

points of the earth, coordinate marks, river type, river distance, Juuku River, Juuku, Issyk-Kul lake, coefficients of asymmetry and variability, hydrological analogy method, plot of statistical water series, hydrological characteristic, estimated discharge, cartography, Teskey-Ala-Too, Juukuchak, Ashu-Kashka-Su, Juuku gorge, average temperature, Pair correlation coefficient.

Сведения об авторах:

Момуналиев Руслан Кемелович – научный сотрудник, института водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики, Тел.: (+996-552)-124664 E-mail: ruslan.momunaliev@yandex.kg; Петренко Виталий Андреевич – научный сотрудник, института водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики, Тел.: (+996-500)-594795 E-mail: vitya.65@list.ru;

Ершова Наталья Владимировна – кандидат географических наук, доцент кафедры Водных ресурсов и инженерных дисциплин Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина, Тел.: (+996-555)-193167 E-mail: natasha-er@yandex.ru

Information about the authors:

Momunaliev Ruslan Kemelovich – Researcher, Institute of Water Problems and Hydropower of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Tel.: (+996-552)-124664 E-mail: ruslan.momunaliev@yandex.kg; Petrenko Vitaly Andreevich – Researcher, Institute of Water Problems and Hydropower of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Tel.: (+996-500)-594795 E-mail: vitya.65@list.ru;

Ershova Natalia Vladimirovna – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Water Resources and Engineering Disciplines of the Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, Tel.: (+996-555)-193167 E-mail: natasha-er@yandex.ru

УДК 626.81

ОСОБЕННОСТИ ВОДЫ, ЗОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКОВ РЕК ПАМИРО-АЛАЯ И ПАМИРА ПО НЕРАВНОВЕСНОМУ УРАНУ

Тузова Т.В., Чонтоев Д.Т.

*Институт водных проблем и гидроэнергетики
Национальной академии наук Кыргызской Республики*

Аннотация: в продолжение ранее проведенных исследований воды уран-изотопным методом обобщены особенности формирования водных ресурсов речных бассейнов Памиро-Алая и Горного Бадахшана. Регион исследований выбран как трансграничный и потенциально селе- и лавиноопасный для Кыргызской Республики (КР) и Республики Таджикистан (РТ). Детально проанализирован изотопный состав урана во льдах и водах приледниковых зон и в основных притоках зоны формирования стока бассейнов рек: Вахш, Гунт и Пяндж. Выявлены различия в содержании урана и отношениях $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в водах трех генетических типов: атмосферные осадки с ультранизким содержанием урана и равновесным соотношением его изотопов; воды глубокой циркуляции в коренных горных породах с невысоким содержанием урана, но максимальным отклонением отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ от равновесия и приповерхностные воды зоны активного водообмена, обогащенные ураном за счет

растворения при контакте с водовмещающими разрушенными породами с небольшим отклонением его изотопов от равновесия. Показана возможность оценки долей этих трех типов в питании рек водами по предложенным ранее уравнениям изотопного смешения.

Ключевые слова: речные бассейны, зоны формирования стока, Вахш, Пяндж, генезис вод, лед, поверхностные воды, подземные воды, уран, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

Введение. Главными источниками питания горных рек Центральной Азии (ЦА) являются ледники и сезонный снег. Реки, берущие свое начало в нивально-гляциальной зоне, по мере продвижения вниз по долине частично теряют сток за счет погружения в приповерхностные отложения в горной и предгорной зонах. Часть этого стока в виде подрусловых течений выходит на поверхность в виде родников. Учет генетических составляющих горных рек требует совершенствования для уточнения и прогноза водных ресурсов в условиях изменяющегося климата, поскольку до настоящего времени в ЦА крайне недостаточная сеть гидрометрических наблюдений. Недостаточно изученным остается вопрос влияния деградации ледников на характер стока рек.

