержат недоизвлеченный уран и сопутствующие трансурановые элементы, которые складываются и накапливаются в отвалах и хвостохранилищах [1, 2]. Дальнейшее преобразование урана в них и последующая его миграция определяется закономерностями процессов гипергенеза [3]. Среди важнейших факторов гипергенеза, активно влияющих на поведение урансодержащих минералов, являются окислительно-восстановительные условия среды, кислотность дренирующих растворов и наличие в них лигандов, способных к комплексообразованию с ураном и сопутствующими ему элементами. Важнейшим из таких лигандов является диоксид углерода как биогенного, так и абиогенного генезиса [4].

Так как в отвалах и хвостохранилищах порода находится на открытых площадках, она подвергается воздействию природных осадков в виде дождей, снега и аэрозолей. Диоксид углерода, растворяясь в воде, образует ионы гидрокарбонатов и ионы водорода, несколько повышая этим кислотность осадков:



Кислород воздуха, растворенный в осадках, определяет окислительные условия среды, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) которой находится в пределах от + 200 мВ до + 300 мВ. Приведенные выше факторы создают благоприятные условия для миграции урана [4, 5].

Микроорганизмы, поселяясь на поверхности пород, находящихся на открытых площадках, существенным образом влияют на их устойчивость. В результате жизнедеятельности микроорганизмов выделяются продукты метаболизма, в состав которых входят сложные органические кислоты [6]. Последние, взаимодействуя с алюмосиликатами и урансодержащими минералами, частично разрушают их, переводя часть урана в подвижное состояние [7, 8]. Важнейшими компонентами метаболитов, влияющими на подвижность урана, являются полифункциональные органические кислоты (лимонная, щавелевая, монокарбоновые кислоты жирного ряда и др.).

Для оценки устойчивости урансодержащих альбититов важно знать какие изменения претерпевает уран в отвалах и хвостохранилищах и, как следствие, пути и формы его миграции. В имеющейся базе данных проблеме выщелачивания урана из альбититов, находящихся в отвалах и хвостохранилищах, уделено недостаточно внимания [4, 5, 9].

Целью работы явилось изучение выщелачивания урана водными растворами слабых кислот из альбитита с низким содержанием урана.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве типичной породы отвалов и хвостохранилищ нами был использован альбитит (Мичуринское месторождение, Кировоградской обл.) с низким содержанием урана (0,0076 %) [10].

Минеральный состав альбитита оценивали по данным рентгеновского фазового анализа, выполненного на рентгеновском дифрактометре ДРОН-УМ на $\text{Cu-K}\alpha$ -излучении с никелевым фильтром. Установлено, что альбитит по минеральному составу состоит в основном из альбита с незначительным количеством кварца и кальцита (рис. 1).

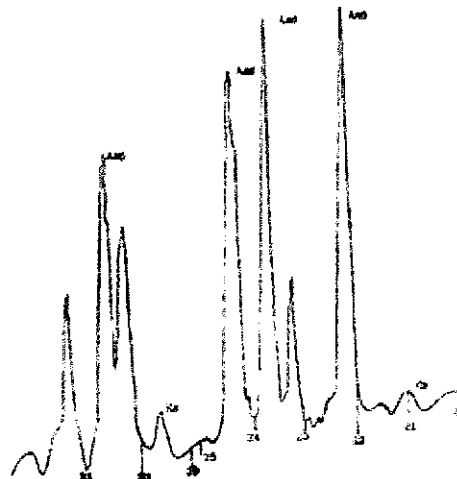


Рис. 1. Фрагмент дифрактограммы альбитита: АЛБ – альбит; КЛ – кальцит; КВ – кварц.

Химический состав породы оценивали по данным полного силикатного анализа, %: SiO_2 — 63,14; TiO_2 — 0,48; Al_2O_3 — 17,46; Fe_2O_3 — 0,92; FeO — 2,88; MnO — эл.; MgO — 0,79; CaO — 2,56; Na_2O — 9,36; K_2O — 0,04; P_2O_5 — 0,09; H_2O (гигр.) — 0, 20; П. п. — 1,67; сумма — 99,59.

