

Изотопы урана в водах хвостохранилища рудника Каджи-Сай

¹Матвеева И.В.*, ¹Назаркулова Ш.Н.,
¹Уралбеков Б.М., ²Тузова Т.В.,
¹Аманова Г.Т., ³Мамбеталиев Э.Д.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
²Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан
³Центрально-Азиатский институт исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызстан
*E-mail: matveyeva.ilona@kaznu.kz

В работе представлены результаты определения изотопов урана в водных объектах региона Каджи-Сай, где расположен бывший урановый рудник, обогатительная фабрика и хвостохранилище с общим объемом 400000 м³. Определение изотопов урана проводилось альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой (соосаждение на гидроксиде железа, экстракция трибутилфосфатом и электроосаждение на диск из нержавеющей стали) на альфа-спектрометре фирмы «Canberra». На основании экспериментальных данных были рассчитаны соотношения урана-234 к урану-238, построена и изучена уран-изотопная диаграмма определения генетического состава вод. В ходе работы установлено три генетических типа вод: воды глубокой циркуляции, воды урановой аномалии, дренирующие хвостохранилище, и воды активного водообмена региона. Рассчитаны пропорции их смешения в исследованных водоисточниках. Установлено, что питьевые воды поселка Каджи-Сай лишь на 5-7% состоят из вод, обогащенных ураном, преимущественную часть (60-80%) составляют воды глубокой циркуляции.

Ключевые слова: Каджи-Сай; изотопы урана; рудник; уран-изотопное соотношение; генетический состав вод.

Қажы-Сай кеніші қалдық қоймасы суларындағы уран изотоптары

¹Матвеева И.В.*, ¹Назаркулова Ш.Н.,
¹Уралбеков Б.М., ²Тузова Т.В.,
¹Аманова Г.Т., ³Мамбеталиев Э.Д.

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан
²ҚР ҰҒА су мәселелері мен гидроэнергетикасы институты, Бишкек қ., Қырғызстан
³Жер зерттеулерінің Орталық-Азиялық институты, Бишкек қ., Қырғызстан
*E-mail: matveyeva.ilona@kaznu.kz

Жұмыста жалпы көлемі 400000 м³ болатын бұрынғы уран кеніші, байыту комбинаты және қалдық қоймасы орналасқан Қажы-Сай аймағының сулы нысандарында уран изотоптарын анықтау нәтижелері келтірілген. Уран изотоптарын анықтау алдын ала радиохимиялық дайындықты (темір гидроксидімен қоса тұндыру, трибутилфосфатпен экстракциялау және тот баспайтын болат дискіге электрлі тұндыру) қажет ететін альфа-спектрометриялық әдіспен «Canberra» фирмасының альфа-спектрометрінде жүргізілді. Тәжірибелік жұмыстардың нәтижелеріне сүйене отырып, уран-234 изотопының уран-238 изотопына қатынасы есептелді, сулардың генетикалық құрамын анықтаудың уран-изотопты диаграммасы тұрғызылып, зерттелді. Жұмыс барысында сулардың үш генетикалық типі: тереңдік айналмалы сулар, қалдық қойманы шайып өтуші уранды аномалия сулары және аймақтың белсенді су алмасу сулары анықталды. Зерттелетін су көздеріндегі араласу қатынастары есептелді. Қажы-Сай ауылындағы ауыз су құрамы тек 5-7% уранмен байытылған, ал қалған бөлігі тереңдік айналмалы сулардан (60-80%) тұратындығы анықталды.

Түйін сөздер: Қажы-Сай; уран изотоптары; кеніш; уран-изотопты қатынас; судың генетикалық құрамы.

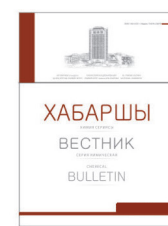
Isotopes of uranium in the waters of mine tailings Kadzhi-Sai

¹Matveyeva I.V.*, ¹Nazarkulova Sh.N.,
¹Uralbekov B.M., ²Tuzova T.V., ¹Amanova G.T.,
³Mambetaliyev E.D.

