

Изотопы урана в водах и льдах Памиро-Алая

¹Матвеева И.В.*, ¹Нурсапина Н.А.,
²Тузова Т.В., ¹Шыныбек Б.А.

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

В статье представлены результаты определения содержания и изотопного состава урана в водах и льдах Памиро-Алая. Полученные экспериментальные данные являются основой для изучения закономерностей формирования стока горных рек. Особую значимость работа приобретает в связи с трансграничностью данного региона и заинтересованностью прилегающих стран. Отбор проб был проведен в ходе полевых работ 2016 года в рамках проекта USAID-Афганистан PEER454. Определение изотопов урана осуществлялось с помощью альфа-спектрометрии высокого разрешения после соответствующего радиохимического выделение и очистки. Основными объектами данного исследования являются реки Кызылсу и Муксу со своими притоками, а также льды, расположенные на данной территории. На основании полученных экспериментальных данных были установлены объекты трех генетических типов вод. К первому типу относятся атмосферные осадки и молодые льды (лед с ледника Ленина и родник у перевала Терс-Агар). Второй тип вод характерен для вод, имеющих контакт с породами, обогащенными ураном (устье реки Кашкасу). Третий тип вод – воды глубокой циркуляции при активном водообмене в горных массивах с повышенным содержанием урана (исток реки Кызылсу восточная). Проведенные расчеты показали, что основным источником питания для большинства изученных водных объектов являются атмосферные осадки.

Ключевые слова: изотопы урана; альфа-спектрометрия; неравновесный уран; природные воды; льды; Памиро-Алай.

Памир-Алай мұздықтары мен суларындағы уран изотоптары

¹Матвеева И.В.*, ¹Нурсапина Н.А.,
²Тузова Т.В., 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

Мақалада Памир-Алай суындағы және мұздығындағы уранның изотоптық құрамы мен мөлшерін анықтаудың нәтижелері келтірілген. Алынған тәжірибелік деректер тау өзендерінің ағынын қалыптастыру заңдылықтарын зерттеу үшін негіз болып табылады. Аталған аймақтың трансшекаралық болуына және қоршаған елдердің қызығушылығына байланысты аталмыш жұмыс ерекше маңызды болып табылады. Сынамаларды іріктеу жұмыстары 2016 жылы USAID-Ауғанстан PEER454 ғылыми жобасының шеңберінде жүзеге асырылды. Уран изотоптарын анықтау жұмыстары тиісті радиохимиялық сынама дайындау мен тазартудан кейін жоғары талдауға ие альфа-спектрометриялық әдістің көмегімен іске асырылды. Зерттеу жұмысының негізгі объектілері Қызылсу және Муксу өзендері және олардың салалары, сондай-ақ аталған аймақтағы орналасқан мұздықтар да болып табылады. Алынған тәжірибелік деректер негізінде судың үш генетикалық типі бар екені орнатылды. Бірінші типке атмосфералық жауын-шашын және жас мұздық (Ленин мұздығының мұзы және Терс-Агар өткелінің бұлақ суы) жатады. Екінші типті су, уранмен байытылған жыныстармен (Кашқас өзенінің сағасы) байланысатын су болып табылады. Судың үшінші типі, құрамында жоғары мөлшердегі ураны бар таулы массивтердегі (шығыс Кызылсу өзенінің бастауы) белсенді су алмасу кезінде терең циркуляцияға ие болатын су болып табылады. Жүргізілген есептеулердің нәтижелері бойынша зерттелінген көпшілік сулы объектілердің негізгі қорек көзін атмосфералық жауын-шашындар құрайтыны анықталды.

Түйін сөздер: уран изотоптары; альфа-спектрометрия; тепе-теңсіздіктегі уран; табиғи сулар; мұздықтар; Памир – Алай.