Для оценки распределения рудного вещества в альбитите использовали петрографические методы (исследования под микроскопом МБИ-6, увеличение в 600 раз). Почти все кристаллы альбитита представлены отдельными правильными и неправильными индивидуальными с шероховатой поверхностью. Преобладающий размер зерен находится в пределах 0,05-0,9 мм. К числу единичных находок относятся крупные полупрозрачные кристаллы, которые имеют четко выраженную кристаллическую индивидуальность и совершенную спайность. Нередко по спайности выделяется рудное вещество буровато-черного цвета, иногда с желтоватым оттенком.

Иногда на некоторых индивидах альбита и карбоната заметны примазки и наросты рудного вещества от светло-коричневого до черного цвета. Иногда эти наросты, разрастаясь, образуют отдельные агрегаты рудного вещества. По сети разнонаправленных микротрещин наблюдается выделение тонкозернистого рудного вещества. Кроме того, отмечается развитие тонкодисперсного гематита буровато-красного цвета по контактам зерен. В большинстве случаев рудное вещество отмечается в виде мельчайших прожилок, вкраплений, сплошных скоплений, корок, налетов, примазок в межзерновом пространстве. Крайне редко встречаются находки рудного вещества в виде отдельных кристаллов. Кроме того, наблюдаются срастания беспорядочно ориентированных вытянутых кристаллических индивидов.

В наших исследованиях также применялся метод ИК-спектроскопии с использованием спектрофотометра UR-20, в диапазоне 4000-400 см^{-1} . Образцы породы готовили методом прессования в таблетки с KBr. Навеска образца составляла 2 мг. По данным ИК-спектроскопии, в образце присутствуют полосы поглощения, типичные для альбита (рис. 2), что свидетельствует о преобладающем содержании этого минерала в исследуемом образце [11]. Кроме того, в ИК-спектре породы присутствует полоса поглощения около 1440 см^{-1} (колебания карбонат-иона) [12].

Таким образом, анализ вышеприведенных данных позволяет утверждать, что альбитит в основном со-

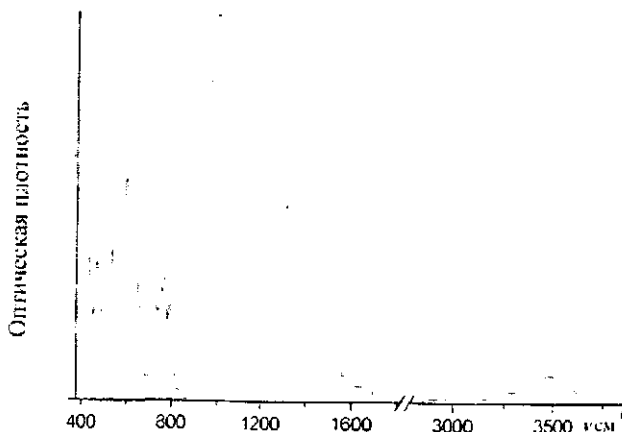


Рис. 2. ИК – спектр исходного альбитита.

стоит из кристаллов альбита различного габитуса и незначительного количества кальцита и кварца. В межзерновом пространстве альбитита располагается рудное вещество с примесью урансодержащих минералов.

Величину pH и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) измеряли стандартными методами (ГОСТ 26423-85) в аккредитованной биогеохимической лаборатории (аттестат № 2В-ДН от 22.07.2003 г.) с помощью иономера ЭВ-121, используя для измерения pH в качестве измерительного электрода — ЭВЛ-1МЗ, для измерения ОВП — платинового электрода ЭПВ-1. В обоих случаях использовали хлорсеребряный электрод сравнения ЭСЛ-63-07. Содержание урана определяли фотоколориметрическим методом [10] на фотоколориметре КФК-2 с использованием красителя арсеназо-3.