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
²Institute of Water Problems and Hydropower of National Academy of Sciences of Kyrgyzstan, Bishkek, Kyrgyzstan
³Central-Asian Institute of Research of the Earth, Bishkek, Kyrgyzstan
*E-mail: matveyeva.ilona@kaznu.kz

The paper presents the results of the determination of uranium isotopes in the water objects of the region Kadzhi-Sai, where former uranium mine, concentrating plant and tailing with a total volume of 400,000 m³ are located. Determination of uranium isotopes was done by alpha-spectrometry method with previous radiochemical preparation (coprecipitation on iron hydroxide, extraction with tributyl phosphate and electrodeposition on stainless steel disk) on alpha-spectrometer of «Canberra». On the basis of experimental data, the ratios of uranium-234 to uranium-238 were calculated, uranium isotope chart of determination of genetic composition of water were built and investigated. During the work three genetic types of waters were established: waters of deep circulation, waters of uranium anomalies draining tailing, and waters of active water exchange of the region. Their mixing proportions in the investigated water sources were calculated. It was found that drinking waters of Kadzhi-Sai village consist of only 5-7% of waters enriched by uranium; the major part (60-80%) is waters of deep circulation.

Keywords: Kadzhi-Sai; uranium isotopes; mine; uranium-isotope ratio; genetic composition of water.



Изотопы урана в водах хвостохранилища рудника Каджи-Сай

¹Матвеева И.В.*, ¹Назаркулова Ш.Н., ¹Уралбеков Б.М., ²Тузова Т.В.,
¹Аманова Г.Т., ³Мамбеталиев Э.Д.

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

²Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

³Центрально-Азиатский институт исследований Земли, г. Бишкек, Кыргызстан

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

1. Введение

В 50-70-х годах прошлого века на руднике, расположенном на северном берегу озера Иссык-Куль (рисунок 1), добывались ураноносные бурые угли, после сжигания которых из золы извлекали оксид урана на обогатительной фабрике, расположенной в непосредственной близости от места добычи угля [1].

Отходы производства сбрасывались в хвостохранилище, расположенное севернее рудника в русле ручья Джилу-Булак, которое большую часть года сухое. В настоящее время рудник закрыт, а хвостохранилище засыпано нерадиоактивными материалами толщиной от 2 до 19 м. В 2000-2005 гг. в районе хвостохранилища велись наблюдения за выносом урана прибрежными водами в озеро Иссык-Куль по Европейскому проекту (APELIK) «Оценка и прогноз изменений окружающей среды в озере Иссык-Куль» (2000-2003 гг.) и по проекту МНТЦ КР.330.3 «Изучение водного баланса и гидродинамики озера Иссык-Куль изотопными методами» (2003-2005 гг.) [2-5]. По результатам этих исследований было сделано заключение, что хвостохранилище непосредственной экологической опасности не представляет [3-5]. Однако под влиянием природных и антропогенных воздействий происходит его разрушение, и в будущем нельзя исключить вынос природными водами растворимых остаточных радионуклидов за пределы зоны их хранения.

В районе месторождения ураноносных бурых углей и обогатительной фабрики Каджи-Сай авторами [2, 5] выделены три типа радиоактивных аномалий, четко различающихся по радий-урановым отношениям.

Одна из аномалий имеет естественную природу и

связана с ураноносными углями, в которых соотношение радия к урану близко к равновесному. Уран в этом угле распределен очень неравномерно: наряду с высоким содержанием (до 0,1-0,4 %) встречаются слабо обогащенные ураном прослойки (менее 100 г/т). В настоящее время вокруг закрытой шахты и законсервированной промышленной площадки остались куски угля с высоким содержанием урана [5].

Две других радиоактивных аномалии имеют техногенную природу, их источниками являются отходы технологических процессов по извлечению урана из углей. Они характеризуются резкими нарушениями равновесия между ²³⁸U и продуктами его распада, в частности, значительным избытком ²²⁶Ra. Материал аномалии второго типа, наибольший по объему и несущий наивысшую экологическую опасность, представляет собой золу, оставшуюся после сжигания угля и извлечения из нее урана. Это тонкозернистый материал серого цвета, разносимый ветром и водами, включающий в себя муллит (продукт высокотемпературной обработки алюмосиликатного вещества) [2, 5].

