

Концентрирование изотопов урана соосаждением на активированном угле и гидроксиде железа (III) в полевых условиях

¹Матвеева И.В.*, ¹Мейрман Ф.С.,
¹Нурсапина Н.А., ¹Сатыбалдиев Б.С.,
²Тузова Т.В., ¹Шалабаев Ж.С.,
¹Шыныбек Б.А.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
²Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук, Бишкек, Кыргызстан
*E-mail: ilona.matveyeva@kaznu.kz

Использование метода неравновесного урана в различных отраслях науки привело к необходимости определения его изотопного состава. Содержание изотопов урана в природных водах зачастую чрезвычайно низкое, поэтому необходимо отбирать значительные объемы проб для получения достоверных результатов анализа. В данной работе предлагается концентрировать изотопы урана из вод непосредственно на месте их отбора. Рассмотрены две альтернативные методики осаждения урана в полевых условиях: на активированном угле и гидроксиде железа (III). Десорбированные изотопы урана определяются альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой в лабораторных условиях, включающей экстракцию трибутилфосфатом и электроосаждение на стальной диск. Установлено, что при концентрировании на активированном угле химический выход составлял от 2 до 32%, а при концентрировании на гидроксиде железа (III) – от 15 до 62%. Для второго случая химический выход является приемлемым для радиохимических работ, и предлагаемый метод концентрирования изотопов урана рекомендуется к использованию в полевых условиях. Аprobация метода осуществлена в рамках проекта PEER454 в 2017 г. в долине реки Зидды, Памиро-Алай, Республика Таджикистан. Работа в полевых условиях показала высокую эффективность метода и ее полную реализуемость даже при отсутствии приемлемых лабораторных условий.

Ключевые слова: изотопы урана; концентрирование; соосаждение; активированный уголь; гидроксид железа (III); альфа-спектрометрия; химический выход.

Уран изотоптарын далалық жағдайда белсендірілген көмір мен темір (III) гидроксидінде қосатұндыру әдісімен концентрлеу

¹Матвеева И.В.*, ¹Мейрман Ф.С.,
¹Нурсапина Н.А., ¹Сатыбалдиев Б.С.,
²Тузова Т.В., ¹Шалабаев Ж.С.,
¹Шыныбек Б.А.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.
²Ұлттық ғылым академиясының Су мәселері және гидроэнергетика институты, Бишкек, Қырғызстан
*E-mail: ilona.matveyeva@kaznu.kz

Ғылымның әртүрлі салаларында тепе-теңсіздіктегі уран әдісін қолдану, оның изотоптық құрамын анықтаудың қажеттілігіне алып келді. Көптеген жағдайларда табиғи сулардың құрамында уран изотоптарының мөлшері тым аз болғандықтан сенімді нәтижелерге қол жеткізу үшін көп мөлшерде сынама алуға тура келеді. Бұл жұмыста судың құрамындағы уран изотоптарын сынама алу орнында концентрлеу ұсынылуда. Жұмыста уранды тұндырудың баламалы екі әдісі қарастырылған: белсендірілген көмір мен темір (III) гидроксидінде. Десорбцияланған уран изотоптары зертханалық жағдайда алдын-ала радиохимиялық дайындықпен, яғни трибутилфосфатпен экстракциялап, болат дискіге электроотырғызылып, альфа-спектрометриялық әдіспен анықталды. Уран изотоптарын белсендірілген көмірде концентрлеу кезінде химиялық шығым 2%-дан 32%-ға дейін, ал темір (III) гидроксидінде концентрленгенде 15% бен 62%-дың аралығында болатыны анықталды. Радиохимиялық жұмыстар үшін екінші жағдайдағы химиялық шығым оңтайлы болып табылады және де ұсынылып отырған уран изотоптарын концентрлеу әдісін далалық жағдайда қолдануға ұсыныс беріледі. Әдістің апробациясы 2017 жылы PEER454 ғылыми жобасының шеңберінде Тәжікстан Республикасы, Памир-Алай, Зидда өзенінің аңғарында жүзеге асырылды. Далалық жағдайда істелінген жұмыстар әдістеменің жоғары эффективтілігін көрсетіп қана қоймай, ешқандай зертханалық жағдайлардың көмегінен орындалатынын көрсетті.

Түйін сөздер: уран изотоптары; концентрлеу; қосатұндыру; белсендірілген көмір; темір (III) гидроксиді; альфа-спектрометрия; химиялық шығым.

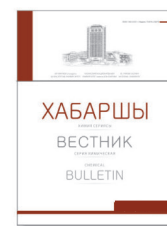
Concentration of uranium isotopes by *in-situ* coprecipitation on activated coal and iron (III) hydroxide

¹Matveyeva I.V.*, ¹Meirman F.S.,
¹Nursapina N.A., ¹Satybaldiyev B.S.,
²Tuzova T.V., ¹Shalabayev Zh.S.,
¹Shynybek B.A.