Isotopes of uranium in waters and ice of Pamir-Alai

¹Matveyeva I.V. *, ¹Nursapina N.A.,
²Tuzova T.V., 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 article presents the results of determination of concentration and isotope composition of uranium in waters and ice of the Pamir-Alai. The obtained experimental data are the background for studying of the regularities of the formation of the effluent of mountain rivers. This work is significant because of the studied region is transboundary and is under the interest of the neighboring countries. Sampling was carried out during fieldwork in 2016 under the USAID-Afghanistan PEER454 project. Determination of uranium isotopes was carried out using high-resolution alpha-spectrometry after radiochemical isolation and purification. The main objects of this study are Kyzylsu and Muksu rivers with their tributaries, as well as the ice of this region. Three genetic types were determined based on the obtained experimental data. The first type includes atmospheric precipitations and young ice (ice from the glacier of Lenin and a spring near the Ters-Agar passage). The second type of water is characteristic for waters having contact with uranium-enriched rocks (the estuary of Kashkasu river). The third type of water is waters of deep circulation with active water exchange in mountain ranges with a high uranium concentration (eastern springhead of the Kyzylsu river). The calculations showed that the main source of most of the studied water bodies are atmospheric precipitations.

Keywords: uranium isotopes; alpha-spectrometry; non-equilibrium uranium; natural waters; ice; Pamir-Alai.



Изотопы урана в водах и льдах Памиро-Алая

¹Матвеева И.В.* , ¹Нурсапина Н.А., ²Тузова Т.В.,
¹Шыныбек Б.А.

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

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

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

1. Введение

В связи с проявляющимися изменениями климата, деградацией оледенения и усиливающейся антропогенной нагрузкой возникла необходимость оценки радиологического состояния и генетического состава вод трансграничных рек Центральной Азии. В бассейнах горных рек этого региона крайне недостаточна сеть гидрометрических наблюдений, поэтому актуальной остается задача использования новых методов оценки качества и количества водных ресурсов. Одним из зарекомендовавших себя методов оценки формирования стока является уран-изотопный метод, основанный на изучении поведения материнского и дочернего изотопов урана в природных объектах.

В качестве объекта данного исследования был выбран гидрологически слабо изученный район Памиро-Алая. Основными водными артериями изучаемого региона являются реки Кызылсу и Муксу. Данные реки при слиянии образуют реку Сурхоб, которая, сливаясь с рекой Обихингоу, образует реку Вахш – один из крупных притоков р. Аму-Дарья. Истоком этих рек являются ледники и снежники Памиро-Алая в пограничных районах Кыргызстана и Таджикистана. Изучение изотопного состава урана в водах и льдах зоны формирования стока бассейнов рек Кызылсу и Муксу способствуют решению межгосударственных вопросов в области водного урегулирования и проблем дефицита водных ресурсов. Работы поставлены с целью изучения закономерностей формирования стока трансграничных горных рек разработанным нами ранее уран-изотопным методом [1-3].

2. Экспериментальная часть

2.1 Объекты исследования

В рамках настоящей работы исследовались поверхностные и подземные воды Памиро-Алая. Описание проб приведено в таблице 1, точки отбора проб нанесены на карту (рисунок 1).

2.2 Отбор проб воды

Отбор проб воды осуществлялся в ходе полевых работ в сентябре 2016 г. Предварительное концентрирование изотопов урана проводилось непосредственно на месте отбора проб. Объем проб варьировался в зависимости от предполагаемого содержания урана от 3 до 12 л, в большинстве случаев 4,5-5,0 л. Пробу воды отфильтровывали от коллоидных частиц и посторонних объектов, подкисляли азотной кислотой до кислой реакции по метил-оранжу (рН=3,1-4,4) для предотвращения осаждения изотопов урана на стенках сосуда и предотвращения процессов размножения фитопланктона. Далее пробу нейтрализовали раствором аммиака и добавляли строго дозированный изотопный трассер – уран-232 ($A=0,28$ Бк/мл) для контроля потерь аналита и точности анализа. Извлечение урана из образцов проводили на мелкорастертый уголь (Уралхимсорб, Россия) из расчета 1 г угля на 1 л пробы, предварительно переведенный промыванием 10% раствором соляной кислоты в Н-форму. Пробу воды с углем барботировали в течение 30 мин и отстаивали не менее 6 ч, после чего раствор декантировали и фильтровали через фильтр «синяя лента» (Мелиор XXI, Россия). Полученный уголь сушили на воздухе и транспортировали в лабораторию для дальнейшего анализа.