Для оценки выщелачивания урана проводили обработку альбитита в условиях периодического перемешивания при комнатной температуре и атмосферном давлении, при Т:Ж = 1:30 в течение 30 дней при периодическом отборе жидкости, следующими выщелачивающими растворами: 1 - дистиллированная вода; 2 - та же вода, насыщенная газообразным диоксидом углерода, полученным в аппарате Киппла; 3 — 0,05 н раствором лимонной кислоты; 4 — 0,05 н раствором щавелевой кислоты. Лимонную и щавелевую кислоты использовали квалификации "ч.д.а".

Альбитит измельчали, выделяли фракцию 0,1-0,5 мм, которую использовали в дальнейших исследованиях.

Образцы альбитита весом 5 г помещали в конические колбы объемом 250 см^3 и добавляли по 150 см^3 соответствующего выщелачивающего раствора в каждую. Колбы периодически (7 ч в сутки) перемешивали на качалке. Отбор проб для анализа проводили через 1, 2, 5, 8, 15 и 30 сут от начала постановки эксперимента.

Для анализа отбирали из колб по 20 см^3 жидкости, в которой методом центрифугирования (5000 об/мин, 10 мин) разделяли твердую и жидкую фазы. Осадок возвращали в колбы, суспендируя его в 20 см^3 соответствующего выщелачивающего раствора. Таким образом, объем жидкости в колбах сохранялся постоянным (150 см^3).

В осветленных пробах измеряли общее содержание урана, pH и ОВП.

Через 30 суток твердую фазу отделяли от дисперсионной среды центрифугированием. Осадок, оставшийся в центрифужных пробирках, суспендировали в 10 см^3 дистиллированной воды, а из образовавшейся суспензии выделяли четыре фракции осадка (при свободном оседании с последующей декантацией и отстаиванием): 1 — крупнокристаллический осадок (оседание в течение 30 мин); 2 — мелкодисперсный осадок (оседание в течение 5 ч); 3 — высокодисперсный осадок (оседание в течение 8 ч); 4 — высокодисперсный осадок (оседание после 24 ч). Полученные фракции осадков высушивали при 105 °С до постоянного веса и исследовали методом ИК-спектроскопии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты выщелачивания урана из образцов альбитита приведены в таблице. Как видно из приведенных данных, содержание урана в дисперсионной среде зависит от состава выщелачивающего раствора и времени контакта твердой фазы с жидкостью. Вне зависимости от состава выщелачивающего

раствора количество вынесенного в раствор урана увеличивается со временем. Наиболее активный вынос урана наблюдается в водный раствор диоксида углерода. Суммарный вынос урана в этом случае составил 34,7 % от общего его содержания в образце. Вынос урана 0,05Н растворами лимонной и щавелевой кислот составил 27,8 и 27,1 %, соответственно. Наименьший вынос урана происходит при обработке породы дистиллированной водой – 15,0 %.

Особенностью выщелачивающего действия дистиллированной воды на альбитит является то, что при ее контакте с породой в течение первых 30 мин ОВП резко снижался с +310 мВ до –230 мВ. При этом рН повышался с 5,3 до 10,4. В дальнейшем в течение месяца ОВП постепенно повышался до +100 мВ, а величина рН уменьшалась до 8,4. Резкое увеличение щелочности среды в первый момент контакта породы с водой мы связываем с растворением карбонатов щелочных металлов, которые находятся на поверхности альбита. Образование легко растворимых карбонатов мы связываем с гипергенным изменением альбитита в хвостохранилищах и, как результат, освобождением катионов Na и Ca из альбита, а также частично урана. Первоначальное понижение ОВП до –230-мВ следует связать с наличием на поверхности породы активных восстановителей. В дальнейшем, повышении величины ОВП до +100 мВ, по-видимому, связано с частичным окислением восстановителей кислородом воздуха.

Известно, что уран в минералах может находиться в шести- и четырехвалентном состоянии. В окислительных условиях уран (IV) легко переходит в уран (VI), обладающий свойствами слабого основания. В природных условиях последний легко гидролизует и образует комплексный двухвалентный катион — уранил (UO_2^{2+}), который в экзогенных условиях обладает большой способностью к комплексообразованию и миграции в водной среде [5].