Исследованию возможностей решения этих актуальных задач с использованием неравновесного урана как естественного радиоактивного индикатора природных процессов посвящены многочисленные работы [1-20]. Установлено, что атмосферные осадки и чистые льды содержат ультранизкие, но измеримые концентрации урана с равновесным в единицах активности соотношением его четных изотопов. Приповерхностные воды активной циркуляции обогащаются ураном путем его растворения и выщелачивания из водовмещающих пород. Напорные воды глубокой циркуляции отличаются отклонением отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ от равновесия за счет преимущественного выщелачивания ^{234}U из коренных пород без обогащения материнским изотопом. Эти от-

личия позволяют по неравновесному урану изучать динамику оледенения, генезис вод и распределение элементов водного баланса в зонах формирования стока горных рек [1,2,6,10,11,14,15]. Метод хорошо зарекомендовал себя при изучении радиоэкологического состояния вод [4,7,9,10,11]. В ряде работ метод использован для оценки водных ресурсов слабоизученных трансграничных рек [1,3,11-13,16,17]. Методические вопросы измерений изотопного состава урана в водах с ультранизкими концентрациями, каковыми являются атмосферные осадки, ледники и приледниковые воды, изложены в работах [2, 5, 13, 14,19, 20].

Данное сообщение посвящено изложению особенностей формирования водных ресурсов трансграничных рек КР и РТ, относящихся к бассейну р. Аму-Дарья по обобщенным уран-изотопным данным, полученным в разные годы.

Объектами исследований являлись воды и льды зон формирования стока рек Кызылсу-Муксу-Сурхоб-Обихингоу-Вахш (рис. 1 - 3).

Изотопный состав урана в водах истоков исследованных рек (талые воды снега, льда и воды родников, выклинивающихся из-под ледников региона) сведены в табл.1. Среднее содержание урана в талых водах свежего снега и льда, как и в других регионах ЦА [1,2,8,13-16] составляет $0,2 \pm 0,1$ мкг/л при равновесном в пределах погрешностей отношении $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, т.е. это чисто атмосферные осадки.

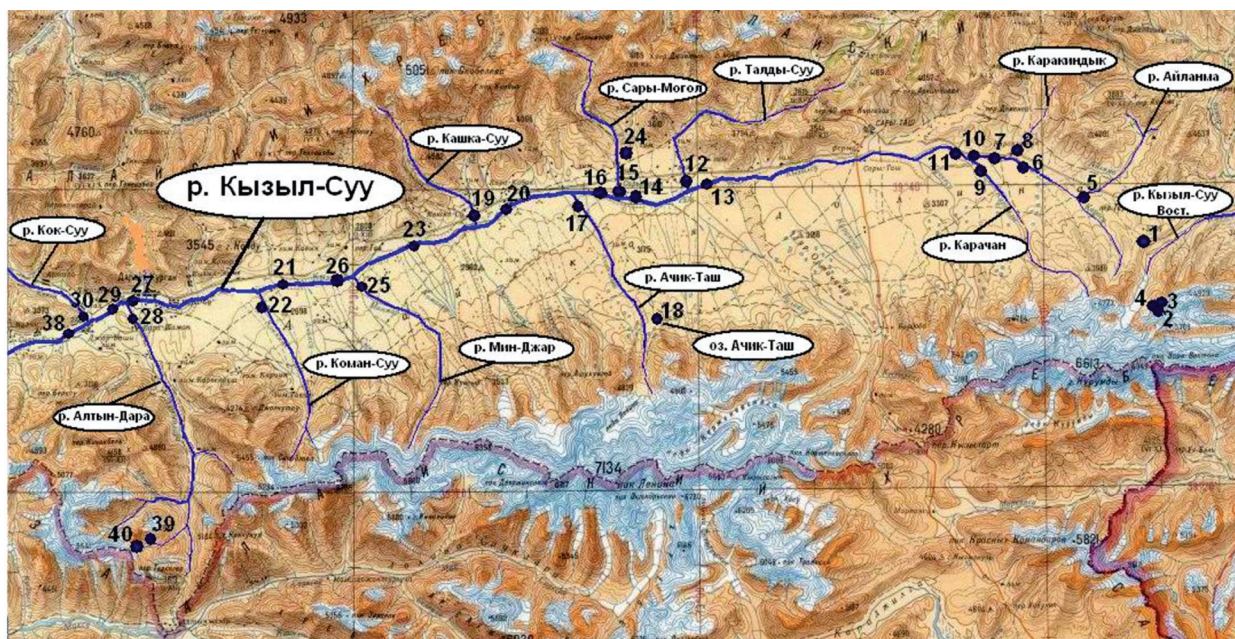


Рис.1. Схема опробованных в 2012-2019 гг. водоисточников зоны формирования стока бассейна р. Кызыл-Суу восточная (Памиро-Алай)



Рис.2 Схема формирования стока бассейна р. Вахи с основными местами опробования вод на изотопный состав урана