Таблица 1 – Описание исследуемых проб

Образец	Место опробования	Дата и время отбора	Координаты	Высота, м над уровнем моря
П-2-16	р. Кызыларт, нижнее течение	22.09.16 г (11.00 ч)	39°43'23,15", 73°24'14,34"	3368
П-3-16	р. Кызылсу перед р.Кызыларт	22.09.16 г (11.30 ч)	39°43'47,26", 73°24'11,04"	3162
П-4-16	р. Талдысу, до слияния с р. Кызылсу	22.09.16 г (17.00 ч)	39°43'59,83", 72°58'49,24"	3117
П-5-16	р. Кызылсу перед р. Сары-Могол	23.09.16 г (12.00 ч)	39°39'26,56", 72°53'30,43"	2933
П-6-16	р. Сары-Могол	23.09.16 г (15.00 ч)	39°39'26,38", 72°53'03,54"	2947
П-7-16	р. Туюксу	23.09.16 г (17.00 ч)	39°34'05,85", 72°58'17,11"	3199
П-9-16	р. Кызыл-Агын	23.09.16 г (19.00 ч)	39°34'43,62", 73°09'33,17"	3259
П-12-16	р. Ачик-Таш, средняя часть реки	24.09.16 г (13.00 ч)	39°34'05,73", 72°56'13,27"	3241
П-15-16	р. Кызылсу перед р. Кашкасу	24.09.16 г (16.00 ч)	39°37'50,69", 72°40'49,17"	2806
П-16-16	р. Кашкасу, устье	25.09.16 г (18.00 ч)	39°37'58,09", 72°40'20,26"	3800
П-18-16	лед с ледника Ленина	26.09.16 г (14.00 ч)	39°26'28,93", 72°54'55,81"	3801
П-22-16	р.Кызылсу после слияния с р.Кашкасу	27.09.16 г (12.00 ч)	39°39'12,51", 72°44'03,55"	2842
П-23-16	р.Комансу, устье	27.09.16 г (17.00 ч)	39°36'33,14", 72°36'27,09"	2784
П-25-16	р.Минджар, горное устье	28.09.16 г (14.00 ч)	39°28'56,82", 72°31'45,50"	3023
П-26-16	р.Ачиксу, горное устье	28.09.16 г (18.00 ч)	39°28'30,73", 72°28'17,84"	2971
П-28-16	р.Кок-Киик, средняя часть реки	28.09.16 г (20.00 ч)	39°27'58,28", 72°25'28,79"	2953
П-29-16	р.Кызылсу до слияния с р.Алтын-Дара	29.09.16 г (10.00 ч)	39°32'31,51", 72°15'11,17"	2520
П-30-16	р.Алтын-Дара устье	29.09.16 г (15.00 ч)	39°32'27,79", 72°10'36,75"	2485
П-31-16	р.Коксу, устье	29.09.16 г (18.00 ч)	39°32'19,35", 72°06'27,62"	2474
П-32-16	р.Кызылсу, после слияние с р.Коксу	29.09.16 г (20.00 ч)	39°30'13,66", 72°02'42,61"	2376
П-35-16	лед в Алтын-Даре	30.09.16 г (16.00 ч)	39°16'06,83", 72°12'34,93"	4305
П-36-16	р.Кызылсу восточная, исток реки	03.10.16 г (10.00 ч)	39°39'48,42", 73°49'15,14"	2918
П-37-16	р.Коксу до впадения в р.Кызылсу вост.	03.10.16 г (10.00 ч)	39°40'01,49", 73°49'25,30"	3004
П-38-16	р. Кызылсу вост.	03.10.16 г (11.00 ч)	39°39'54,06", 73°51'21,31"	2910
П-39-16	свежий снег на перевале Таун-Мурун	03.10.16 г (14.00 ч)	39°37'36,21", 73°42'05,99"	3520
П-40-16	р.Каракиндык, устье до слияния с р.Кызылсу	04.10.16 г (12.00 ч)	39°41'56,45", 73°27'17,06"	3236
П-41-16	р.Кызылсу до слияния с р.Каракиндык	04.10.16 г (12.00 ч)	39°41'49,41", 73°27'22,93"	3237
П-42-16	р.Кызылсу после слияния с р.Каракиндык	04.10.16 г (13.00 ч)	39°41'40,28", 73°27'08,78"	3235
П-52-16	р.Муксу среднее течение, перед р.Фортамбек	21.10.16 г (17.00 ч)	39°09'22,30", 71°53'44,95"	2438
П-53-16	подрусловый сток в верхнем течении р.Муксу	22.10.16 г (14.00 ч)	39°11'21,98", 72°10'00,18"	2697
П-54-16	родник из коренных пород на правом борту долины р.Муксу у перевала Терс-Агар	23.10.16 г (15.00 ч)	39°12'08,57", 72°14'00,67"	2697