Аномалия третьего типа обнаруживается в цепочке бывших отстойников, расположенных ниже хвостохранилища. В противоположность аномалии второго типа в отстойниках активность урана выше, чем радия.

Ранее проведенные исследования распределения радиоактивных изотопов по пути возможного поступления отходов из хвостохранилища далее по руслу Джилу-Булак в озеро Иссык-Куль показали, что за все время существования хвостохранилища вынос радионуклидов из мест захоронения был незначительным [2-5]. Тем не менее, в ходе исследований радионуклидного состава прибрежных

донных осадков был установлен факт поступления радиоактивных отходов в озеро Иссык-Куль. Обнаруженное у южного побережья в районе впадения ручья Джилу-Булак загрязнение по радий-урановому отношению соответствует береговой аномалии второго «радиевого» типа, связанное с выносом в озеро золы. Вероятно, зола была вынесена из района ее захоронения еще до консервации хвостохранилища. Характер вертикального распределения радионуклидов в различных колонках осадков говорит об их единовременном поступлении в озеро. Каких-либо свидетельств многократного поступления радиоактивных отходов в озеро не было обнаружено [2, 5].

Ручей Джилу-Булак берет начало из плотины Каджи-Сайского хвостохранилища и теряется в пролювиальных отложениях в 50-100 м от истока и в 1,0 – 1,5 км от озера Иссык-Куль. Детальные исследования ручья были выполнены проф. В.Е. Матыченковым с сотрудниками [2-5]. Здесь в течение ряда лет ежемесячно (2000-2003 гг.), либо поквартально (2003-2005 гг.) выполнялись измерения расходов воды в ручье и отборы проб воды на содержание урана [3-5]. По результатам этих исследований было установлено [3, 4], что подрусловой сток в долине Джилу-Булак отсутствует, а поступление урана из ручья в озеро Иссык-Куль составляет не более 14,5 кг/год. При запасах урана в воде озера Иссык-Куль около 90 тысяч тонн такая величина годового стока урана представляет ничтожную величину: годовой сток урана из ручья Джилу-Булак составляет лишь $1,68 \cdot 10^{-7}$ от содержания урана в озере Иссык-Куль. Если же учесть, что ручей Джилу-Булак доносит свои воды до озера Иссык-Куль лишь эпизодически при ливневых дождях, то эта доля должна быть еще ниже.

Однако в настоящее время, несмотря на то, что угольная шахта закрыта, население пгт Каджи-Сай продолжает добывать уголь и использует его для отопления. Самая высокая радиоактивность характерна для рыхлых разновидностей угля, но именно такой уголь в основном используется населением. Зола от сжигаемого угля рассеивается на приусадебных участках вблизи жилых домов, что представляет большую опасность для здоровья людей.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы является изучение радиологического состояния вод региона по прошествии 10 лет после предыдущих исследований и установление их генетического состава методом неравновесного урана.

2. Эксперимент

Изучен изотопный состав урана в водах разного генезиса в регионе Каджи-Сая (рисунок 1, таблица 1). В июле 2014 г. были отобраны пробы вод, выклинивающихся из-под наносов в истоках ручья Джилу-Булак – фактически из хвостохранилища (пробы 2-6). Для сравнения в то же время (14-17.07.2014 г.) опробованы

водопроводные питьевые воды двух водозаборов пгт Каджи-Сай (пробы 7 и 8), воды термальной скважины, пробуренной в пгт Каджи-Сай и вскрывающей выходы глубинных вод (проба 9), а также воды реки Шу – крупнейшей реки региона (проба 1) и воды пресного озера Каракуль в 10 км восточнее хвостохранилища (проба 10).

