

Тузова Т.В., Ерохин С.А., Загинаев В.В., Давид Ваткинс

**ТЕҢ САЛМАКТУУ ЭМЕС УРАН БОРБОРДУК АЗИЯНЫН
ЖЕР ҮСТҮНДӨГҮ ЖАНА АСТЫНДАГЫ СУУЛАРЫНЫН ТАБИГЫЙ
РАДИОАКТИВДИК ГЕНЕЗИСИНИН ИНДИКАТОРУ КАТАРЫ**

Тузова Т.В., Ерохин С.А., Загинаев В.В., Давид Ваткинс

**НЕРАВНОВЕСНЫЙ УРАН КАК ЕСТЕСТВЕННЫЙ
РАДИОАКТИВНЫЙ ИНДИКАТОР ГЕНЕЗИСА ПОВЕРХНОСТНЫХ
И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

T.V. Tuzova, S.A. Erokhin, V.V. Zaginaev, David Watkins

**DIS-EQUILIBRIUM URANIUM AS A NATURAL RADIOACTIVE INDICATOR
OF GENESIS OF SURFACE AND UNDERGROUND WATER IN CENTRAL ASIA**

УДК: 556.314:550Э461:546.791

ЮСАИД долбоорунун алкагында PEER-454 Борбордук Азиядагы чек ара дарыяларынын бассейнде мөңгү, жер үстүндөгү жана жер астындагы суулар зоналары чек аралык дарыялардын агымында изилденген. Тастыкталган бардык объекттери үчүн орнотулган мурун уран-суу изотоптор бир нече генетикалык түрлөрүн өзгөчөлүктөрү ырастады: жаан-чачындагы сууда абдан төмөн (10^{-6} г/л төмөн) уран топтолуу жана салмактуулук өлчөө бирдиктеринин менен жигердүү катышы $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$; суунун айланыш $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ максималдуу четтөө менен уран аз денгээлде баланстан; байытуу менен жерлерде суу уран аномалиялар өтө чектери топтолуу жана бир аз четтөө $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ салмактуулукка чейин; активдүү суу барасы зоналары аралык менен параметрлери билдирди. Изотоптуу аралашуусу акысы колдонууга ар бир булактан генетикалык түрлөрүн суу бөлчөк баалоо үчүн. Борбордук Азиядагы ар кандай суу бассейндерин радиоэкологиялык өзгөчөлүктөрү аныкталган.

Негизги создор: чек ара дарыялар, уран изотобу, көрсөткүч, суу, генезис, экология, Борбордук Азия.

В рамках выполнения проекта USAID PEER-454 проведено изучение изотопного состава урана в ледниковых, поверхностных и подземных водах зон формирования стока трансграничных речных бассейнов ЦА. Для всех исследованных объектов подтверждены установленные ранее [1] уран-изотопные особенности вод нескольких генетических типов: атмосферные осадки с ультранизкими (ниже 10^{-6} г/л) концентрациями урана и равновесным в единицах активности соотношением $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$; воды глубинной циркуляции с максимальным отклонением $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ от равновесия при низком содержании урана; воды зон урановых аномалий с концентрациями, превышающими ПДК и незначительным отклонением $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ от равновесия; воды зон активной циркуляции с промежуточными значениями указанных параметров. Показана применимость формул изотопного смешения для оценок долей вод этих генетических типов в каждом источнике. Выявлены радиоэкологические особенности разных речных бассейнов ЦА.

Ключевые слова: трансграничные реки, изотопы урана, индикатор, воды, генезис, экология, Центральная Азия.