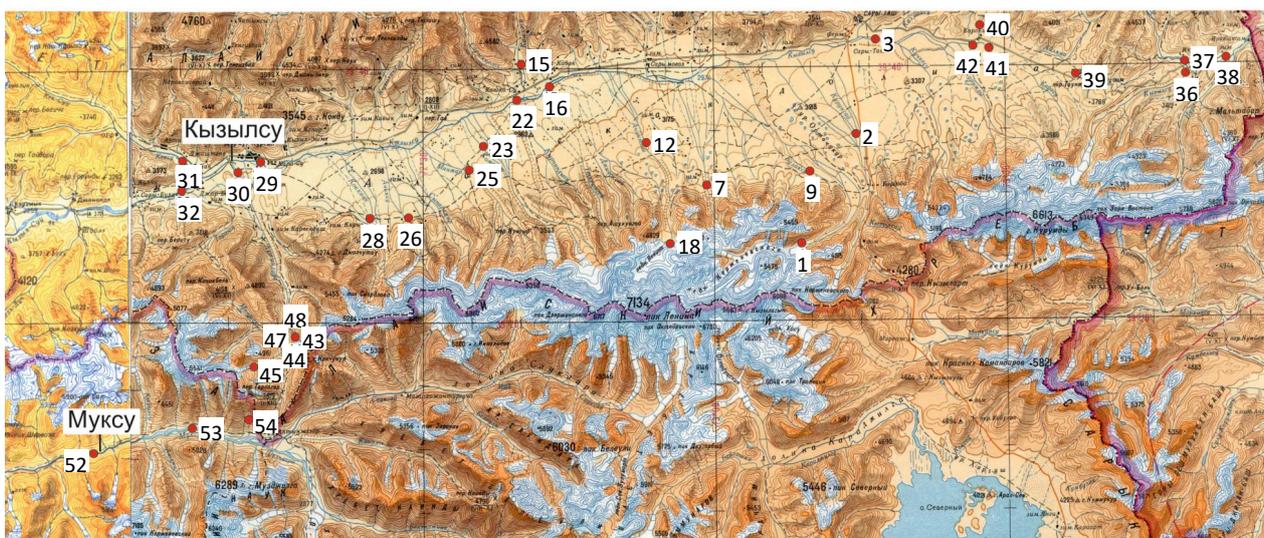


Рисунок 1 – Топографическая карта с точками опробования вод и льдов

2.3 Определение изотопов урана

В лаборатории проводили десорбцию изотопов урана с угля 180 мл 10% раствора карбоната натрия (Реактив, Россия). Дальнейшее определение изотопов урана проводили согласно [4]. Радиохимическую очистку осуществляли экстракцией 30% раствором трибутилфосфата в толуоле, для чего раствор переводили в азотнокислую среду. Полученный азотнокислый раствор переводили в экстракционную колонку, добавляли 15 мл свежеочищенного 30% раствора трибутилфосфата в толуоле. При этом изотопы урана, совместно с большинством актиноидов, переходят в органическую фазу. Очистку проводили двукратной обработкой 15 мл 7 М азотной кислоты и однократной обработкой 15 мл 0,04 М плавиковой кислоты в 0,25 М азотной кислоте. Реэкстракцию очищенного урана проводили тройной обработкой 15 мл дистиллированной воды.

Приготовление счетного образца проводили электролизом на стальной диск с использованием электролита, состоящего из смеси 25% раствора хлорида аммония и насыщенного раствора щавелевокислого аммония. Полученный счетный образец измеряли на альфа-спектрометре высокого разрешения "Alpha-analyst" (Canberra, США), работающем на программном обеспечении Genie-2000. Контроль точности химического выхода осуществляли исходя из полученной активности предварительно введенного строго дозированного трассера.

3. Результаты и обсуждение

Результаты определения изотопного состава урана приведены в таблице 2 и изображены в виде уран-изотопной диаграммы на рисунке 2.