Важнейшими физико-химическими факторами миграции урана в экзогенных условиях являются рН и окислительно-восстановительный потенциал среды. Из данных таблицы 1 видно, что в первые пять суток взаимодействия альбитита с дистиллированной водой выщелачиваемость урана незначительна и определяется низким значением ОВП и щелочными условиями среды, что не противоречит [13]. Начиная с 8-х суток, рН постепенно снижается, ОВП среды повышается, и вынос урана увеличивается. Повышенный вынос урана из минерала в раствор в этих условиях можно объяснить частичным окислением урана (IV) до урана (VI).

Насыщение воды диоксидом углерода существенным образом изменяет извлечение урана из альбита. Несмотря на то, что величина ОВП при контакте альбитита с раствором за первые сутки снижается лишь до +80 мВ при рН=5,2, выщелачивание урана значительно выше, чем при взаимодействии с водой и составляет 4,8 % против 0,7 %, соответственно. В дальнейшем ОВП резко увеличивается до +463 мВ. При этом величина рН снижается и на 30 суток составляет 1,3; что связано с загрязнением диоксида углерода примесью HCl в процессе его получения в аппарате Киппа. Повышение ОВП мы связываем не только с наличием растворенного кислорода в выщелачивающей жидкости, но и с присутствием в дисперсионной среде ионов трехвалентного же-

леза вследствие выщелачивания его из рудных компонентов альбитита. Надо полагать, что уран (IV), окисляясь до урана (VI), переходит в раствор в виде карбонатных и хлоридных комплексных соединений уранила. При значительном избытке в растворе бикарбонатных и карбонатных ионов (HCO_3^- и CO_3^{2-}) образуется преимущественно два комплексных иона: трикарбонат-уранил ($[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$) и диаква-дикарбонат-уранил ($[UO_2(CO_3)_2(H_2O)_2]^{2-}$). Первое соединение — координационно более насыщенный комплекс, — преобладает в растворе при избытке HCO_3^- и может существовать в этих условиях как угодно долго без изменений [4].

Это связано в первую очередь с тем, что уран с карбонат-ионом образует сложные комплексные соединения, в которых ион урана имеет координационное число 6. В ряду вытеснительных способностей лигандов ион угольной кислоты занимает первое место. Для иллюстрации может служить константа нестойкости трикарбонато-уранилат-иона, определенная 191 методом растворимости при 25 °С:

$$K = \frac{[UO_2^{2+}][CO_3^{2-}]^3}{[UO_2(CO_3)_3^{4-}]} = (1,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-23}$$

Становится ясным, что присутствие карбонат-иона в растворе на начальных стадиях выщелачивания при рН=5,2 приводит к связыванию уранил-иона в комплексные соединения. При снижении рН раствора ниже 4 уран в растворе находится преимущественно в виде уранил-иона (UO_2^{2+}) [14]. Столь значительное увеличение кислотности выщелачивающего раствора, по нашему мнению, связано с растворением паров HCl (0,3 г/дм³), которые находятся в диоксиде углерода. Можно предположить, что при действии раствора угольной кислоты на железоурановые комплексы, последние разрушаются с образованием урано-аквакарбонатных комплексов и выделением соединений трехвалентного железа.

Несколько иначе этот процесс протекает в присутствии лимонной и щавелевой кислот. Так же, как и карбонат-ион, анионы этих кислот способны образовывать комплексные соединения с уранил-ионом. Например: $UO_2^{2+} + C_2O_4^{2-} \leftrightarrow UO_2C_2O_4$, который может дополнительно вступать в соединение с оксалат-ионом и образовывать диаква-диоксалато-уранилат-ион [9]: $UO_2C_2O_4 + C_2O_4^{2-} + 2H_2O \leftrightarrow [UO_2(C_2O_4)_2(H_2O)_2]^{2-}$.