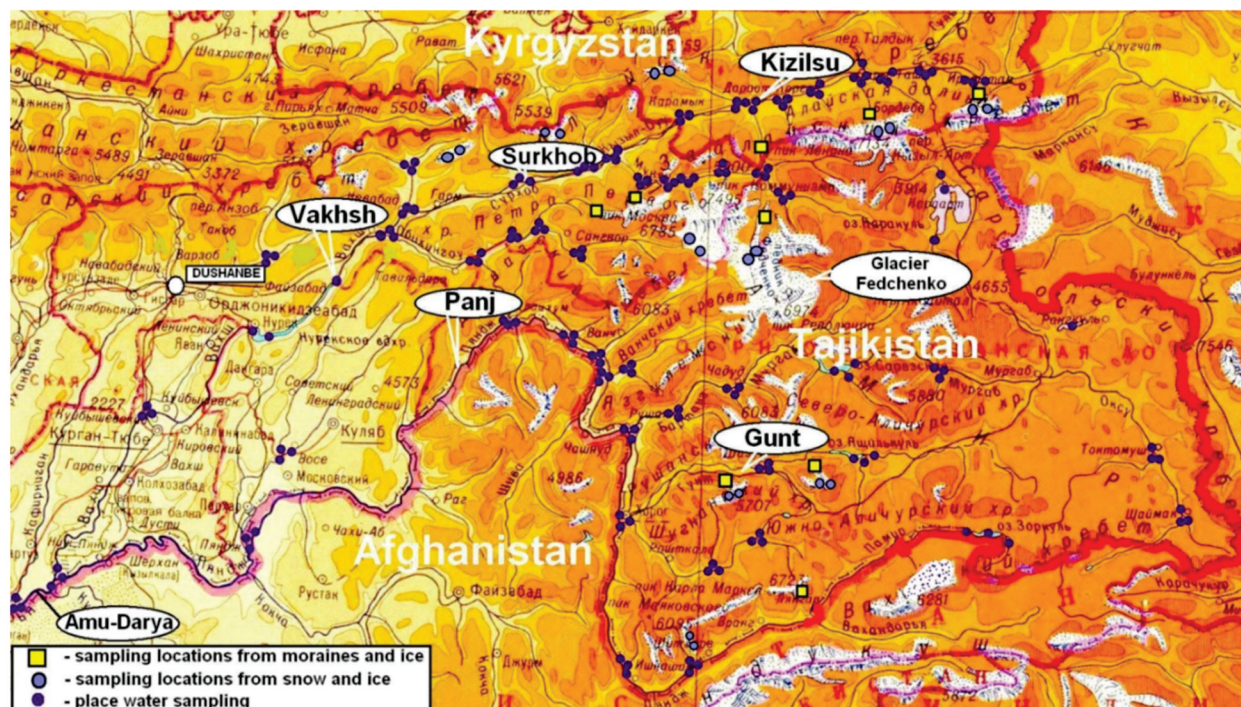


Рис.3. Схема опробованных в 1989-1991 и в 2012-2019 гг. водоисточников в бассейнах рек Кызылсу–Муксу–Сурхоб–Обихингоу–Вахи и Гунт–Пяндж

В истоке р.Муксу, вытекающем из-под ледника, вода при равновесном отношении $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ заметно обогащена ураном за счет растворения его из разрушенных приповерхностных отложения под ледником, что характерно и для истоков рек Гунт-Пяндж [6].

Вода ряда приледниковых родников отличается значительным избытком ^{234}U над ^{238}U без увеличения содержания последнего (табл.1, пробы 43,44-23). Это свидетельствует о том, что воды этих родников претерпели глубинную циркуляцию по коренным породам с преимущественным выщелачивании из них дочернего изотопа урана без растворения материнского. Однако обнаружены в этом регионе и родники, обогащенные ураном при небольшом отклонении от равновесия его четных изотопов. Это воды, циркулирующие в разрушенных приповерхностных породах, где происходит и раство-

рение, и выщелачивание изотопов урана.

Изотопный состав урана в водах истока р. Кызыл-Суу (пробы 2-12, 6-13, 41-16) и приледниковых родников у истоков реки (пробы 1-12, 4-12, 7-13), в отличие от истоков р.Муксу, свидетельствует о их глубинной циркуляции.