Определение содержания изотопов урана в исследуемых водных объектах проводилось альфа-спектрометрическим методом после радиохимической подготовки (соосаждение изотопов урана на гидроксиде железа, экстракция трибутилфосфатом и электролитическое осаждение на стальной диск). Измерения осуществлялись на 8-камерном альфа-спектрометре фирмы «Canberra» (Alpha Analyst, Canberra 7404) [6]. Альфа-спектры обрабатывались с использованием пакета программного обеспечения «Genie-2000».

Погрешности определения изотопного состава урана рассчитывались по статистике зарегистрированных при измерениях импульсов.

Если изученные воды представляют собой смесь вод либо двух, либо трех источников, то их доли можно рассчитать по формулам изотопного смешения [7, 8]. При смешении вод двух источников, их доли V_1 и V_2 находили по формулам:

$$V_1 = \frac{C - C_2}{C_1 - C_2} V_1 = \frac{C - C_2}{C_1 - C_2} \quad (1)$$

$$V_1 = \frac{\gamma C - \gamma_2 C_2}{\gamma_1 C_1 - \gamma_2 C_2} V_1 = \frac{\gamma C - \gamma_2 C_2}{\gamma_1 C_1 - \gamma_2 C_2} \quad (2)$$

$$V_2 = 1 - V_1$$

Для вод, представляющих собой смесь трех типов, доля каждого рассчитывали по более сложным формулам, выведенным из следующих соотношений:

$$V_1 + V_2 + V_3 = 1$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1$$

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

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

$$V_2 = \frac{\gamma C(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C - C_1) + \gamma_1 C_1(C_3 - C)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)} \quad (4)$$

$$V_3 = \frac{\gamma C(C_2 - C_1) + \gamma_3 C_3(C - C_2) + \gamma_1 C_1(C_1 - C)}{\gamma_1 C_1(C_3 - C_2) + \gamma_2 C_2(C_1 - C_3) + \gamma_3 C_3(C_2 - C_1)} \quad (5)$$

3. Результаты и обсуждение

Полученные результаты определения изотопов урана в опробованных источниках вод сведены в таблице 1 и приведены на рисунках 2 – 4.