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
²Institute of Water Problem and Hydropower of National Academy, Bishkek, Kyrgyzstan
*E-mail: ilona.matveyeva@kaznu.kz

The use of the method of nonequilibrium uranium in various branches of science led to the necessity to determine its isotopic composition. The content of uranium isotopes in natural waters is often extremely low, therefore, it is necessary to collect significant volumes of samples in order to obtain reliable results of analysis. In this paper, it is proposed to concentrate uranium isotopes from water *in-situ*. Two alternative methods of uranium coprecipitation in field conditions (on activated carbon and iron (III) hydroxide) are considered. The desorbed uranium isotopes are determined by an alpha-spectrometric method with preliminary radiochemical preparation in laboratory conditions, including extraction with tributyl phosphate and electrodeposition on a steel disc. It was found that when concentrating on activated carbon the chemical yield was from 2 to 32%, and when concentrating on iron (III) hydroxide it is from 15 to 62%. For the second case, the chemical yield is acceptable for radiochemical work, and the proposed method for concentrating of uranium isotopes is recommended for usage in field conditions. Approval of the method was carried out within the framework of the PEER454 project in 2017 in the valley of the river Ziddy, Pamir-Alay, Republic of Tajikistan. Work in the field conditions showed high efficiency of the method and its full feasibility even in the absence of acceptable laboratory conditions.

Keywords: uranium isotopes; concentration; coprecipitation; activated carbon; iron (III) hydroxide; alpha-spectrometry; chemical yield.



Концентрирование изотопов урана соосаждением на активированном угле и гидроксиде железа (III) в полевых условиях

¹Матвеева И.В.*, ¹Мейрман Ф.С., ¹Нурсапина Н.А., ¹Сатыбалдиев Б.С.,
²Тузова Т.В., ¹Шалабаев Ж.С., ¹Шыныбек Б.А.

¹Казакский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

²Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук, Бишкек, Кыргызстан

*E-mail: ilona.matveyeva@kaznu.kz

1. Введение

Впервые эффект изотопного разделения природных изотопов урана (урана-238 и урана-234) был обнаружен в 1954 г. В.В. Чердынцевым и П.И. Чаловым [1-2]. С тех пор данный эффект нашел свое применение в различных отраслях науки [3]: для поиска урановых месторождений [4], для оценки техногенных процессов [5-7], для прогноза землетрясений [8], для решения ряда задач гидрологии [9], включая выявление генезиса поверхностных и подземных вод и расчет пропорций их смешения при формировании водных ресурсов горных рек [10].

Применение данного метода возможно только при определении содержания и изотопного состава урана в природных объектах. Изотопы урана могут быть определены альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой. В связи с низкими содержаниями урана в природных водах требуются достаточно большие объемы проб, необходимые для анализа с достаточной точностью, при этом возникают проблемы транспортировки проб от объекта исследования до аналитической лаборатории. В то же время необходимо учитывать, что при хранении проб в ходе транспортировки могут протекать процессы осаждения радионуклидов на стенках сосуда, т.е. доставка проб должна быть осуществлена в минимальные сроки, что, учитывая размеры территорий нашего региона, не представляется возможным. В связи с вышеизложенным, становятся актуальными работы по концентрированию изотопов урана в полевых условиях, когда важными факторами являются полнота осаждения урана, простота и

время выполнения. Ранее нами были обоснованы методы осаждения урана из природных вод на активированном угле в полевых условиях и на гидроксиде железа (III) – в лабораторных [10-15]. Для осуществления осаждения на активированном угле требовался отбор вод большого объема (десятки литров). Осаждение урана на гидроксиде железа (III) в стандартных методиках рекомендовалось при высоких температурах [16], что неприемлемо для полевых методов. Следует отметить, что при проведении соосаждения на гидроксиде железа (III) в лабораторных условиях (с нагреванием) для проб с ультранизким содержанием изотопов урана (химическое выделение которых значительно сложнее) химический выход варьировался в пределах от 26 до 80% [17]. В рамках настоящей работы проводится сравнение этих двух методов концентрирования урана в полевых условиях без нагревания проб (при соосаждении на гидроксиде железа (III)) и с примерно одинаковыми их объемами.

Исходя из вышеизложенного, целью работы являлось разработка методики по концентрированию изотопов урана в полевых условиях. Апробирование методик было проведено в рамках полевой экспедиции в долину реки Зидды.