In the framework of the USAID PEER-454 the study of isotopic composition of uranium in the glacial surface and groundwater formation zones of the flow of the transboundary river basins of Central Asia. For all studied objects the previously established [1-4] uranium-isotopic features of waters of several genetic types were confirmed: atmospheric precipitation with ultra-low (below 10^{-6} g/l) concentrations of uranium and equilibrium in units of activity ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$; water of deep circulation with a maximum deviation of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ from equilibrium at low uranium content; waters of uranium anomalies with the urn concentrations exceeding MPC and insignificant deviation $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ from equilibrium; waters of zones of active circulation with intermediate values of the specified parameters. The applicability of isotope mixing formulas to estimate the proportion of water of these genetic types in each source is shown. Radioecological features of different river basins of Central Asia are revealed.

Key words: transboundary rivers, isotopes of uranium in waters, Genesis of waters, ecology, Central Asia.

Введение. Учет расходов многих рек требует совершенствования, т.к. до настоящего времени в Центральной Азии крайне недостаточная сеть гидрометрических наблюдений. Ранее нами показано, что по изотопному составу урана в поверхностных и подземных водах можно оценивать генетические составляющие стока с целью уточнения водных ресурсов горных рек.

Цель исследований – показать возможности уран-изотопного метода для изучения радиологического состояния и генетического состава вод зон формирования стока в условиях изменяющегося климата и усиливающейся антропогенной нагрузки.

Объекты исследований – речные бассейны Южного Прииссыккуля (Чон-Кызылсу, Кумтор, Каджисай), Северного и Центрального Тянь-Шаня (Чу, Иссык-Ата, Аламедин, Ала-Арча, Нарын, Кара-Дарья, Сырдарья), Памиро-Алая (Кызылсу, Муксу, Сурхоб, Обихингоу, Вахш, Варзоб) и Восточного Памира (Гунт, Пяндж) – рис. 1-3.

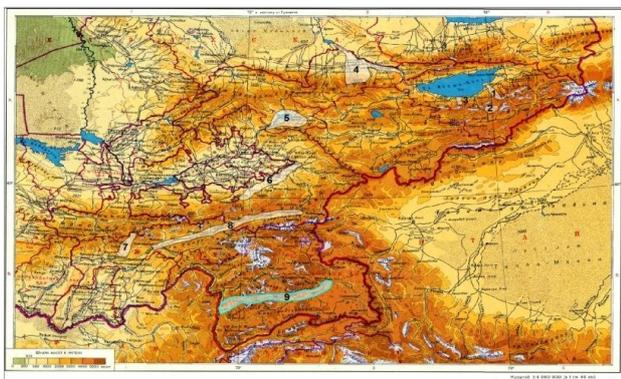
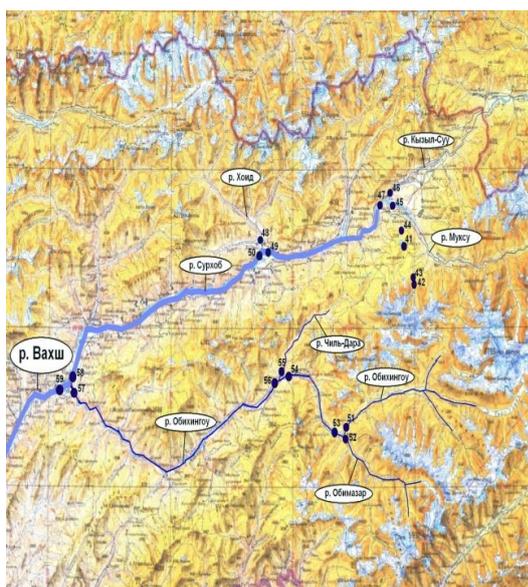