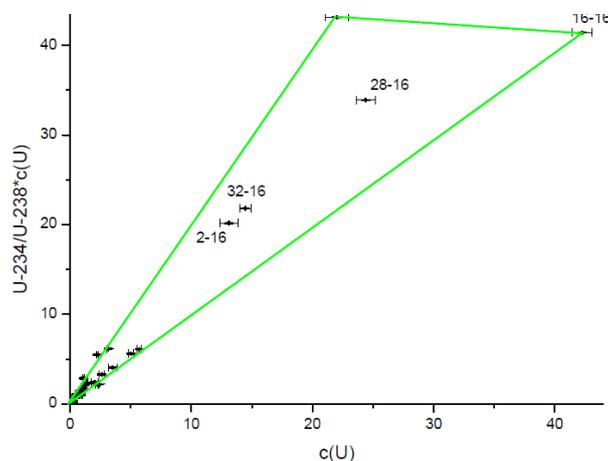


Рисунок 2 – Уран-изотопная диаграмма зависимости избытка ^{234}U от общего содержания урана в водах Памиро-Алая

Таблица 2 – Содержание изотопов урана в проба воды

Шифр пробы	Место опробования	^{238}U , Бк/л	^{234}U , Бк/л	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	C_U , мкг/л
П-2-16	р. Кызыл-Арт, нижнее течение	0,162 ±0,009	0,249 ±0,011	1,54±0,05	13,1±0,8
П-3-16	р. Кызылсу, перед р. Кызыларт	0,070 ±0,002	0,076 ±0,002	1,07±0,02	5,7±0,2
П-4-16	р. Талдысу, до слияния с р. Кызылсу	0,011 ±0,001	0,018 ±0,001	1,76±0,07	0,85±0,06
П-5-16	р. Кызылсу, перед р. Сары-Могол	0,006 ±0,001	0,012 ±0,001	1,97±0,14	0,50±0,06
П-6-16	р. Сары-Могол	0,030 ±0,001	0,027 ±0,001	0,91±0,03	2,4±0,1
П-7-16	р. Туюксу	0,010 ±0,001	0,015 ±0,001	1,44±0,07	0,85±0,08
П-9-16	р. Кызыл-Ачин	0,006 ±0,001	0,012 ±0,001	2,06±0,13	0,49±0,06
П-12-16	р. Ачик-Таш, средняя часть реки	0,025 ±0,004	0,030 ±0,004	1,20±0,11	2,0±0,3
П-15-16	р. Кызылсу перед р. Кашкасу	0,010 ±0,001	0,017 ±0,001	1,80±0,09	0,78±0,07
П-16-16	р. Кашкасу, устье	0,522 ±0,010	0,511 ±0,009	0,98±0,01	42,3±0,8
П-18-16	лед с ледника Ленина	0,001 ±0,000	0,001 ±0,000	1,02±0,09	0,12±0,02
П-22-16	р. Кызылсу после р. Кашкасу	0,032 ±0,002	0,041 ±0,003	1,26±0,06	2,62±0,2
П-23-16	р. Комансу, устье	0,005 ±0,001	0,010 ±0,001	1,89±0,09	0,41±0,04
П-25-16	р. Минджар, горное устье	0,009 ±0,001	0,014 ±0,001	1,51±0,06	0,73±0,05
П-26-16	р. Ачиксу, горное устье	0,015 ±0,001	0,027 ±0,001	1,78±0,07	1,22±0,09
П-28-16	р. Кок-Киик, средняя часть реки	0,301 ±0,010	0,419 ±0,011	1,39±0,03	24,4±0,8
П-29-16	р. Кызылсу до слияния с р. Алтын-Дара	0,013 ±0,001	0,021 ±0,001	1,68±0,05	1,02±0,05
П-30-16	р. Алтын-Дара, устье	0,006 ±0,000	0,011 ±0,000	1,74±0,06	0,49±0,03
П-31-16	р. Коксу, устье	0,062 ±0,002	0,069 ±0,002	1,12±0,03	5,02±0,2
П-32-16	р. Кызылсу, после слияние с р. Коксу	0,178 ±0,006	0,269 ±0,006	1,51±0,03	14,5±0,4
П-35-16	лед в Алтын-Даре	0,043 ±0,004	0,050 ±0,004	1,16±0,08	3,5±0,4
П-36-16	р. Кызылсу восточная, исток реки	0,272 ±0,012	0,533 ±0,015	1,96±0,05	22,0±1,0
П-37-16	р. Коксу до впадения в р. Кызылсу вост.	0,017 ±0,001	0,029 ±0,001	1,70±0,03	1,40±0,05
П-38-16	р. Кызылсу вост.	0,013 ±0,001	0,022 ±0,001	1,74±0,06	1,03±0,06
П-39-16	свежий снег на перевале Таун-Мурун	0,011 ±0,002	0,013 ±0,002	1,18±0,07	0,9±0,1
П-40-16	р. Каракиндык, устье до слияния с р. Кызылсу	0,039 ±0,002	0,076 ±0,002	1,96±0,05	3,1±0,1
П-41-16	р. Кызылсу до слияния с р. Каракиндык	0,028 ±0,001	0,068 ±0,001	2,47±0,05	2,23±0,08
П-42-16	р. Кызылсу после слияния с р. Каракиндык	0,014 ±0,001	0,035 ±0,001	2,58±0,06	1,11±0,05
П-52-16	р. Муксу перед р.Фортамбек	0,028 ±0,002	0,027 ±0,002	0,98±0,04	2,23±0,14
П-53-16	подрусловый сток в верховьях р. Муксу	0,011 ±0,001	0,012 ±0,001	1,11±0,07	0,90±0,09
П-54-16	родник из коренных пород на правом борту долины р. Муксу у перевала Терс-Агар	0,003 ±0,001	0,004 ±0,001	1,06±0,11	0,28±0,05