Система оксалат уранила–щавелевая кислота–вода изучена при температурах 0 ÷ 70 °С [9]. Увеличение растворимости оксалата уранила происходит, в основном, в интервале концентраций щавелевой кислоты от 0 до 4 %. Содержание щавелевой кислоты в нашем растворе 0,23 %, что должно способствовать растворимости оксалата уранила и образованию, по-видимому, диаква-диоксалато-уранилат-ионов и диаква-пентоксалато-диуранилат соединений. В наших условиях (при температуре 20–25 °С), по-видимому, эти комплексы имеют место быть, так как для образования триоксалат-иона необходимо нагревание раствора. Это вещество настолько неустойчиво, что при снижении до комнатной температуры распадается полностью до упомянутых комплексов [9].

Если учесть, что константа диссоциации $UO_2C_2O_4$ равна $1,7 \cdot 10^{-7}$, а второго — $3,5 \cdot 10^{-5}$, то в системе главным образом будут присутствовать четырехчленные карбонатные уранил- ионы.

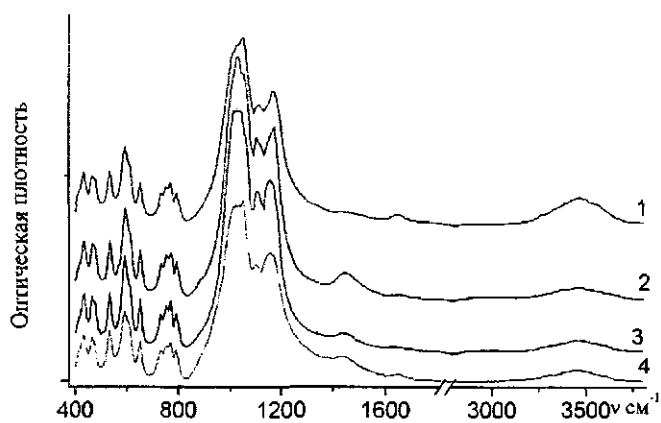


Рис. 3. ИК – спектры альбитита, обработанного дистиллированной водой: 1 – высокодисперсная фракция после 24 ч оседания; 2 – высокодисперсная фракция после 8 ч оседания; 3 – мелкодисперсная фракция; 4 – крупнокристаллическая фракция.

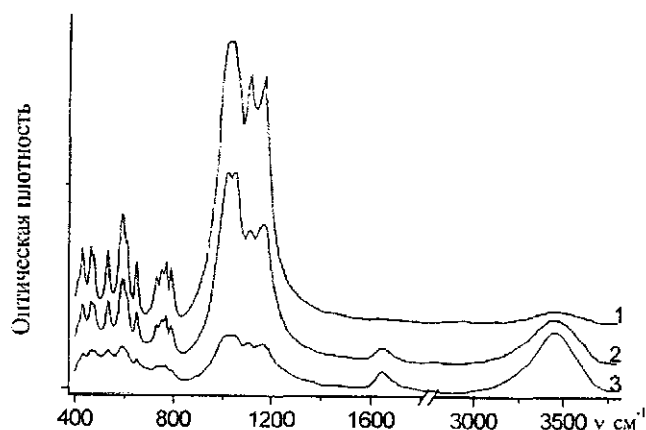


Рис. 4. ИК – спектры альбитита, обработанного водой, насыщенной диоксидом углерода: 1 – крупнокристаллическая фракция; 2 – мелкодисперсная фракция; 3 – высокодисперсная фракция после 24 ч оседания.

Анализируя приведенные выше данные, мы видим, что наиболее активным выщелачивающим агентом является раствор угольной кислоты с примесью HCl , затем — поликарбонатовые кислоты и наиболее слабым агентом оказалась дистиллированная вода.

Изучение ИК-спектров исходной породы (рис. 2) и сравнение их со спектрами, полученными после обработки альбитита дистиллированной водой (рис. 3), не выявило различий в спектрах.

Обработка альбитита раствором угольной кислоты (рис. 4) показала, что в спектре крупнокристаллической фракции исчезает полоса при 1445 см^{-1} (валентные колебания карбонат-иона). Аналогичные явления мы наблюдаем в спектрах альбитита, обработанного растворами лимонной и щавелевой кислот (рис. 5, 6), что связано с частичным растворением карбонатов в альбитите выщелачивающими растворами.