Следовательно, уже непосредственно в приледниковых областях зон формирования стока по уран-изотопным параметрам выявлено три генетических типа вод, питающих горные реки – атмосферные осадки (с ультранизким содержанием урана и равновесным соотношением его четных изотопов); воды, контактирующие с приповерхностными отложениями (заметно обогащенные ураном с небольшим избытком дочернего изотопа) и воды глубокой циркуляции по коренным породам (с низким содержанием урана и наибольшим избытком ^{234}U).

Таблица 1

Изотопы урана в водах истоков рек Кызыл-Суу и Муксу

№ проб - год отбора	Место отбора	Координаты	Высота м	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	CU, 10-6 г/л
2-13, 3-13, 18-16	Свежий снег с ледника Кызылсу	N39°32'13.10 E73 °40'43.55	4173	1,1±0,2	0,22±0,06
4-13	Старый лед с ледника Кызылсу	N39°32'22.40 E73 °40'31.76	4095	1,3±0,3	0,22±0,06
24-13	Свежий снег в долине р.Сары-Мо- гол	N39°41'19.08 E72 °53'22.72	3024	1,2±0,2	0,18±0,05
40-13	Свежий снег с ледника бассейна р.Алтын-Дара	N39°15'58.20 E73 °29'10.93	4430	1,0±0,3	0,11±0,04
39-13, 35-16	Старый лед с ледника левого при- тока р.Алтын-Дара	N39°15'57.97 E72 °12'23.90	4404	1,3±0,3	0,11±0,04
40-13	Свежий снег с ледника Мургазы	N39°15'58.24 E73 °29'10.93	4431	1,0±0,3	0,11±0,04
42-13	Старый лед с ледника Мургазы	N39°07'18.34 E71°29'38.20	3109	1,5±0,5	0,35±0,05
40-13, 18-16,	Ледник Ленина	N39°07'07.67 E71°29'43.60	3116	1,0±0,3	0,12±0,02
Среднее для приледниковых талых вод				1,2±0,2	0,2±0,1
53-16	Приледниковый исток р.Муксу	N39°11'21.98 E72°10'00.18	2697	1,1±0,1	0,90±0,09
43-13	Родник у плато Тупчак, левый борт долины р.Муксу	N39°12'37.17 E71°26'56.07	2611	2,2±0,4	0,10±0,03
44-13	Родник у плато Тупчак, левый борт долины р.Муксу	N39°41'33.75 E73 °26'28.88	3913	2,0±0,3	0,25±0,05
12s - 14	Родник у левого берега р. Муксу	N39°11'49.74 E 73° 30'27.9	2239	1,4±0,1	1,60±0,06
2-12, 6-13, 41-16	Приледниковый исток р. Кызыл-Суу	N73°027'31.48 E39°32'13.10	3241	2,7±0,1	1,37±0,07
1-12, 4-12, 7-13	Родники в истоке р. Кызыл-Суу	N39°41'50.07 E73°026'31.80	3238	2,2±0,2	1,21±0,07

Эти три генетических типа вод, смешиваясь в разных пропорциях, формируют сток горных рек региона. Процесс смешения удобно рассматривать на уран-изотопных диаграммах зависимости относительного избытка дочернего изотопа $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \cdot C$ от общего содержания урана в водах C (рис. 4, 5).

Анализ результатов. Как видно из рис. 4, 5, на уран-изотопных диаграммах исследованные на изотопный состав урана в течение ряда лет водоисточники Памира и Алая укладываются внутри своеобразных

треугольников, вершины которых отражают уран-изотопные соотношения указанных выше генетических типов вод. Нижняя вершина треугольника характеризует атмосферные осадки, верхняя правая – обогащенные ураном подземные воды активного водообмена, левая верхняя – воды глубокой циркуляции. Доли вклада каждого из этих генетических типов вод в любом водоисточнике на момент его опробования можно рассчитать по предложенным нами формулам изотопного смешения [1,3,7-12]. Для исследованного региона большинство опробован-

ных водоисточников это смесь ледниковых вод (80-90%) с грунтовыми водами активного водообмена в приповерхностных отложе-

ниях (до 15%). Доля вод глубокой циркуляции в них незначительна, не более 5% [14].