Содержание изотопов урана во всех проанализированных водных объектах не превышает уровней вмешательства по содержанию радионуклидов в питьевой воде, составляющих 2,8 и 3,0 Бк/кг для ^{234}U и ^{238}U , соответственно [5]. Лишь в водах истока р. Кызылсу и в нескольких малых ее притоках (р. Кашкасу – проба 16, р. Кок-Киик – проба 28, р. Кызыларт – проба 2) обнаружены завышенные концентрации урана, причем в р. Кашкасу – превышение общего содержания урана над ПДК. Не исключено, что в районах протекания этих рек имеются породы с повышенным содержанием урана. Для подтверждения этого требуется постановка дополнительных исследований. В остальных опробованных источниках содержание урана значительно ниже ПДК и данные водные источники могут использоваться местным населением для питьевых целей.

В целом, по уран-изотопным показателям из всех исследованных водоисточников можно выделить 3 генетических типа вод (рисунок 2) с экстремальными значениями $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и C :

– с минимальным общим содержанием урана ($C_1=0,12\pm 0,02$ мкг/л) и равновесным соотношением его изотопов ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_1=1,02\pm 0,09$), что характерно для атмосферных осадков и молодых льдов [6-9]. В исследуемом регионе к этому типу относятся льды с ледника Ленина (проба 18) и воды родника у перевала Терс-Агар (проба 54).

– с максимальным содержанием урана ($C_2=42,3\pm 0,8$ мкг/л) и равновесным соотношением его изотопов ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_2=0,98\pm 0,01$) за счет растворения урана из разрушенных водовмещающих пород верхнего четвертичного горизонта. Это может быть свидетельством того, что здесь имеет место локальная урановая аномалия, т.е. воды имеют контакт с породами, обогащенными ураном (проба 16).

– с максимальным соотношением его изотопов ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_3=1,96\pm 0,05$) и промежуточными значениями содержания урана ($C_3=22\pm 1$ мкг/л), что характерно для вод глубокой циркуляции при активном водообмене в горных

массивах с повышенным содержанием урана (проба 36) [6-10].