2. Экспериментальная часть

2.1 Концентрирование изотопов урана на активированном угле

В полевых условиях пробы воды объемом от 3 до 12 л, в зависимости от предполагаемой концентрации урана (чаще 4,5-5,0 л) отбирали в новые или тщательно

дезактивированные полиэтиленовые емкости, отфильтровывали от грубых примесей и взвешенных частиц, подкисляли азотной кислотой до кислой реакции по метилоранжевому (рН=3,1-4,4) и нейтрализовали амиаком до перехода индикатора в желтый цвет. Для контроля химического выхода (полноты сорбции урана) в пробу вводили строго дозированный изотопный трассер – уран-232 (Атланта, Джорджия, США) с содержанием 0,282 Бк/мл. После тщательного перемешивания воды с трассером добавляли 5 г мелко растертого активированного угля, предварительно обработанного 10% раствором соляной кислоты для перевода в Н-форму. Далее раствор барботировался воздушодувкой в течение 30 мин и отстаивался не менее 6 ч до полного осаждения угля. Затем раствор отбрасывали декантированием, а уголь отделяли от лишней жидкости вакуумным фильтрованием. Полученный уголь с сорбированным ураном сушили на фильтре и упаковывали для дальнейшей транспортировки в лабораторию.

2.2 Концентрирование изотопов урана на гидроксиде железа (III)

В рамках данного метода концентрирования пробы воды также отбирали в новые или тщательно дезактивированные полиэтиленовые емкости, отфильтровывали фильтром «белая лента» (ООО «Мелиор XXI», Россия) от грубых примесей и взвешенных частиц, вносили строго дозированный изотопный трассер – уран-232. После этого добавляли раствор 1% хлорного железа (III) («Реактив», Россия, х.ч.) и осаждали раствором аммиака («ХимПЭК», Россия, ч.д.а) при рН=8-9 (рисунок 1).

Осадок отстаивали 2 ч и декантировали прозрачный раствор над осадком. Затем осадок отфильтровывали через фильтр «белая лента». Фильтрат отбрасывали (рисунок 2).

2.3 Альфа-спектрометрическое определение урана в лаборатории

Определение сконцентрированных изотопов урана проводилось альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой [16].



Рисунок 1 – Соосаждение изотопов урана на гидроксиде железа (III) в полевых условиях

Очистка изотопов урана от остальных альфа-излучающих радионуклидов проводилась экстракцией 30% раствором трибутилфосфата (Китай, х.ч.) в толуоле («Экос-1», Россия, ч.д.а.). Изотопы урана реэкстрагировали дистиллированной водой. Полученный раствор выпаривали, обрабатывали 5 мл концентрированной азотной кислотой (Россия, х.ч.), растворяли в 0,5 М азотной кислоте и 1% растворе Трилона Б («Реактив», Россия, х.ч.). В качестве электролита для дальнейшего электрохимического осаждения использовали смесь 25%-ного раствора хлорида аммония («Реактив», Россия, х.ч.) и насыщенного раствора щавелевокислого аммония («Реактив», Россия, х.ч.).

Из полученного раствора проводили электролитическое осаждение на низкофоновый диск (d=25 мм) из нержавеющей стали в течение 45 мин при силе тока в 1А с использованием источника питания постоянного тока (ZHAOXIN, DC Power supply RXN-305D, Китай). Полученный счетный образец измеряли на альфа-спектрометре высокого разрешения Alpha-analyst (Canberra, США), работающем на программном обеспечении Genie-2000.

Расчет химического выхода был проведен на основании расчета площади пика трассера и известного содержания внесенного трассера урана-232 в пробы по формуле:

$$RF(\%) = \frac{N_{232U}}{\tau \cdot 0,3 \cdot A_{232U}} \cdot 100,$$

где: RF – химический выход в %; N_{232U} – количество импульсов в пике трассера; τ – время измерения, с; 0,3 – эффективность регистрации, связанная с геометрией детектора; A_{232U} – активность добавленного в пробу трассера, Бк.

2.4 Объекты исследования

В качестве водных объектов был выбран бассейн реки Зидды-Варзоб. Выбор объекта обусловлен следующим. Это слабоизученный гидрологически район зоны формирования стока одного из правых притоков реки Аму-Дарья.



Рисунок 2 – Осадок гидроксида железа (III), готовый к транспортировке в лабораторию

Там находится стационар геологических полигонов Филиала МГУ в Таджикистане и Таджикского национального университета, где студенты этих вузов ежегодно проходят полевую практику. Одной из задач проекта USAID PEER454 было проведение тренинга со студентами 1-2 курсов по применению изотопных методов в гидрогеологии. Это и было осуществлено – студенты под руководством авторов статьи осваивали методы правильного водоотбора и полевые методики концентрирования урана из вод [18].

Двойное название бассейна связано с тем, что после впадения крупных притоков в Таджикистане реки меняют свое название. Река Зидды называется Варзоб после впадения в нее правого притока р. Майхура. Северной границей бассейна является водораздельная часть Гиссарского хребта, южной – водораздел гор Санги-Навишта, с запада и востока, соответственно, горы Осман-Тала и перевалы Лойля-Куль и Акба-Куль.