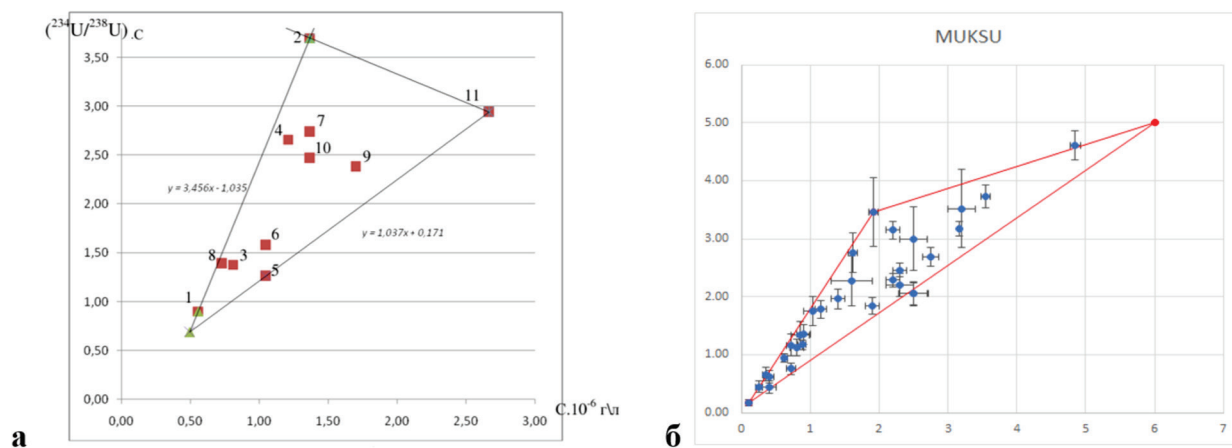


Рис.4. Уран-изотопные диаграммы вод зон формирования стока:
а - бассейна р. Кызылсу [1,3], б – бассейна р.Муксу [11,14]

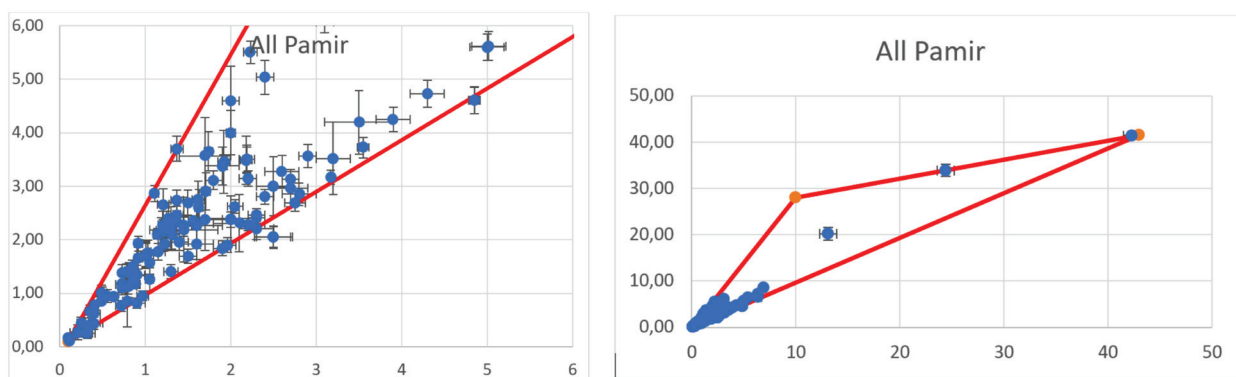


Рис.5. Обобщенная уран-изотопная диаграмма вод Памира и Алая [11,14]

Анализ результатов. Как видно из рис. 4, 5, на уран-изотопных диаграммах исследованные на изотопный состав урана в течение ряда лет водоисточники Памира и Алая укладываются внутри своеобразных треугольников, вершины которых отражают уран-изотопные соотношения указанных выше генетических типов вод. Нижняя вершина треугольника характеризует атмосферные осадки, верхняя правая – обогащенные ураном подземные воды активного водообмена, левая верхняя – воды глубокой циркуляции. Доли вклада каждого из этих генетических типов вод в любом водоисточнике на момент его опробования можно рас-

считать по предложенным нами формулам изотопного смешения [1,3,7-12]. Для исследованного региона большинство опробованных водоисточников это смесь ледниковых вод (80-90%) с грунтовыми водами активного водообмена в приповерхностных отложениях (до 15%). Доля вод глубокой циркуляции в них незначительна, не более 5% [14].

Заключение. Приведенный обзор многолетних исследований свидетельствует о перспективности использования метода неравновесного урана при уточнении генезиса поверхностных вод и уточнения водного баланса горных рек.