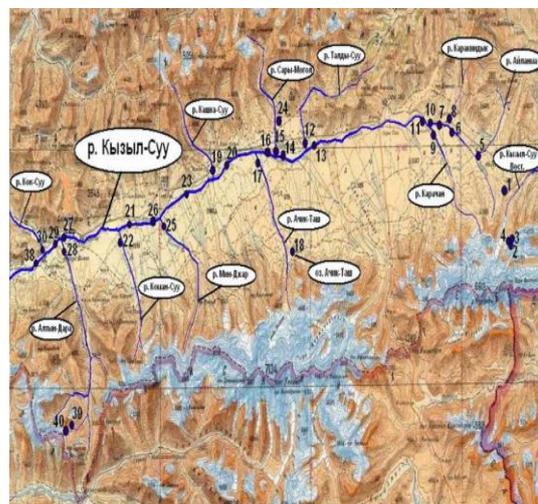
Рис. 1. Схема уран-изотопного опробования вод зон формирования стока речных бассейнов ЦА: 1-Чон-Кызылсуу; 2- Кумтор; 3-Каджисай; 4-Чу; 5-Нарын; 6-Кара-Дарья; 7- Варзоб; 8-Кызылсуу-Вахш; 9-Гунт-Пяндж. Составлена В.В. Загинаевым.



Рис. 2. Космоснимок примера уран-изотопного опробования приледниковых талых вод и льдов на леднике Адыгене, в зоне формирования стока бассейна р.Ала-Арча



а



б

Рис. 3. Места уран-изотопного опробования вод в зонах формирования стока бассейнов рек Памиро-Алая: Вахш (а)– Кызылсуу (б). Схемы составлены В.И.Шатравиным.

Опробование вод на изотопный состав урана во всех горных бассейнах производилось в периоды максимального таяния льдов – июле-августе, когда сток рек максимальный.

Методы исследований. Для определения изотопного состава урана в водах в НАН КР с середины прошлого века разработан и используется альфа-спектрометрический метод, основанный на измерении альфа-активности радиохимически чистого урана, выделенного из природных вод.

Метод заключается в концентрировании урана на сорбентах, его радиохимической очистки и подготовки к измерениям на многоканальном анализаторе амплитуд импульсов с полупроводниковыми детекторами альфа-излучений [1-5].

Концентрирование урана проводится в полевых условиях из достаточно больших объемов вод (1-10 л) – рис. 4.



Рис. 4. Концентрирование урана из вод на активированном угле в полевых условиях Фото С.М. Саидова

Сорбентами – соосадиателями урана из вод могут служить ионообменные смолы, активированные угли, гидроокислы металлов. Сорбент с осажденным на нем ураном транспортируется в радиохимическую лабораторию для его десорбции и подготовки к альфа-спектрометрическим измерениям. Нами осаждение урана производилось либо на активированном угле, либо на гидроксиде железа [2, 5].

Другой метод измерения изотопного состава урана – масс-спектрометрический. Хотя соотношение изотопов $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ по числу атомов при условии их равновесия порядка 10^{-7} , современные лазерные-масс-спектрометры (рис. 5) позволяют с достаточной точностью определять отклонение от равновесия [6,7].



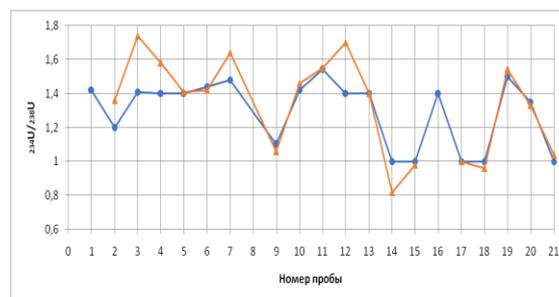
Рис. 5. Современная масс-спектрометрическая лаборатория (Юлиховский исследовательский центр, Германия). Фото П.Зория.

Преимущество масс-спектрометрического метода – малые объемы проб для анализа, нет необходимости в концентрировании урана из больших объемов проб. Метод для измерений изотопного состава урана не используется в государствах ЦА из-за дороговизны аппаратуры и отсутствия кадров. На десятках проб проведено сравнение результатов измерений двумя методами в 2-ух лицензированных лабораториях (Центр радиоэкологии КазНУ им.Аль-Фараби, г. Алматы и Юлиховский исследовательский центр, Германия). Для большинства проб получена сходимости результатов в пределах погрешностей измерений (рис.6).