Пологие формы рельефа платформенных отложений в центральной части резко контрастируют с окаймляющими долину скалистыми труднопроходимыми склонами, сложенными палеозойскими толщами. Относительные превышения водоразделов над долиной более 2000 м. Максимальные отметки достигают 4000 м, минимальные – в западной части территории – 900 м. Реки бассейна снегово-ледникового питания с максимальным паводком

во второй половине июня, когда и проводились наши исследования [18]. Описание мест отбора приведено в таблице 1.

3. Результаты и обсуждение

В таблицах 2 и 3 приведены результаты определения содержания урана и соотношения его четных изотопов в опробованных водоисточниках. Они показывают, что содержание урана в водах бассейна различно в разных источниках, но не превышает допустимых для питьевых вод концентраций. Лишь воды р. Отжук (проба 4-Z) заметно обогащены ураном по сравнению с водами остальных опробованных источников. Это связано с тем, что река протекает в районе залегания пород с повышенным содержанием урана [18]. По соотношению изотопов урана $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ опробованные водоисточники тоже заметно отличаются: от близких к равновесию до 20-40%-ного избытка ^{234}U . Это свидетельствует о разном генезисе опробованных вод, что подробно описано в [18]. По результатам альфа-спектрометрического анализа десорбированных изотопов урана были получены результаты, приведенные в таблицах 2 и 3.

На основании полученных данных была построена зависимость химического выхода от метода соосаждения, приведенная на рисунке 2.

Таблица 1 – Пробы воды бассейна Зидды-Варзоб

| Шифр пробы | Место отбора | Дата отбора | Высота, м н.у.м. | Координаты |
|------------|---|-------------|------------------|-------------------------------|
| #1-Z | р. Варзоб ниже р. Харангон | 19.06.2017 | 935 | N 38°64'40,1", E 68°75'35,0" |
| #2-Z | р. Харангон, 2 км выше устья | 19.06.2017 | 956 | N 36°77'33,0", E 68°77'35,8" |
| #3-Z | р. Варзоб перед р. Отжук | 19.06.2017 | 1119 | N 38°77'24,3", E 68°81'76,2" |
| #4-Z | р. Отжук, устье | 19.06.2017 | 1124 | N 38°84'95,5", E 68°81'77,0" |
| #5-Z | р. Тагоб | 19.06.2017 | 1255 | N 38°77'70,2", E 68°84'69,8" |
| #6-Z | р. Варзоб перед р. Тагоб | 19.06.2017 | 1251 | N 38°76'50,1", E 68°83'69,0" |
| #7-Z | р. Варзоб после р. Майхура | 19.06.2017 | 1903 | N 39°01'44,6", E 68°78'0,2" |
| #8-Z | р. Майхура | 19.06.2017 | 1947 | N 39°02'71,6", E 68°78'52,2" |
| #9-Z | р. Зидды перед р. Майхура | 19.06.2017 | 1960 | N 39°02'93,4", E 68°79'04,0" |
| #10-Z | Родник в лагере филиала МГУ | 20.06.2017 | 2001 | N 39°04'43,7", E 68°83'48,8" |
| #11-Z | Родник у соседей филиала МГУ | 20.06.2017 | 2021 | N 39°04'56,8", E 68°83'67,5" |
| #12-Z | Скважина полигона ТНУ | 20.06.2017 | 2008 | N 39°04'50,3", E 68°83'76,5" |
| #13-Z | Ручей ниже выхода угольного месторождения | 20.06.2017 | 2135 | N 39°23'20,4", E 68°90'60,3" |
| #14-Z | Сероводородный родник | 20.06.2017 | 2442 | N 39°06'43,7", E 68°83'21,1" |
| #15-Z | Родник Ходжа-Сангхок | 22.06.2017 | 2950 | N 39°39'35,0", E 68°58'53,0" |
| #16-Z | р. Сиома | 22.06.2017 | 1747 | N 38°96'81,3", E 68°76'02,1" |
| #17-Z | р. Варзоб перед р. Сиома | 22.06.2017 | 1786 | N 38°97'04,9", E 68°76'12,7" |
| #18-Z | р. Варзоб после р. Сиома | 22.06.2017 | 1742 | N 38°96'70,3", E 68°76'37,6" |
| #19-Z | Горячий источник Ходжа-Обигарм | 22.06.2017 | 1831 | N 38°89'50,2", E 68°78'85,9" |
| #20-Z | Ручей Ходжа-Обигарм, устье | 22.06.2017 | 1497 | N 38°98'92,27", E 68°81'42,4" |