Карта-схема отбора проб воды в пгт.Каджи-Сай и прилегающей агломерации

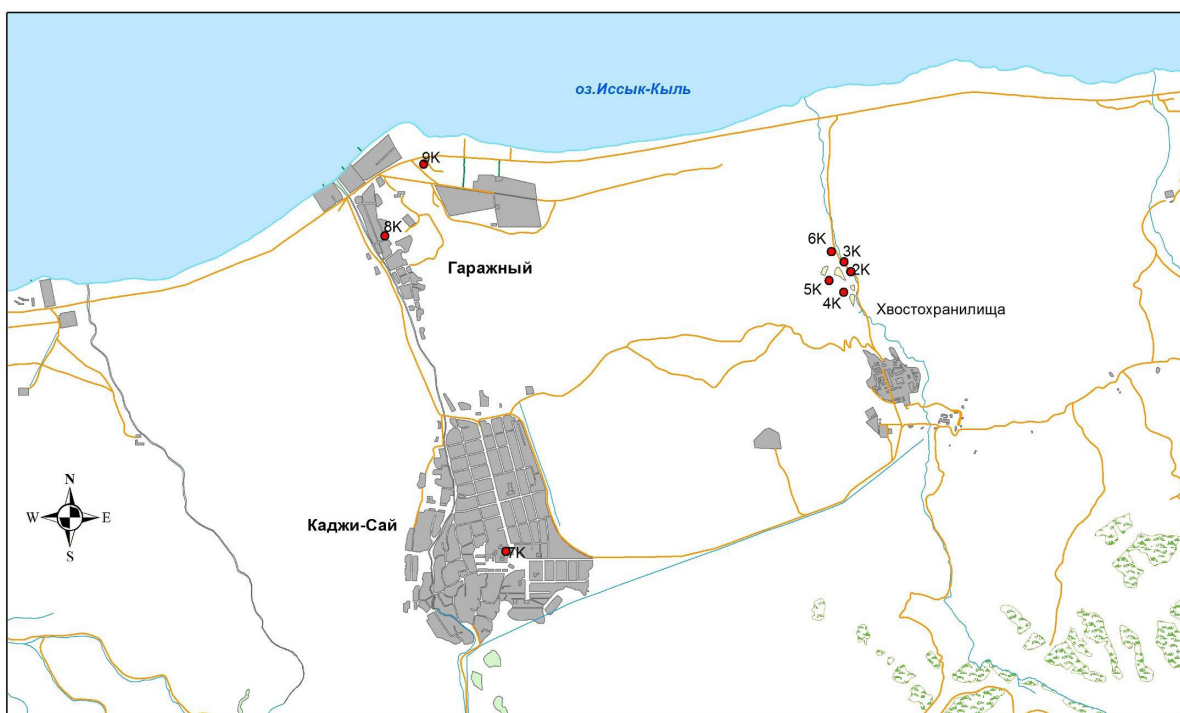


Рисунок 1 – Карта-схема отбора проб воды в пгт. Каджи-Сай и прилегающей агломерации:

● – места отбора проб

Таблица 1 – Изотопы урана в воде в районе пгт. Каджи-Сай

Код проб	Место опробования	^{238}U , Бк/л	^{234}U , Бк/л	C_u , мкг/л	$\gamma = ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	γC
1	р. Шу перед Орто-Токойским вдхр.	0,123±0,009	0,20±0,01	10±1	1,63±0,02	16,3±1,2
2	Выклинивание из-под бетонного заграждения южнее отстойника	1,91±0,06	3,01±0,06	155±4	1,58±0,07	244±5
3	Выклинивание из-под наносов юго-вост. бетонного заграждения	2,5±0,1	2,6±0,1	202±8	1,05±0,05	212±10
4	Вост. исток Джилу-Булак	1,22±0,05	1,87±0,06	98±4	1,54±0,09	151±5
5	Зап. исток Джилу-Булак	1,22±0,07	2,14±0,08	99±5	1,75±0,12	173±8
6	Выход из отстойника-накопителя	1,18±0,06	2,03±0,07	95±5	1,72±0,11	163±7
7	Южн. водозабор Каджи-Сая	0,38±0,02	0,75±0,02	31±1	1,99±0,15	62±2
8	Сев. (гаражный) водозабор Каджи-Сая	0,58±0,03	1,42±0,04	47±2	2,45±0,18	115±5
9	Термальная скв. Каджи-Сая	0,013±0,001	0,038±0,002	1,1±0,1	2,92±0,20	2,92±0,30
10	Оз. Каракуль, южное	0,71±0,04	0,90±0,04	57±3	1,27±0,12	72±4
11	Воды активного водообмена	н.д.	н.д.	110	2,5	275

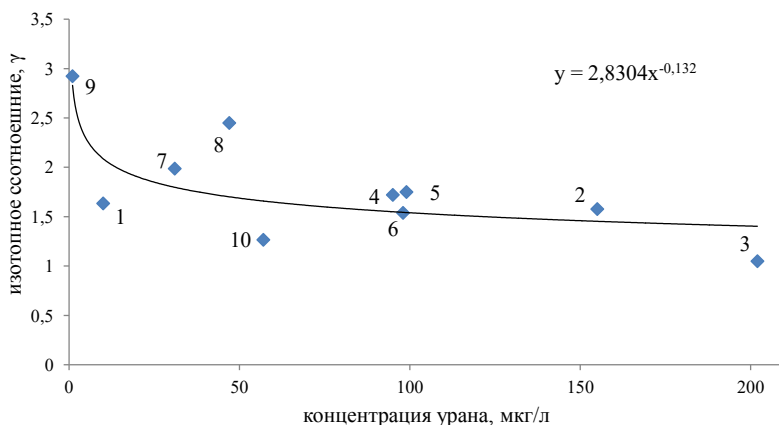


Рисунок 2 – Зависимость отношения $\gamma = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ от общего содержания урана в водах южного побережья озера Иссык-Куль