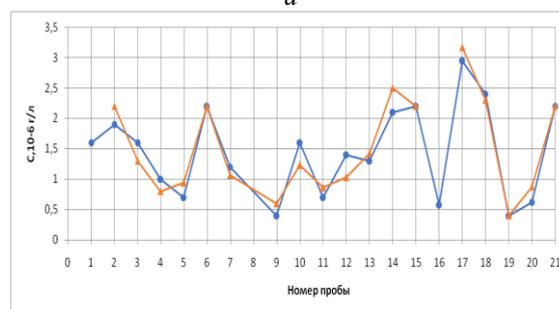
Результаты исследований. Во всех исследованных горных речных бассейнах Тянь-Шаня и Па-

мира по уран-изотопным показателям четко выделяются 3 генетических типа вод, ответственных за формирование водных ресурсов:

1. Снеговой и ледниковый сток. В водах этого типа ультранизкое содержание урана C_U (10^{-7} г/л) и равновесное в единицах альфа-активности отношение его четных изотопов $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 1,00 \pm 0,02$.



а



б

Рис. 6. Сравнение результатов альфа- (красным) и масс-спектрометрических (синим) измерений: а - отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$; б - содержания урана.

2. Воды глубокой циркуляции с максимальным относительным избытком ^{234}U за счет его преимущественного выщелачивания из коренных пород, по сравнению с ^{238}U при сравнительно низких концентрациях урана.

3. Приповерхностные подземные воды зон активного водообмена, обогащенные ураном с незначительным отклонением от равновесия за счет растворения урана из разрушенной толщи водовмещающих пород.

Следует отметить, что отличить последние два типа подземных вод другими методами весьма затруднительно. На уран-изотопных диаграммах зависимости относительного избытка ^{238}U от общего содержания урана в водах, все опробованные водисточники каждого бассейна укладываются внутри своеобразных треугольников с вершинами, характеризующими эти 3 типа вод.

В качестве примеров они показаны на рис.7 (Тянь-Шань) и рис. 8 (Памир). Для всех речных бассейнов первых тип вод (ледниковые воды, атмосферные осадки) значения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и C_U примерно одина-

ковые, а в двух типах подземных вод эти параметры для каждого речного бассейна различны, т.к. зависят от состава водовмещающих пород, степени их раз-

рушенности, содержания и распределения урана в породах [1-4,7-11].