Остальные опробованные водоисточники являются смесью в разных пропорциях этих трех типов вод. Доля каждого из них V_1 , V_2 , V_3 в опробованных источниках рассчитывалась по формулам изотопного смешения, которые приведены нами ранее [7]:

$$V_1 + V_2 + V_3 = 1 \quad (1)$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = C \quad (2)$$

$$\gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2 + \gamma_3 C_3 = \gamma C \quad (3)$$

$$V_1 = \frac{\gamma C(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)} \quad (4)$$

$$V_2 = \frac{\gamma C(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C - C_1) + \gamma_1 C_1(C_3 - C_2)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)} \quad (5)$$

$$V_3 = \frac{\gamma C(C_2 - C_1) + \gamma_1 C_1(C - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)} \quad (6)$$

где: C_1 , C_2 , C_3 , C – концентрации урана в водах трех типов и в потоке смешения, соответственно, $\gamma^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, а $\gamma_1 C_1$, $\gamma_2 C_2$, $\gamma_3 C_3$, γC – величины избытка дочернего изотопа в тех же источниках.

Поскольку в опробованных источниках значение $C_1=0,12\pm 0,02$ пренебрежимо мало по сравнению с $C_2=42,3\pm 0,8$ мкг/л и $C_3=22,0\pm 1,0$ мкг/л, а γ_1 в пределах погрешностей измерений, приведённые выше формулы для данного региона упрощаются:

По упрощённым формулам (7-9) были рассчитаны доли этих трех генетических типов вод в питании каждого опробованного источника и представлены в виде диаграммы на рисунке 3. С учётом ошибок измерений изотопного состава урана погрешность этих оценок составляет 5-10%.

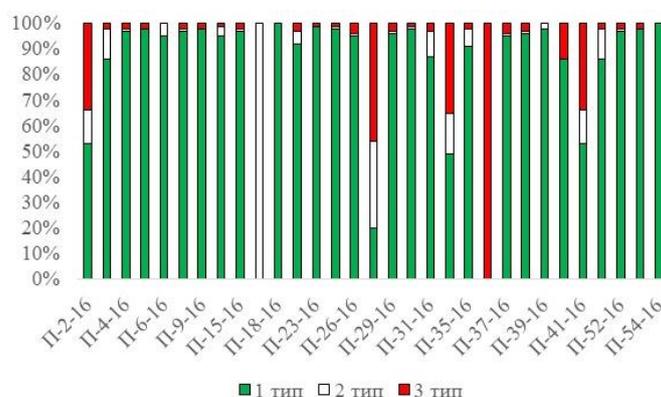


Рисунок 3 – Доля стока вод разных типов

Полученные результаты свидетельствуют о том, что основным источником питания большинства опробованных источников являются атмосферные осадки, не обогащенные ураном при контакте с водовмещающими породами. Следовательно, для рек этого региона доля подземного стока, как глубинного, так и приповерхностного, невелика. Таким образом, при планировании регулирования стока надо опираться на прогноз атмосферных осадков в вегетативный период.

4. Заключение

Результаты расчетов показали, что питание большинства проанализированных водоисточников не менее чем на 90% происходит за счет атмосферных осадков. При контакте последних с водовмещающими породами воды обогащаются дочерним изотопом ^{234}U за счет его преимущественного выщелачивания без заметного растворения урана. Лишь для 5 водоисточников из 31

обнаружено заметное обогащение ураном, что требует постановки дополнительных исследований причин высоких концентраций урана в поверхностных водах. Данное явление особенно важно для устья р. Кашкасу (проба 16П), где зафиксированы концентрации урана выше ПДК для питьевых вод.

Полученные в рамках настоящей работы результаты могут послужить основой в вопросах межгосударственного урегулирования распределения трансграничных водных ресурсов стран Центральной Азии, а методика может быть применена и для других аналогичных водных объектов.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность USAID за спонсорскую помощь в постановке исследований в рамках проекта PEER454, а также к.г.-м.н. Шатравину В.И. за отбор проб воды и льда и привязку их местам опробования.