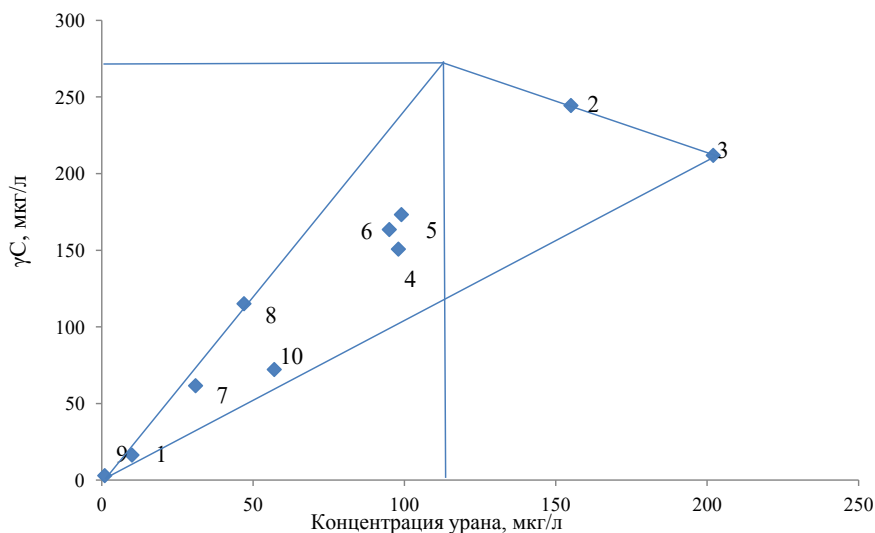


Рисунок 3 – Уран-изотопная диаграмма определения генетического состава вод в районе Каджи-Сая

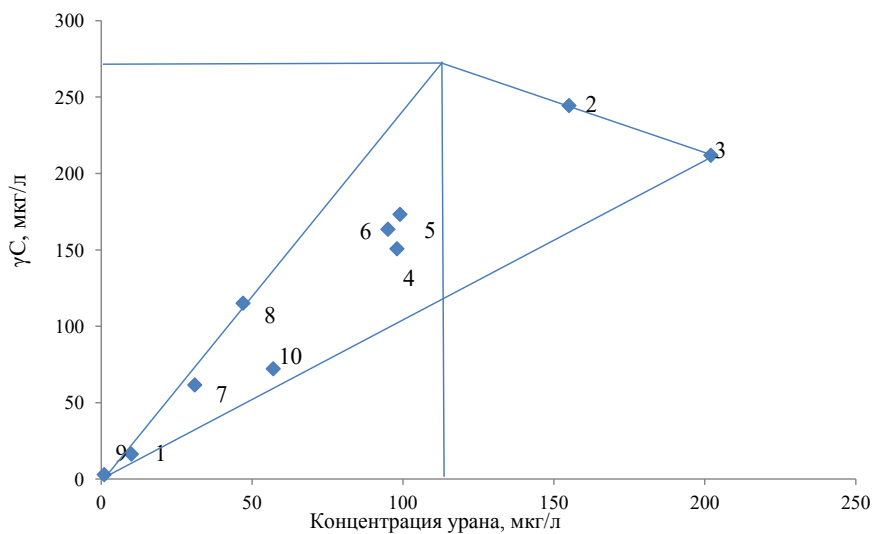


Рисунок 4 – Логарифмическая зависимость γC от C для вод Каджи-Сая

Содержание урана в ручье Джилу-Булак и в отстойнике-накопителе (пробы 4, 5, 6) не отличается от найденных ранее концентраций [2-5]. Но в выходах вод непосредственно из-под заграждений хвостохранилища (пробы 2 и 3) содержание в 1,5 - 2 раза выше. Видимо, при формировании ручья имеет место приток незагрязненных ураном вод.

Из рисунка 2 видно, что в опробованных водоисточниках явно прослеживается обратная зависимость между избытком ^{234}U (γ) и содержанием урана (С) в водах района Каджи-Сай. Подобная зависимость была установлена ранее для уранового рудника Кордай [9, 10], низовий бассейна реки Шу [11, 12] и является обычной для районов с урановыми аномалиями [7].

Для выяснения генетического состава вод района Каджи-Сай построены уран-изотопные диаграммы зависимости γC от С в линейном (рисунок 3) и логарифмическом (рисунок 4) масштабах.