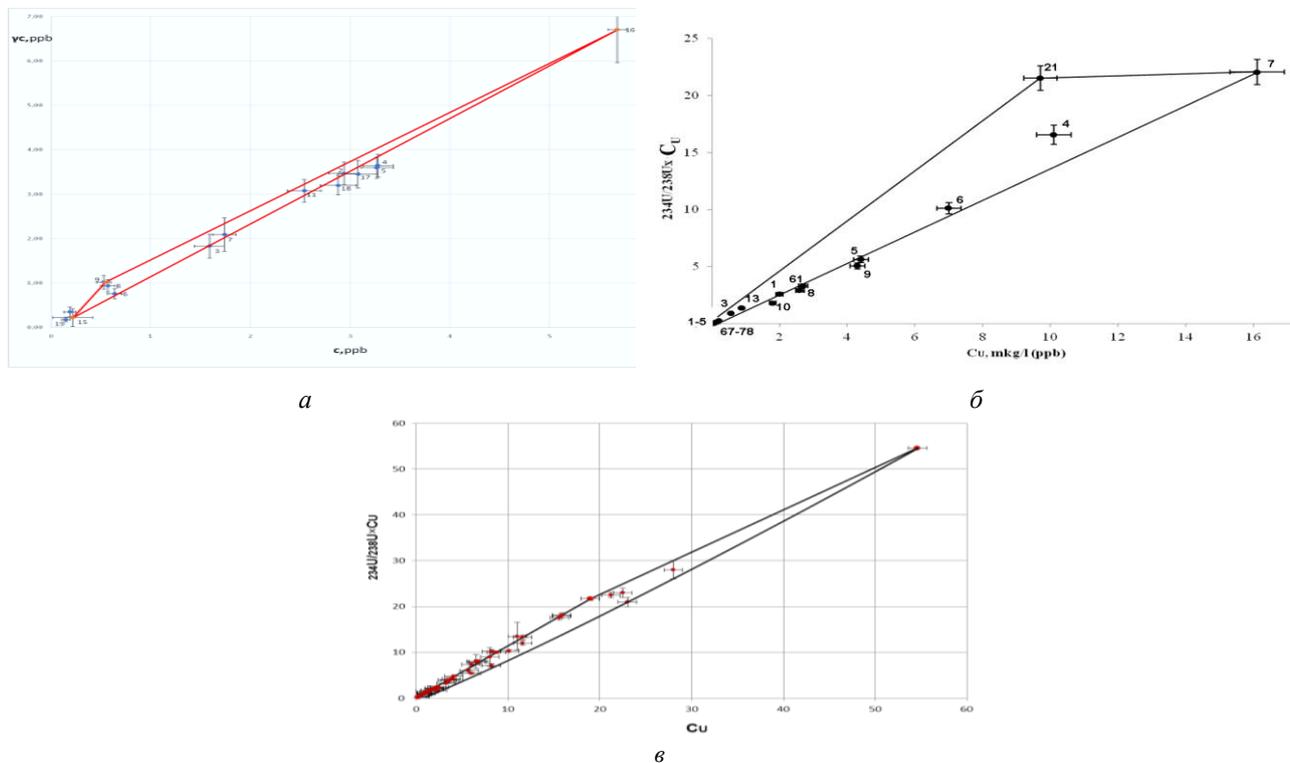


Рис. 7. Уран-изотопные диаграммы вод зон формирования стока рек Северного Тянь-Шаня: Чон-Кызылсу (а), Ала-Арча (б), Кумтор (в).

Полученные данные изотопного состава урана свидетельствуют о том, что в настоящее время воды зон формирования стока всех исследованных трансграничных речных бассейнов в основном радиологически чистые.

Для Северного Тянь-Шаня наиболее радиологически чистыми по сравнению с другими речными бассейнами являются воды зоны формирования стока бассейна р. Чон-Кызылсу.

Это район, практически свободный от антропогенной нагрузки. Доля стока вод глубинной циркуляции в питании бассейна не более 10-15 %, а доля приповерхностных вод активного водообмена увеличивается от верховьев бассейна вниз по течению от 5 до 43 % [11].