Существенные изменения наблюдаются в спектре альбитита, обработанного раствором угольной кислоты. В выщелачивающем растворе появляется высокодисперсная фракция, которая сохраняет агрегатную устойчивость (рис. 4, кр. 3). В этой фракции колебания, характерные для каркаса алюмосиликатов (области $400\text{--}800$ и $900\text{--}1400 \text{ см}^{-1}$), значительно уменьшились, что мы связываем с частичным разрушением кристаллической структуры альбита вследствие присутствия в выщелачивающем растворе примеси HCl .

В ИК-спектрах мелкодисперсной фракции (рис. 5, кр. 2) появилась полоса поглощения около 1645 см^{-1} (деформационные колебания OH -групп) и увеличилась интенсивность в области валентных колебаний OH -групп (около 3440 см^{-1}). В спектре поглощения высокодисперсной фракции интенсивность появившихся полос поглощения возросла (рис. 4, кр. 3).

В ИК-спектрах высокодисперсной фракции, полученной после обработки альбитита растворами органических кислот (рис. 5, 6), появляются полосы поглощения при 1435 см^{-1} (валентные колебания -C-OH) и полосы при 1620 см^{-1} (валентные колебания -C=O), которые являются типичными для оксикарбонатовых кислот [15].

Увеличилась интенсивность полосы поглощения и в области около 3440 см^{-1} , которая соответствует валентным колебаниям OH -групп. В ИК-спектрах мелкодисперсной фракции, полученной после воздействия щавелевой кислоты на породу, фиксируются полосы поглощения при 1320 см^{-1} средней интенсивности (деформационные колебания C-H), и сильная асимметричная полоса при 1630 см^{-1} (валентные колебания -C=O), а в высокодисперсной фракции появляются интенсивная полоса поглощения при 1383 см^{-1} (C-H) и полоса поглощения при 1430 см^{-1} (-C-OH).

Анализ ИК-спектров в данном случае дает основание считать, что под действием растворов кислот (угольной с примесью HCl , полифункциональных

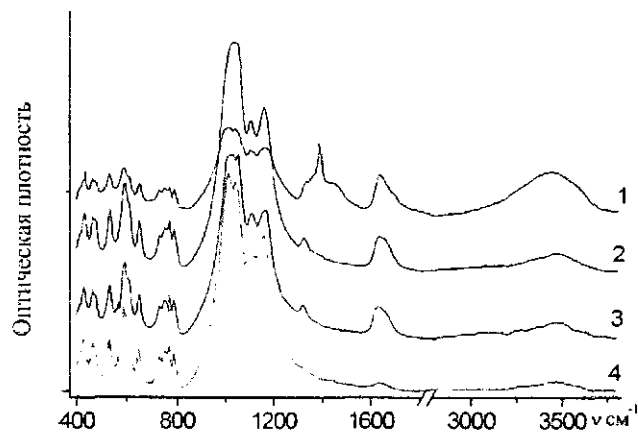


Рис. 5. ИК – спектры альбитита, обработанного 0,05 N раствором щавелевой кислоты: 1 – крупнокристаллическая фракция; 2 – мелкодисперсная фракция; 3 – высокодисперсная фракция после 8 ч оседания; 4 – высокодисперсная фракция после 24 ч оседания.

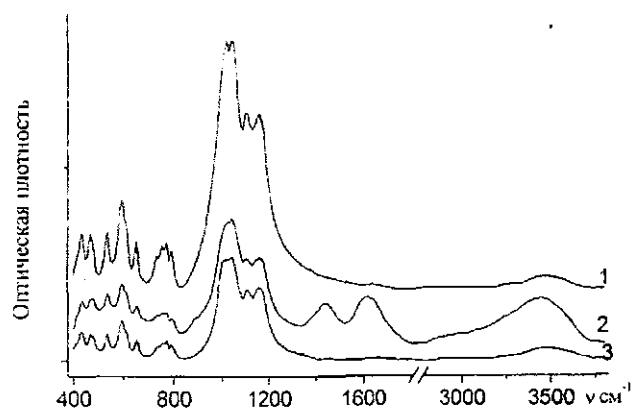


Рис. 6. ИК- спектры альбитита, обработанного 0,05 N раствором лимонной кислоты: 1 – крупнокристаллическая фракция; 2 – мелкодисперсная фракция; 3 – высокодисперсная фракция после 24 ч оседания.