Из этих диаграмм видно, что исследованные воды по уран-изотопным показателям укладываются в треугольник, в вершинах которого находятся источники трех генетических типов вод:

I – воды глубинной циркуляции (термальная скважина, проба 9) с ультранизким содержанием урана и максимальным изотопным сдвигом;

II – воды урановой аномалии, дренирующие хвостохранилище, с максимальным содержанием урана и близким к равновесию соотношением γ (проба 3);

III – воды активного водообмена региона, уран-

изотопные параметры которых можно определить экстраполяцией по координатам третьей вершины треугольника ($\gamma\text{C}=270$; $\text{C}=110$ мкг/л).

В таблице 2 приведены результаты расчетов по формулам (1-5) долей вод трех типов в водоисточниках Каджи-Сая.

Из приведенных результатов видно, что воды ручья Джилу-Булак не менее чем на 1/3 обогащены ураном хвостохранилища Каджи-Сай и примерно по 1/3 в них содержатся воды глубинной циркуляции и активного водообмена. В питьевых водах пгт Каджи-Сай обогащенных ураном вод не более 5-7%, в основном (60-80%) это воды глубинной циркуляции. Воды озера Каракуль (проба 10) тоже формируются в основном (до 70%) за счет выклинивания вод глубинной циркуляции, но до 25% в него попадают воды, обогащенные ураном. Это говорит о том, что подземные воды региона, используемые для хозяйственной деятельности, не подвержены радиологическому загрязнению хвостохранилищем.

Следует отметить повышенное содержание урана в пресных водах озера Каракуль, которое может быть связано с привнесом обогащенных ураном вод из-под хвостохранилища. Однако для окончательного ответа на этот вопрос необходима постановка дополнительных исследований в регионе.

Интересно, что и воды реки Шу, хоть и формируются гораздо западнее исследованного района, но по уран-изотопным параметрам близки к водам глубинных разломов данного региона.

Таблица 2 – Генетический состав вод в районе пгт Каджи-Сай (%)

Шифр проб	Место опробования	I	II	III
1	р. Шу перед Орто-Токойским вдхр.	94 ± 5	≤ 3	≤ 3
2	Выклинивание из-под бетонного заграждения южнее отстойника	0	52 ± 2	48 ± 2
3	Выклинивание из-под наносов юго-вост. бетонного заграждения	0	100	0
4	Вост. исток Джилу-Булак	35 ± 5	35 ± 5	30 ± 5
5	Зап. исток Джилу-Булак	33 ± 5	29 ± 4	38 ± 6
6	Выход из отстойника-накопителя	35 ± 5	29 ± 4	36 ± 6
7	Южн. водозабор водопровода Каджи-Сая	77 ± 7	≤ 7	16 ± 6
8	Сев. (гаражный) водозабор водопровода Каджи-Сая	58 ± 6	≤ 5	37 ± 5
9	Термальная скв. Каджи-Сая	100	0	0
10	Оз. Каракуль, южное	69 ± 7	25 ± 3	≤ 6
11	Воды активного водообмена	0	0	100

Данные по оценке долей вод разных типов для данного региона получены впервые. Следует наладить в этом регионе режимные уран-изотопные наблюдения для изучения изменений в соотношении вод разных типов в зависимости от климатических изменений и антропогенного воздействия.

4. Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований:

- обнаружено обогащение ураном вод, выходящих из-под хвостохранилища в 1,5-2 раза по сравнению с концентрациями, зафиксированными десятилетие назад, однако дебит этих вод ничтожен; они фактически испаряются в отстойнике, отгороженном дамбой, и не попадают в прибрежную зону Иссык-Куля;
- по соотношению $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и общему содержанию урана выделено 3 генетических типа вод и рассчитаны

пропорции их смешения в исследованных водоисточниках;

- установлено, что питьевые воды пгт Каджи-Сай преимущественно состоят из вод глубинной циркуляции (60-80%) и не подвержены радиологическому загрязнению;
- рекомендовано продолжение уран-изотопных исследований для оценки радиационной опасности мигрирующего из хвостохранилищ урана, построения радиологической карты сопредельных с отстойником территорий, в частности, выяснения вопроса о причинах повышенных концентраций урана в водах пресного озера Кара-Куль;
- показаны перспективы использования метода неравновесного урана для изучения генезиса подземных и поверхностных вод, расчета пропорций смешения вод разных типов и оценки радиологического состояния водных объектов.