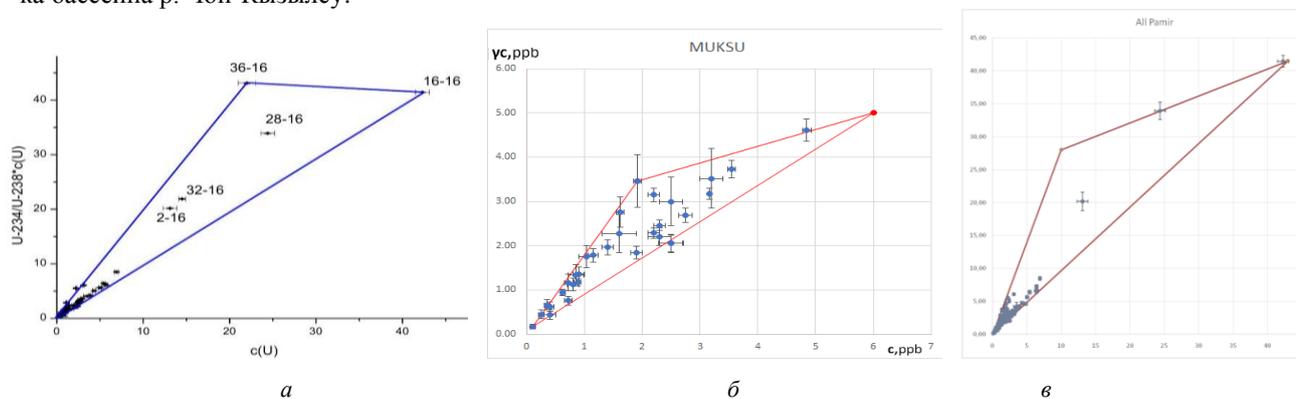


Рис. 8. Уран-изотопные диаграммы вод бассейнов рек Кызылсу (а), Муксу (б) и всего Памира (в)

НАУКА, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ КЫРГЫЗСТАНА, № 4, 2019

Здесь необходима организация мониторинга изотопного состава урана в водах для контроля влияния изменений климата на радиологическую чистоту региона (рис. 7 а, 9).



Рис. 9. Верховья бассейна р.Чон-Кызылсу.
Фото С.А. Ерохина

На Памиро-Алае аналогичным районом является зона формирования стока р. Кызылсу - одного из истоков р. Вахш (рис. 3, 8 а).

Это тоже не подверженный антропогенной нагрузке трансграничный район, поэтому организация мониторинга за изменением климата здесь наиболее рациональна.

Однако во всехисследованных речных бассейнах есть единичные выходы подземных вод зон активного водообмена с заметно повышенными концентрациями урана [7-10].

Они для каждого бассейна принимались за 3-й генетический тип вод зон активного водообмена. С помощью предложенных нами ранее формул изотопного смешения для каждого из опробованных источников рассчитывались долиэтих генетических типов вод на момент отбора проб.

Результаты таких расчетов для вод зоны формирования стока р. Ала-Арча (рис. 2, 7 в) приведены в таблице.

Таблица 2.

Изотопы урана и генетический состав вод бассейна р.Ала-Арча

Шифр проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота, м	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$\text{C}_{\text{U}} \cdot 10^{-6}$ г/л	Генетический состав вод, %		
						Ледниковые	Активного водообмена	Глубинные
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1А-14	Снег с ледника Адыгене	42.507263 74.437350	3658	1,00±0,04	0,11±0,01	100	-	-
3А-14	Приледниковое-оз. Адыгене	42.509954 74.441155	3633	1,00±0,04	0,33±0,04	100	-	-
10А-14	Термокарстовое оз. Тезтор	42.518724 74.442201	3534	0,97±0,08	4,1±0,7	?	?	-
11А-14	Термокарстовое оз. Тезтор	42.515221 74.446130	3537	1,01±0,04	54,6±0,2	?	?	-
6А-17	Сток из-под ледника Аксай	42,325190 74,305257	2720	1,02±0,02	10,1±0,3	56±5	44±5	±5
7А-17	р. Шаркыратма	42.578345 74.481366	2680	1,06±0,02	21,2±0,5	±1	80±5	20±5
KZS25-16	р. Аксай перед р. Ала-Арча	42.549406 74.486369	2253	1,03±0,02	11,6±0,04	48±5	52±5	±5
KZS24-16	р. Ала-Арча перед Аксай	42.549406 74.486369	2260	1,18±0,02	4,1±0,2	79±4	12±4	9±4
KZS26-16	р. Ала-Арча после р. Аксай	42.55188 74.483796	2200	1,15±0,02	8,7±0,2	56±3	27±3	17±3
3А-17	оз. Адыгене большое	42,512021 74,437061	3586	1,07±0,09	2,2±0,1	91±4	9±4	±4
4А-17	оз. Адыгене малое	42,514644 74,441898	3510	1,11±0,06	3,8±0,2	85±5	15±5	±5
5А-17	Исток из-под морены Адыгене	42,539644 74,454441	2971	1,05±0,06	3,6±0,2	84±4	14±3	±2
KZS27-16	р. Адыгене, устье	42.573447 74.479604	2093	1,11±0,07	1,5±0,2	93±4	±2	7±2
12 А-91	То же	42.57344 74.47960		1,08±0,01	1,9±0,1	95±4	±2	±5