Литература

1. 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 стр. (Монография, ISBN 978-601-04-2923-9).
2. Водные и гидроэнергетические ресурсы Кыргызстана в условиях изменения климата, Бишкек, 2021, 340 с.
3. Маматканов Д., Тузова Т. Evaluation of Water Balance Components and Ecological Condition of poorly studied Transboundary River Basins by Isotope Methods - AASSA Regional Workshop "Sustainable development of Asian countries, water resources and biodiversity under climate change", August 19-22 2013, Barnaul, Russia, с.146-158.
4. Матвеева И.В., Назаркулова Ш.Н., Тузова Т.В. и др. Изотопы урана в водах хвостохранилищ рудника Каджи-Сай. Вестник КазНУ, серия химическая, 2015, №4(80), с.61-67. <http://bulletin.chemistry.kz/dx/doi.org/10.15328/cb600>
5. Матвеева И.В., Мейирман Ф.С., Нурсапина Н.А., Сатыбалдиев Б.С., Тузова Т.В. Концентрирование изотопов урана соосаждением на активированном угле и гидроксиде железа (III) в полевых условиях // Vol 105, No 2 (2022): Chemical Bulletin of Kazakh National University, 2019, Vol 192, No 1, с.4-11.
6. Саидов М.С., Тузова Т.В., Саидов С.М. Изменение климата как фактор ущербов за счет избыточной воды во время паводков (На примере трансграничной р. Пяндж). Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, 2019, №4, с. 56-60.
7. 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. - № 4. –Р. 126-134.
8. Тузова Т.В., Адылова М.А., Зорий П. Радиоэкологические и инженерно-геологические особенности формирования стока бассейнов рек Нарын-Карадарья-Сырдарья //Инновационные технологии в решении актуальных задач сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии. // Материалы международной конф., посвященной 119-летию акад. Г.А. Мавлянова, Ташкент: АН РУз. 2020. – С. 316-321.
9. Тузова Т.В., Ваткинс Д. Генетический состав поверхностных и подземных вод бассейна р.Чон-Кызыл-Суу в условиях изменяющегося климата. Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 3, 2018, с.81-84.
10. Тузова Т.В., Ерохин С.А., Загинаев В.В. Неравновесный уран как естественный радиоактивный индикатор генезиса поверхностных и подземных вод Центральной Азии. Там же с. 85-91.
11. Тузова Т.В., Загинаев В.В. и др. Уран в водах зон формирования стока трансграничных рек Тянь-Шаня и Памира. Там же, с. 178-185.
12. Тузова Т.В., Саидов С.М., Салихов Ф.С. Изучение формирования стока реки Варзоб уран – изотопным методом, Душанбе // Наука и инновация: геологические и технические науки. – 2018. - №3. – С.160-170.
13. Тузова Т.В., Сатылканов, Р.А. и др. Изотопы урана во льдах и водах верховьев реки Нарын // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана, № 4, 2019, с. 125-130.
14. Тузова Т.В., Шатравин В.И. и др. Неравновесный уран в водах и льдах Памиро-Алая // Наука и инновация (научный журнал), серия геологических и технических наук. - 2018, №3: Таджикский национальный университет, с.160-170.
15. Matveyeva I.V., Tuzova T.V. Methodical Features of Pretreatment of Water Samples

- of Mountain Rivers with Ultralow Concentration of Uranium for Alfa-Spectrometric Measurements // Vestnik of Tajik National University. – 2017. – № 1/2. – P. 151-158.
16. Matveyeva I., Tuzova T. и др. In-situ pre-concentrating of uranium isotopes on coal for alpha-spectrometric measurements (with approbation on water samples of mountain rivers), 4-th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. -2017.- P. 276-277.
 17. Tuzova T., Matveyeva I., Uralbekov B. Uranium isotopes in waters as radioecological indicator of genesis of waters and relative distribution of water resources of mountain rivers in Central Asia. 4-th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity, Berlin, Germany. -2017.- P. 237-238.
 18. Uralbekov B., Burkitbaev M., Satybaldiev B., Matveyeva I., Tuzova T., Snow D. Spatial and temporal variability of $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratios in the Shu River, Central Asia. // Environmental Earth Sciences, No 4, April 2014, pp. 3635-3642.
 19. Uranium-series disequilibrium, application to earth, marine and environmental sciences // Edited by Ivanovich M. and Harmon R.S.- Oxford: Clarendon Press. – 1992. – 910 p.
 20. 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.