Из данных таблиц 2 и 3, а также рисунка 3 хорошо видно, что химический выход при осаждении на гидроксиде железа (III) значительно выше, чем при осаждении на активированном угле, несмотря на отсутствие этапа коагуляции гидроксида железа (III) кипячением. Для большинства проб, осажденных на активированном угле, химический выход не превышал 10%, что не является

приемлемым в радиохимической практике и данный метод не может быть рекомендован для использования в полевых условиях. Для соосаждения на гидроксиде железа (III) химический выход варьировался от 20 до 67%, что практически достигает значений, полученных в лабораторных условиях с этапом кипячения для аналогичного типа проб с ультранизким содержанием

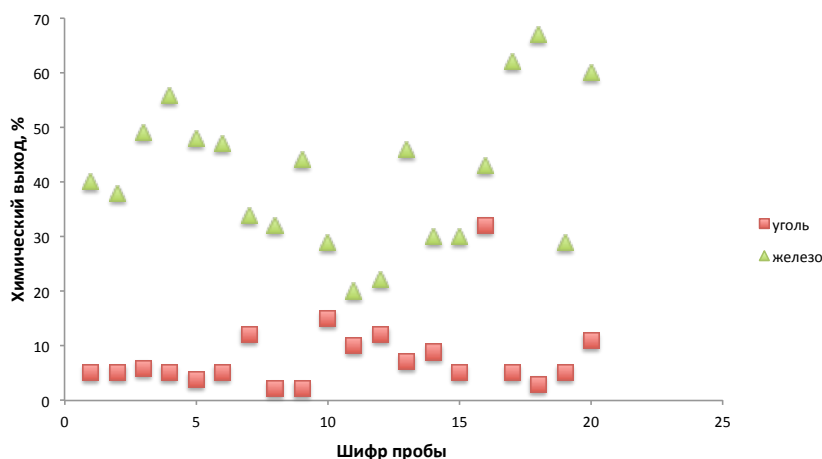


Рисунок 3 – Химические выходы, полученные путем соосаждения на активированном угле и гидроксиде железа (III) в полевых условиях

Таблица 2 – Результаты определения изотопов урана с их соосаждением на активированном угле

| Шифр пробы | ^{238}U , Бк/л | ^{234}U , Бк/л | $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ | U, мкг/л | Химический выход, % |
|------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------|---------------------|
| #1-Z | 0,029±0,001 | 0,033±0,001 | 1,12±0,03 | 2,4±0,1 | 5 |
| #2-Z | 0,031±0,002 | 0,036±0,002 | 1,16±0,05 | 2,5±0,2 | 5 |
| #3-Z | 0,028±0,001 | 0,030±0,001 | 1,06±0,03 | 2,3±0,1 | 6 |
| #4-Z | 0,162±0,005 | 0,194±0,005 | 1,20±0,09 | 13,1±0,4 | 5 |
| #5-Z | 0,031±0,002 | 0,034±0,002 | 1,12±0,03 | 2,5±0,1 | 4 |
| #6-Z | 0,019±0,001 | 0,021±0,001 | 1,07±0,02 | 1,6±0,1 | 5 |
| #7-Z | 0,019±0,001 | 0,019±0,001 | 1,00±0,02 | 1,5±0,1 | 12 |
| #8-Z | 0,019±0,002 | 0,018±0,002 | 0,94±0,04 | 1,5±0,2 | 2 |
| #9-Z | 0,017±0,001 | 0,017±0,001 | 0,99±0,03 | 1,4±0,1 | 2 |
| #10-Z | 0,0051±0,0004 | 0,0068±0,0004 | 1,35±0,08 | 0,41±0,03 | 15 |
| #11-Z | 0,033±0,001 | 0,045±0,001 | 1,39±0,03 | 2,7±0,1 | 10 |
| #12-Z | 0,024±0,001 | 0,029±0,001 | 1,22±0,02 | 1,9±0,1 | 12 |
| #13-Z | 0,013±0,001 | 0,015±0,001 | 1,14±0,02 | 1,0±0,1 | 7 |
| #14-Z | 0,022±0,001 | 0,022±0,001 | 1,02±0,02 | 1,8±0,1 | 9 |
| #15-Z | 0,040±0,002 | 0,044±0,002 | 1,10±0,04 | 3,2±0,2 | 5 |
| #16-Z | 0,030±0,001 | 0,033±0,001 | 1,08±0,02 | 2,4±0,1 | 32 |
| #17-Z | 0,018±0,001 | 0,019±0,001 | 1,05±0,02 | 1,5±0,1 | 5 |
| #18-Z | 0,017±0,001 | 0,020±0,001 | 1,16±0,03 | 1,4±0,1 | 3 |
| #19-Z | 0,0021±0,0004 | 0,0019±0,0004 | 0,91±0,08 | 0,17±0,03 | 5 |
| #20-Z | 0,021±0,001 | 0,021±0,001 | 1,01±0,02 | 1,7±0,1 | 11 |