НАУКА, НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ КЫРГЫЗСТАНА, № 4, 2019

1	2	3	4	5	6	7	8	9
KZS-28-16	Родник перед р. Адыгене	42,572421 74,482035	2083	1,11±0,07	19,0±0,6	±5	90±10	±5
2A-17	То же	42,572421 74,482035	2084	1,05±0,02	22,5±0,5		100	
KZS29-16	р. Ала-Арча ниже р. Адыгене и родника	42,578129 74,481663	2091	1,15±0,01	8,1±0,2	42±5	52±5	±5
KZS30-16	р. Муратсай, устье	42,57834 74,48136	2010	1,38±0,08	0,35±0,09	99±5	-	±5
8A-17	р. Муратсай	42,57834 74,48136	1900	1,54±0,08	0,98±0,08	94±6	-	±6
13A-91	То же	42,57834 74,48136	2000	1,33±0,02	0,59±0,02	97±3	-	±3
KZS31-16	р. Ала-Арча после р. Муратсай	42,45919 74,62313	1755	1,24±0,07	6,5±0,4	61±5	15±5	20±5
KZS32-16	р. Ала-Арча перед р. Карагай-Булак,	42,466301 74,669110	1734	1,24±0,04	7,6±0,5	57±5	18±5	25±5
KZS33-16	р. Карагай-Булак, устье	42,472022 74,666091	1680	1,15±0,07	3,4±0,5	83±7	10±7	±7
KZS34-16	р. Ала-Арча после р. Карагай-Булак	42,490367 74,649337	1388	1,17±0,04	6,8±0,3	63±5	32±5	±5
KZS40-16	р. Катырберды, устье	42,629647 74,491147	1696	1,22±0,02	4,9±0,3	85±3	12±3	±3
KZS-41-16	р. Ала-Арча после р. Катырберды	42,629922 74,491808	1690	1,20±0,03	6,6±0,4	65±5	18±5	17±5
9A-17	р. Ала-Арча перед р. Кашкасуу	42,656898 74,498214	1550	1,15±0,01	18,9±0,3	58±4	42±4	±8
KZS-42-16	р. Кашкасуу, устье	42,657200 74,498572	1548	1,24±0,01	8,4±0,3	60±5	20±5	20±5
10A-17	р. Кашкасуу	42,657050 74,498815	1555	1,13±0,02	15,8±0,4	20±6	54±6	26±6
11A-17	Родник Кашкасуу	42,656653 74,498531	1552	1,22±0,02	15,9±0,4	12±6	41±6	47±6
KZS-43-16	р. Ала-арча после р. Кашкасуу	42,657546 74,498650	1547	1,13±0,01	10,2±0,3	50±5	33±5	17±5
12A-17	р. Ала-Арча после р. Кашкасуу	42,657546 74,498650	1547	1,13±0,02	15,6±0,4	32±6	54±6	14±6

Особенностью этого бассейна является заметная контрастность не только подземных, но и поверхностных вод разных притоков по содержанию урана, установленная нами в разные годы и ранее [3, с.183] (см. пробы 3A-14 и 11A-14; KZS24-16 и KZS25-16; 2A-17 и 8A-17 10A-17 и 12A-17).

Это может быть связано не только с глубинным или приповерхностным питанием этих притоков, но и наличием пород с аномальным содержанием урана, приводящим к обогащению вод ураном до ПДК и выше. Приведенные временные и пространственные результаты изучения изотопного состава урана в бассейне р. Ала-Арча можно считать началом мониторинга радиологической обстановки бассейна.