PECULIARITIES OF WATER, THE ZONES OF FORMATION OF OUTFLOWS OF THE PAMIRO-ALAY AND PAMIR RIVERS BY NON-EQUILIBRIUM URANIUM

Tuzova T.V., Chontoev D.T.

Annotation: in continuation of the previously conducted studies of waters by the uranium-isotope method, the features of the formation of water resources of the Pamir-Alai and Gorny Badakhshan river basins are generalized. The study region was selected as a transboundary and potentially mudslide and avalanche-prone region for the Kyrgyz Republic (KR) and the Republic of Tajikistan (RT). The isotopic composition of uranium in the ice and waters of subglacial zones and in the main tributaries of the zones of formation of the flow of the basins of the Vakhsh and Gunt-Panj rivers is analyzed in detail. Differences in the uranium content and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratios in waters of three genetic types were revealed: atmospheric precipitation with an ultra-low uranium content and an equilibrium ratio of its isotopes; deep circulation waters in bedrock with a low uranium content, but the maximum deviation of the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio from the equilibrium and near-surface waters of the active water exchange zone enriched with uranium due to dissolution in contact with aquiferous destroyed rocks with a slight deviation of its isotopes from the equilibrium. The possibility of estimating the shares of these three types in the water supply of rivers according to the previously proposed isotope mixing equations is shown.

Keywords: river basins, runoff formation zones, Vakhsh, Panj, genesis of waters, ice, surface waters, groundwater, uranium, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

Сведения об авторе:

Тузова Тамара Васильевна- ведущий научный сотрудник, к.ф-м.н., старший научный сотрудник Института водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики. Адрес: 720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 533, тел.: (+996)555440910; E-mail: tuzova_tv@mail.ru

УДК: 551.465, 551.506, 574.52

**ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НИЗОВЬЯХ
Р. ДОН В УСЛОВИЯХ МАЛОВОДЬЯ**

**Титов В.В., Матишов Г.Г., Клещенко А.В.,
Григоренко, К.С., Московец А.В.**

*Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: vvtitov@yandex.ru*

Аннотация. Рассматриваются современные проблемы Азовского моря и р. Дон в условиях маловодья. Заметное сокращение притока пресной воды в Азовское море привело к увеличению поступления солоноватых вод в дельту Дона, что привело к изменениям гидрохимического, гидрологического и гидробиологического состояния водоёма. В связи с участившимися экстремальными сгонно-нагонными явлениями возникают многочисленные негативные процессы в регионе.

Ключевые слова: маловодье, сгонно-нагонные явления, осолонение, водный дефицит, экстремальные явления.

Северо-Восточное Приазовье и Нижний Дон являются регионом с достаточно большой плотностью населения, развитой системой коммуникаций и сельским хозяйством. Поэтому происходящие в последнее время процессы, как в самом Азовском море, так и в Таганрогском заливе и низовьях р. Дон вызывают целый ряд негативных явлений. Азовское море, являясь мелководным водоёмом, представляет собой чрезвычайно динамичный с точки зрения изменений температуры и солёности водоём. В отличие от Средиземного и Чёрного для Азовского моря характерна значительная пространственная неоднородность солёности. На участке в 320 км от дельты Дона до Керченского пролива концентрация солёности возрастает от 0,5–0,7 до 13–14 ‰. Для акватории вблизи дельты Кубани и Керченского пролива типичны вертикальная неоднородность и разница солёности порядка 3–8 ‰ между при-

донными и поверхностными слоями. Самый резкий фронтальный градиент солёности до 10 ‰ закономерно формируется в эстуарном Таганрогском заливе. Здесь на мелководном (до 9 м) отрезке в 140 км происходит сложное взаимодействие донских речных и трансформированных черноморских вод. Именно в заливе наиболее резко проявляются внутривековые, сезонные и ураганные сгонно-нагонные (погодные) вариации термохалинного режима [Матишов, 2015].

К числу важнейших факторов, определяющих гидрологическую и гидроэкологическую обстановку в устьевой области Дона, относятся сгонно-нагонные колебания уровня воды. Нагоны вызываются сильными западными ветрами (низовками), сгоны – восточными (верховками). Объём воды Азовского моря составляет, по разным оценкам, от 290 до 320 км³, что всего в 5–6 раз превышает суммарный годовой сток двух