Литература

- 1 Uralbekov B., Burkitbayev M., Satybaldiyev B., Matveyeva I., Tuzova T., Snow D. Spatial and temporal variability of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio in the Shu River, Central Asia // *Environmental Earth Sciences*. – 2014. – Vol.72, Is.9. – P.3635-3642.
- 2 Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М., Маматканов Д.Д., Матвеева И.В., Сатыбалдиев Б.С. Изотопы урана в водах бассейна р. Чу // *Материалы 4-й Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека»*. – Томск, 2013. – С.535-537.
- 3 Матвеева И.В., Назаркулова Ш.Н., Тузова Т.В., Уралбеков Б.М., Аманова Г.Т., Мамбеталиев Э.Д. Изотопы урана в водах хвостохранилищ рудника Каджи-Сай // *Вестник КазНУ. Серия Химическая*. – 2005. – №4(80). – С.61-67.
- 4 Инструкция НСАМ № 381-ЯФ Методика выполнения измерений объемной 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.
- 5 Санитарно – эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности. Республиканский центр правовой информации Министерства юстиции РК, 2015.
- 6 Тузова Т.В. Оценка распределения стока трансграничных горных рек уран-изотопным методом // *Труды III Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии»*. – Барнаул, 2017. – Т.4. – С.126-134.
- 7 Буркитбаев М.М., Уралбеков Б.М., Тузова Т.В. Неравновесный уран как естественный индикатор процессов в водно-экологических системах Центральной Азии. – Алматы: КазНУ, 2017. – 160 с.
- 8 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.
- 9 Tuzova T., Matveyeva I., Uralbekov B. Uranium isotopes in waters as radio ecological indicator of genesis of waters and relative distribution of water resources of mountain rivers in Central Asia // *Materials of the 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity*. – Berlin, 2017. – P.237-238.
- 10 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) // *Proceedings of the 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity*. – Berlin, 2017. – P.276-277.

References

- 1 Uralbekov B, Burkitbayev M, Satybaldiyev B, Matveyeva I, Tuzova T, Snow D (2014) *Environ Earth Sci* 9:3635-3642. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3274-x>
- 2 Uralbekov BM, Burkitbayev MM, Mamatkanov DD, Matveyeva IV, Satybaldiyev BS, Tuzova TV (2013) Uranium isotopes in the

water of Chu river basin [Izotopy urana v vodah bassejna reki Chu]. Materials of the 4th International Conference “Radioactivity and Radioactive Elements in Human Environment [Radioaktivnost’ i radioaktivnyye elementy v srede obitaniya cheloveka]”, Tomsk, Russia. P.535-537. (In Russian)

3 Matveyeva IV, Nazarkulova ShN, Tuzova TM, Uralbekov BM, Amanova GT, Mambetaliyev ED (2015) Chem Bull Kazakh Univ 4:61-67. (In Russian). <http://doi.org/10.15328/cb600>

4 (2003) Instruction of the Scientific Council on analytical methods 381–YaF «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 prirodnyh vodah s mineralizatsiey do 5 g/dm³ alpha- spektrometricheskim metodom s radiohimicheskoi podgotovkoi]. ASITs FGUP VIMS, Moscow, Russia. (In Russian)

5 (2015) Sanitary and epidemiological requirements of ensuring radiation safety [Sanitarno – ehpidemiologicheskie trebovaniya k obespecheniyu radiacionnoj bezopasnosti]. Republican Center for Legal Information of the Ministry of Justice of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. (In Russian)

6 Tuzova TV (2017) Estimation of distribution of the flow of transboundary mountain rivers by uranium-isotopic method [Otsenka raspredeleniya stoka transgranichnykh gornyykh rek uran-izotopnym metodom]. Proceedings of the 3rd All-Russian scientific conference with international participation “Water and Environmental Issues of Siberia and Central Asia [Vodnyye i ekologicheskiye problemy Sibiri i Tsentral’noy Azii]”, Vol.4, Barnaul, Russia. P.126-134.

7 Burkitbayev MM, Uralbekov BM, Tuzova TV (2017) Non-equilibrium uranium as a the 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]. KazNU, Almaty, Kazakhstan. (In Russian). ISBN 978-601-04-2923-9

8 Matveyeva IV, Tuzova TV (2017) Bulletin of the Tajik National University. Natural Science Series [Vestnik Tadzhijskogo natsional’nogo universiteta. Seriya yestestvennykh nauk] 1/2:151-158.

9 Tuzova T, Matveyeva I, Uralbekov B (2017) Uranium isotopes in waters as radio ecological indicator of genesis of waters and relative distribution of water resources of mountain rivers in Central Asian. Proceedings of the 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. P.237-238.

10 Matveyeva I, Tuzova T, Nursapina N, Meirman F, Uralbekov B (2017) In-situ pre-concentrating of uranium isotopes on coal for alpha-spectrometric measurements (with approbation on water samples of mountain rivers). Proceedings of the 4th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. P.276-277.