Таблица 3 – Результаты определения изотопов урана с их соосаждением на гидроксиде железа (III)

| Шифр пробы | ²³⁸ U, Бк/л | ²³⁴ U, Бк/л | ²³⁴ U/ ²³⁸ U | U, мкг/л | Химический выход, % |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------|
| #1-Z | 0,032±0,001 | 0,036±0,001 | 1,12±0,03 | 2,6±0,1 | 40 |
| #2-Z | 0,034±0,001 | 0,043±0,002 | 1,25±0,03 | 2,8±0,1 | 38 |
| #3-Z | 0,201±0,007 | 0,237±0,007 | 1,18±0,09 | 16,3±0,6 | 49 |
| #4-Z | 0,027±0,001 | 0,029±0,001 | 1,06±0,03 | 2,2±0,1 | 56 |
| #5-Z | 0,035±0,001 | 0,038±0,001 | 1,06±0,03 | 2,9±0,1 | 48 |
| #6-Z | 0,022±0,001 | 0,023±0,001 | 1,02±0,02 | 1,8±0,1 | 47 |
| #7-Z | 0,019±0,001 | 0,021±0,001 | 1,08±0,02 | 1,6±0,1 | 34 |
| #8-Z | 0,025±0,001 | 0,025±0,001 | 1,00±0,02 | 2,0±0,1 | 32 |
| #9-Z | 0,016±0,001 | 0,018±0,001 | 1,07±0,02 | 1,3±0,1 | 44 |
| #10-Z | 0,0046±0,0005 | 0,0056±0,0005 | 1,22±0,09 | 0,37±0,04 | 29 |
| #11-Z | 0,028±0,001 | 0,030±0,001 | 1,05±0,03 | 2,3±0,1 | 20 |
| #12-Z | 0,023±0,001 | 0,030±0,001 | 1,28±0,03 | 1,9±0,1 | 22 |
| #13-Z | 0,014±0,001 | 0,016±0,001 | 1,18±0,02 | 1,1±0,1 | 46 |
| #14-Z | 0,026±0,002 | 0,027±0,001 | 1,04±0,03 | 2,1±0,1 | 30 |
| #15-Z | 0,045±0,002 | 0,047±0,002 | 1,04±0,04 | 3,6±0,2 | 30 |
| #16-Z | 0,025±0,001 | 0,027±0,001 | 1,09±0,02 | 2,0±0,1 | 43 |
| #17-Z | 0,019±0,001 | 0,021±0,001 | 1,10±0,02 | 1,6±0,1 | 62 |
| #18-Z | 0,022±0,001 | 0,024±0,001 | 1,06±0,02 | 1,8±0,1 | 67 |
| #19-Z | 0,0012±0,0002 | 0,0013±0,0002 | 1,04±0,04 | 0,10±0,02 | 29 |
| #20-Z | 0,018±0,001 | 0,020±0,001 | 1,07±0,02 | 1,5±0,1 | 60 |

изотопов урана [17]. При этом следует отметить, что временные затраты и количество необходимых реагентов в случае с соосаждением на гидроксиде железа (III) меньше, чем таковые при соосаждении на активированном угле. Сокращение временных затрат при использовании гидроксида железа (III) обусловлено отсутствием необходимости барботирования (30 мин), а также отстаивание сокращается с 6 ч до 2 ч, что в целом сокращает методику на 4,5 ч, что в полевых условиях является значительным преимуществом.

4. Заключение

В ходе работы рассмотрены две альтернативные методики осаждения изотопов урана из вод в полевых условиях. Установлено, что при соосаждении изотопов урана на гидроксиде железа (III) химический выход может достигать 62%, в то время как при соосаждении на активированном угле максимальный выход был

получен 32%, а для большинства проб не превышал 10%. Предлагаемая методика способствует значительному сокращению расходов и трудовых ресурсов, необходимых для транспортировки проб в лабораторию, что является чрезвычайно актуальным для горных рек Центральной Азии.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность д.г.-м.н., проф. М.С. Саидову, к.г.-м.н. Ф.С. Салихову, к.г.-м.н. Ф.С. Давлатову, к.г.-м.н. Д.Э. Назировой и к.г.-м.н. Н.Ш. Сарабекову за помощь в организации экспедиционных работ на геологических полигонах Филиала МГУ в Таджикистане и Таджикского национального университета, а также студентам этих вузов, помогавшим в отборе проб воды из труднодоступных мест зон формирования стока бассейна р. Зидды и обучавшимся методам осаждения урана из вод в полевых условиях.

Литература

- 1 Чердынцев В.В. Об изотопном составе радиоэлементов в природных объектах в связи с вопросами геохронологии // Труды III сессии Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С.5-10.