Таблица. Изменения pH, ОВП и содержания урана в дисперсионной среде при выщелачивании альбитита

Время выщелачи- вания, сут	Дисперсионная среда											
	H ₂ O			H ₂ O + CO ₂			0,05 н лимонная кислота			0,05 н щавелевая кислота		
	уран*, %	pH	ОВП, mV	уран*, %	pH	ОВП, mV	уран*, %	pH	ОВП, mV	уран*, %	pH	ОВП, mV
**0	–	5,3	+310	–	5,3	+310	–	2,5	+430	–	1,9	+440
0,002	–	10,4	–230	–	7,1	+75	–	5	–65	–	4,1	–58
1	0,7 ± 0,1	10,2	–210	4,8 ± 0,5	5,2	+80	7,7 ± 0,8	5,4	+ 25	9,2 ± 0,9	3,6	+68
2	0,2 ± 0,05	10	–200	20,7 ± 2,1	2,1	+380	–	6,3	+ 80	10,4 ± 1,0	4,5	+113
5	0,2 ± 0,05	9,8	–200	26,1 ± 2,8	1,9	+415	8,8 ± 0,8	6,4	+ 80	14,8 ± 1,5	5,1	+130
8	1,4 ± 0,1	8,7	–110	29,2 ± 2,9	1,5	+440	11,7 ± 1,2	6,5	+ 70	–	5,3	+110
15	–	8,4	–100	31,9 ± 3,2	1,4	+447	16,5 ± 1,7	4,4	+ 70	15,0 ± 1,6	5,7	+95
30	15,0 ± 1,5	8,4	–100	34,7 ± 3,5	1,3	+463	27,8 ± 2,8	5,8	+ 80	27,1 ± 2,7	7,2	+47

Примечание: * уран, в % от его содержания в альбитите; **0: контроль (дисперсионная среда). Погрешность измерений: pH ± 0,05; ОВП ± 10 mV.

органических кислот) происходит растворение карбонатов и частичное разрушение альбита. Из альбита частично выносятся кремнезем, катионы (Ca, Na, Fe), которые, взаимодействуя с выщелачивающими реагентами, образуют малорастворимые комплексные соли органических кислот.

Эти результаты хорошо согласуются с данными минералогических исследований, которые показали, что при обработке альбитита используемыми кислотами зерна породы приобрели корродированную дендритовидную форму с признаками растворения, выщелачивания и миграции. Встречаются отдельные зерна с еле заметными следами растворения. Размер зерен уменьшается, и преобладают зерна 0,05–0,1 мм. Среди карбонатов достаточно много частиц игольчатой формы. На кристаллах образуются точечные следы выщелачивания с подтеками. По трещинам отмечаются подтеки в виде нитевидных красно-коричневых прожилок. Встречаются рудные подтеки с явными следами растворения, которые наиболее ярко проявляются на границе зерен. В незначительном количестве наблюдается рудное вещество в виде глобул. В центре глобулы имеют черный цвет, который постепенно изменяется до ржавато-красного на периферии кристалла.

ВЫВОДЫ

Таким образом, полученные экспериментальные данные показали, что при воздействии на альбитит водных растворов кислот различной природы происходит частичное растворение карбонатов, альбита и рудного вещества, которые, растворяясь инконгруэнтно, изменяют физико-химических свойств дисперсионной среды, что связано с выносом катионов Ca, Na, Fe и кремнезема. Поливалентные катионы, взаимодействуя с выщелачивающими реагентами, образуют малорастворимые комплексные соли органических кислот. Одновременно с этим, из породы активно выщелачивается уран, интенсивность выноса которого контролируется кислотновосстановительными свойствами среды и наличием лигандов в ней. Рудное вещество, находящееся в исходной породе в виде примазок в межзерновом пространстве, под действием кислотных агентов образует коагуляционные структуры в виде глобул.