Его необходимо продолжить, как и для бассейна р. Чон-Кызылсу, чтобы путем сравнения результатов для двух речных бассейнов, наименее подверженных антропогенному воздействию, выявить влияние кли-

матических изменений на распределение водных ресурсов и их чистоту.

Аналогичные расчеты долей вод трех генетических типов в каждом опробованном источнике проведены нами для всех изображенных на рис.1 бассейнов трансграничных рек Тянь-Шаня и Памира и опубликованы ранее [1-4, 7-10].

Выводы

1. Воды разных источников в зонах формирования стока горных речных бассейнов заметно отличаются друг от друга как по общему содержанию урана, так и по величине избытка в них ^{234}U .

2. Установлено, что уран-изотопный метод применим как для изучения генезиса вод отдельных источников речных бассейнов, так и для оценки их доли в формировании речного стока.

3. Неравновесный уран является естественным индикатором физико-химических процессов, проте-

кающих в водно-экологических системах, на основе которого можно получить информацию о генезисе водных источников, для решения широкого круга прикладных задач геоэкологии, геохронологии а также фиксировать особенности изменения климата и гидрологической обстановки отдельных регионов.

Литература:

1. Тузова Т.В. Оценка распределения стока трансграничных горных рек уран-изотопным методом//Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии, т.4, Трансграничные водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии, Труды 3-ей Всероссийской научной конф. с международным участием, Барнаул, 2017, С. 126-134.
2. Буркитбаев М.М., Уралбеков Б.М., Тузова Т.В. // Неравновесный уран как естественный индикатор процессов в водно-экологических системах Центральной Азии // Алматы, Казак университети, 2017, 160 с.
3. Тузова Т.В., Загинаев В.В., Шатравин В.И., Ваткинс Д., Матвеева И.В., Саидов С.М. // Уран в водах зон формирования стока трансграничных рек Тянь-Шаня и Памира, Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2018, № 3, С.178-185.
4. Тузова Т.В., Сатылканов Р.А., Шатравин В.И., Давид Ваткинс // Изотопы урана в водах и льдах верховьев р. Нарын //, там же, С.125-130.
5. 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, № 1/2, 2017, С.151-158.
6. Uranium-series disequilibrium, application to earth, marine and environmental sciences // Edited by Ivanovich M. and Harmon R.S.- Oxford: Clarendon Press. – 1992. – 910 p.
7. P. Zoriy, M.Schläger, T.Tuzova, M. Zoriy, J. Pillaht, B. Heuel-Fabianek. Assessment of uranium concentration in water samples collected in selected regions of the Kyrgyz Republic // 8-я Международная конференция «Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала».- Курчатов, РК, 2018, С. 327-328.
8. Тузова Т.В., Зорий Р., Матвеева И.В. Радиологическое состояние и генезис поверхностных и подземных вод зон формирования стока горных рек по уран-изотопным показателям.- Там же, С. 329-330.
9. Тузова Т.В., Сатылканов Р.А., Шатравин В.И., Матвеева И.В. Радиоэкологическое состояние вод золоторудного комбината Кумтор (Кыргызская Республика) //Труды 7-й Международной конф. Проблемы природопользования и экологическое состояние в Европейской России и на сопредельных территориях, Белгород, Мин.образования и науки РФ: Политера, 2017, С. 260-264.
10. Тузова Т.В. Радиоэкологическое состояние вод разного генезиса в районе бывшего уранового рудника Каджисай (Кыргызская Республика) //Труды Международного научного форума «Ядерная наука и технологии», Институт ядерной физики, Алматы, 2017, С. 287-293.
11. Тузова Т.В. Генетический состав поверхностных и подземных водбассейна р.Чон-Кызылсуу в условиях изменяющегося климата // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2019, № 4, С. 178-185.

Рецензент: к.г.-м.н. Адылова М.А.