- 2 Чердынцев В.В., Чалов П.И. Явление естественного разделения урана-234 и урана-238. – М.: ЦНИИПИ, 1977. – 241 с.
- 3 Уралбеков Б.М. Изотопное фракционирование радионуклидов уранового ряда в местах с техногенно-усиленной радиоактивностью (на примере месторождения Курдай). Диссертация на соискание учёной степени доктора химических наук. – Алматы, 2009. – С.100.
- 4 Сыромятников Н.Г. Миграция изотопов урана, радия и тория и интерпретация радиоактивных аномалий. – Алма-Ата: АН КазССР, 1961. – 79 с.
- 5 Чалов П.И. Использование неравновесного урана для индикации природных и техногенных объектов // Радиоэкологические и смежные проблемы уранового производства. – 2000. – №1. – С.36-47.
- 6 Баранов В.И. Проблемы радиогеохимии и космохимии. – М: Наука, 1992. – 319 с.
- 7 Ivanovich M., Latham A.G., Longworth G. and Gascoyne M. Application to radioactive waste disposal studies. Uranium-series disequilibrium, application to earth, marine and environmental sciences. – Oxford: Clarendon Press, 1992. – P.583-600.
- 8 Рассказов С.В., Чебыкин Е.П., Ильясова А.М., Воднева Е.Н., Чувашова И.С., Борняков С.А., Семинский А.К., Снопков С.В., Чечельницкий В.В., Гилева Н.А. Разарботка Култукского сейсмопрогностического полигона: вариации ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$) и ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) в подземных водах из активных разломов западного побережья Байкала // Геодинамика и тектонофизика. – 2015. – Т.6, №4. – С.519-554.
- 9 Kraemer T., Genereux D. Isotope Tracers in Catchment Hydrology. – Amsterdam: Elsevier, 1998. – P.679-722.
- 10 Буркитбаев М.М., Уралбеков Б.М., Тузова Т.В. Неравновесный уран как естественный индикатор процессов в водно-экологических системах Центральной Азии. – Алматы: Қазақ университеті, 2017. – 160 с.
- 11 Матвеева И.В., Тузова Т.В. Методические особенности подготовки водных проб горных рек с ультранизкими концентрациями урана к альфа-спектрометрическим измерениям // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2017. – №1/2. – P.151-158.
- 12 Тузова Т.В. Оценка распределения стока трансграничных горных рек уран – изотопным методом // Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Центральной Азии». – Барнаул, 2017. – С.160.
- 13 Tuzova T.M., Matveyeva I.V., Uralbekov B.M. Uranium isotopes in waters as radio ecological indicator of genesis of waters and relative distribution of water resources of mountain rivers in Central Asia // Abstracts of 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity. – Berlin, 2017. – P. 237-238.
- 14 Matveyeva I. Tuzova T., Nursapina N., Meirman F., Uralbekov B. In-situ pre-concentrating of uranium isotopes on coal for alpha-spectrometric measurements (with approbation on water samples of mountain rivers) // Abstracts of 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity. – Berlin, 2017. – P. 276-277.
- 15 Чалов П.И. Датирование по неравновесному урану. – Фрунзе: Илим, 1968. – 111 с.
- 16 Инструкция НСАМ № 381–ЯФ. Методика выполнения измерений объёмной активности изотопов урана (^{234}U , ^{238}U) в природных водах с минерализацией до 5 г/дм³ альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой. – М.: АСИЦ ФГУП ВИМС, 2003.
- 17 Тузова Т.В., Загинаев В.В., Шатравин В.И., Матвеева И.В., Саидов С.М. Уран в водах зон формирования стока трансграничных рек Тянь-Шаня и Памира // Международная научно-практическая конференция «Вода для устойчивого развития Центральной Азии». – Душанбе, 2018. – С.141.
- 18 Тузова Т.В., Саидов Ф.С., Салихов Ф.С. Изучение формирования стока реки Варзоб уран – изотопным методом // Наука и инновация: геологические и технические науки. – 2018. – №3. – С.160-170.

References

- 1 CherdynceV VV (1954) Isotopic composition of radioelements in natural objects in the case of questions in geochronology [Ob izotopnom sostave radioelementov v prirodnykh ob'ektakh v svyazi s voprosami geohronologii]. Editorial USSR, Moscow, USSR. (In Russian)
- 2 CherdynceV VV, Chalov PI (1977) The phenomenon of natural separation of uranium-234 and uranium-238 [Yavlenie estestvennogo razdeleniya urana-234 i urana-238]. CNIIP, Moscow, USSR. (In Russian)
- 3 Uralbekov BM (2009) Isotope fractionation of uranium radionuclides in places with technogenically intensified radioactivity (for instant, the Kurдай deposit) [Izotopnoe frakcionirovanie radionuklidov uranovogo ryada v mestah s tehnogenno – usilennoi radioaktivnost'yu]. Dissertation for Doctor of Chemical Science Degree, Almaty, Kazakhstan. P.100. (In Russian)
- 4 Syromyatnikov NG (1961) Migration of isotopes of uranium, radium, thorium and the interpretation of radioactive anomalies [Migraciya izotopov urana, radiya, toriya i interpretaciya radioaktivnykh anomaliy]. Academy of Sciences of Kazakh SSR, Alma-Ata, USSR. (In Russian)
- 5 Chalov PI (2000) Radioecological and related problems of uranium production [Radioekologicheskie i smezhnye problemy uranovogo proizvodstva] 1:36-47. (In Russian)