Полученные нами экспериментальные данные дают возможность предположить, что при длительном нахождении альбитита в отвалах и хвостохранилищах в осенне-весенний период (при значительном количестве осадков) из породы в окружающую среду активно выносятся уран. А в засушливые периоды на поверхности зерен альбитита могут осаждаться легко растворимые карбонаты, которые, подщелачивая среду, затрудняют выщелачивание урана, уменьшая тем самым поступление последнего в грунтовые воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоактивные отходы Украины / Под ред. акад. НАН Украины Э.В. Собоновича. – Киев, 2003. — 399 с.
2. Шаталов В.В., Ласкорин Б.Н. Химия естественных радионуклидов и вопросы защиты окружающей среды // Химия урана. — М.: Наука, 1989. — С. 17–24.
3. Данчев В.И., Лепкий С.Д., Перельман А.И., Стреляков Н.П. Поведение урана в экзогенных процессах // Геология и генезис месторождений урана в

осадочных и метаморфических толщах. — М.: Недра, 1980. — С. 9–29.

4. Наумов Г.Б. К вопросу о карбонатной форме переноса урана в гидротермальных растворах // Геохимия. — 1959. — № 1. — С. 6–19.

5. Геология и генезис месторождений урана в осадочных и метаморфических толщах. — М.: Недра, 1980.

6. Фомина М.А., Олишевская С.В., Кадошников В.М. и др. Колонизация и деструкция бетона митоспоровыми грибами в модельных экспериментах // Микробиол. журн. — 2005. — 67, № 2. — С. 96–104.

7. Никовская Г.Н., Ульберг З.Р., Стрижак Н.П. Коллоидно-химические закономерности взаимодействия урана (VI) с клетками металлорезистентной культуры бактерий *Bacillus cereus* ВКМ 4368 // Коллоидный журн. — 2002. — 64, — № 2. — С. 194–200.

8. Collard J. M., Corbisier L., Diels L., Dong G. et al. // FEMS Microbiol. Revitws. — 1994. — V. 14. — P. 405.

9. Комплексные соединения урана. — М.: Наука, 1967. — 491 с.

10. Методы изучения урановых месторождений в осадочных и метаморфических толщах. — М.: Наука, 1985. — 323 с.

11. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов. — М.: МГУ, 1967. — 190 с.

12. Лазарев А.И. Колебательные спектры и строение силикатов. — Л.: Наука: Ленингр. отд., 1968. — 346 с.

13. Лисицын А.К. Гидрохимия рудообразования. — М.: Недра, 1975.

14. Дроздовская А.А., Мельник Ю. П. Некоторые термодинамические данные об устойчивости уранинитов переменного состава в гипергенных условиях // Атомная энергия. — 1966. — С. 483–491.

15. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. — М.: Мир, 1965. — 216 с.

РЕЗЮМЕ

Розглянуто вплив розведених водних розчинів мінеральних та органічних кислот на альбітиту з низьким вмістом урану з відвалів Мічуринського родовища Кіровоградської обл. Показано, що при дії на альбітиту водних розчинів кислот різноманітної природи, виникає часткове розчинення карбонатів, альбітиту та рудної речовини. Одночасно з цим, з породини активно вилугується уран, інтенсивність виносу якого контролюється кислотновідновлювальними властивостями середовища й наявністю у ньому лігандів.

SUMMARY

Influence of diluted water solutions of mineral and organic acids on albitite with low uranium content from spoil heaps of the Michurinsky deposit of Kirovograd oblast has been examined. It has been shown that in case of exposure of albitite to influence of acid water solutions of different nature partial dissolution of carbonates, albitite and ore material occurs. Simultaneously uranium is being actively leached from the rock. Its intensity of leaching is controlled by pH-Eh of medium and by presence of ligands in it.

Інститут геохімії оточуючої отори НАН.и
МЧС України, г. Київ

Поступила в редакцію 25.11.2009 г.