- 6 Baranov VI (1992) Problems of radiogeochemistry and cosmochemistry [Problemy radiogeohimii i kosmohimii]. Nauka, Moscow, Russia. (In Russian). ISBN 5-02-003157-7
- 7 Ivanovich M, Latham A, Longworth G, Gascoyne M (1992) Application to radioactive waste disposal studies. Uranium-series disequilibrium, application to earth, marine and environmental sciences. Clarendon Press, Oxford, United Kingdom. P.583-600. ISBN 0 19 854278 X
- 8 Rasskazov SV, Chebykin EP, Ilyasova AM, Vodneva EN, Chuvashova IS, Bornyakov SA, Seminsky AK, Snopkov SV, Chechel'nitsky VV, Gileva NA (2015) Geodynamics & Tectonophysics 6:519-553. (In Russian). <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-4-0192>
- 9 Kraemer T, Genereux D (1998) Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. P.679-722. ISBN 9780444501554
- 10 Burkitbayev MM, Uralbekov BM, Tuzova TV (2017) Non-equilibrium uranium as a natural indicator of processes in the water-ecological systems of Central Asia [Neravnovesnyi uran kak estestvennyi indikator processov v vodno-ecologicheskikh sistemah Central'noy Azii]. Kazakh University, Almaty, Kazakhstan. (In Russian). ISBN 978-601-04-2923-9
- 11 Matveyeva IV, Tuzova TV (2017) Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences [Vestnik Tadjikskogo natsional'nogo universiteta. Seriya yestestvennykh nauk] 1/2:151-158. (In Russian)
- 12 Tuzova TV (2017) Estimation of the flow distribution of transboundary mountain rivers by uranium-isotope method [Ocenka raspredeleniya stoka transgranichnykh gornyyh rek uran – izotopnym metodom]. Proceedings of the III All-Russian Scientific Conference with international participation "Water and environmental problems of Siberia and Central Asia" [Vodnyye i ekologicheskiye problemy Tsentral'noy Azii], Barnaul, Russia. P.160. (In Russian)
- 13 Tuzova TV, Matveyeva IV, Uralbekov BM (2017) Uranium isotopes in waters as radio ecological indicator of genesis of waters and relative distribution of water resources of mountain rivers in Central Asia. Abstracts of 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. P.237-238.
- 14 Matveyeva IV, Tuzova TV, Nursapina NA, Meiirman FS, Uralbekov BM (2017) In-situ pre-concentrating of uranium isotopes on coal for alpha-spectrometric measurements (with approbation on water samples of mountain rivers). Abstracts of 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. P.276-277.
- 15 Chalov PI (1968) Non-equilibrium uranium dating [Datirovanie po neravnovesnomu uranu]. Science, Frunze, Kyrgyzstan. (In Russian)
- 16 (2003) Instruction of the Scientific Council on analytical methods No.381-ЯФ. Method of performing measurements of the volumetric activity of uranium isotopes (234, 238) in natural waters with mineralization up to 5 g/dm³ by alpha- spectrometric method with radiochemical preparation [Metodika vypolneniya izmereniy ob'emnoi aktivnosti izotopov urana (234, 238) v prirodnykh vodakh s mineralizatsiey do 5 g/dm³ alpha- spektrometricheskim metodom s radiohimicheskoi podgotovkoi]. Moscow, Russia. (In Russian)
- 17 Tuzova TV, Zaginaev VV, Shatravin VI, Matveyeva IV, Saidov SM (2018) Uranium in the waters of the formation zones of the transboundary rivers of Tien-Shan and Pamir [Uran v vodakh zon formirovaniya stoka transgranichnykh rek Tyan'-Shanya i Pamira]. International Scientific and Practical Conference "Water for Sustainable Development of The Central Asia" [Voda dlya ustoychivogo razvitiya Tsentral'noy Azii], Dushanbe, Tajikistan. P.141. (In Russian)
- 18 Tuzova TV, Saidov FS, Salihov FS (2018) Science and Innovation. Geological and Technical Sciences [Nauka i innovatsiya. Geologicheskie i tekhnicheskije nauki] 3:160-170. (In Russian)