Список литературы

- 1 Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энцикл., 1970-1981. – 30 т.
- 2 Матыченков В.Е., Тыныбеков А.К. Гидрохимическая и экологическая характеристика состава воды рек Южного Прииссыккуля // Тр. Кыргызского института минерального сырья. – Бишкек, 2000. – С.101-110.
- 3 Самсонова А.А., Зубков Э.Б., Мамбеталиев Э.Дж. Результаты режимных наблюдений за содержанием урана в подземных водах в долине Джилу-Булак // Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов / Отв. ред. Т.В. Тузова. – Бишкек: Илим, 2005. – Часть I. – С.152-159.
- 4 Samsonova A.A., Zubkov E.B., Mambetaliev E.Dj., Matychenkova M.V. Uranium Content in Underground Waters of Djilu-Bulak Valley // Study of the Issik-Kul Lake Hydrodynamics with the Use of Isotopic Methods. – Bishkek: Ilim, 2006. – Part II. – P.116-123.
- 5 Романовский В., Маматканов Д. и др. Все об озере Иссык-Куль // Энциклопедический справочник по озеру и котловине в вопросах и ответах / Отв. ред. Т.В. Тузова. – Бишкек: ИВПиГЭ НАН КР, 2014. – С.162-164.
- 6 Инструкция № 381–ЯФ «Методика выполнения измерений объемной активности изотопов урана (234, 238) в пробах природных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимическим выделением». - М., 1999. – 15 с.
- 7 Уралбеков Б.М., Буркитбаев М.М., Маматканов Д., Матвеева И.В., Сатыбалдиев Б.С., Тузова Т.В. 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.
- 8 Uralbekov B., Burkitbayev 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. – 2014. – Is.4. – P.148-155.
- 9 Чалов П.И., Васильев И.А., Толстихин Г.М. и др. Содержание, изотопный состав и пространственное распределение основных радиоэлементов уранового ряда в подземных водах Кара-Балтинской площади // Радиозэкологические и смежные проблемы уранового производства. Бишкек: Илим, 2000. – С.36-47.
- 10 Буркитбаев М.М., Уралбеков Б.М., Стегнар П., Шишков И.А., Матвеева И.В. Содержание и изотопный состав основных радионуклидов уранового ряда в водных объектах месторождения Кордай // Химический журнал Казахстана. – 2007. – №3(17). – С.44-78.
- 11 Uralbekov B., B. Smodiš and M. Burkitbayev. Uranium in natural waters sampled within former uranium mining sites in Kazakhstan and Kyrgyzstan // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2006. – Vol.289 (3). – P.805-811.
- 12 Burkitbayev M., Uralbekov B., Nazarkulova Sh., Matveyeva I., León L.V. Uranium series radionuclides in surface waters from the Shu river (Kazakhstan) // Journal of Environmental Monitoring. – 2012. – Vol.14. – P.1190-1195.

References

- 1 (1970-1981) Great Soviet Encyclopedia [Bolshaya Sovetskaya Encyclopedia]. Sovetskaya Encyclopedia, Moscow, Russia. 30 volumes. (In Russian)
- 2 Matychenkov VE, Tynybekov AK (2000) Hydrochemical and ecological characteristics of the composition of the water of the

- rivers of Southern Issyk-Kul region [Gidrohimicheskaja i jekologicheskaja harakteristika sostava vody rek Juzhnogo Priissykkul'ja]. Abstracts of Kyrgyz Institute of mineral raw materials, Bishkek, Kyrgyzstan. P.101-110. (In Russian)
- 3 Samsonova AA, Zubkov EB, Mambetaliev EDj (2005) The results of regime observations of uranium content in groundwater in the valley Djilu-Bulak [Rezul'taty rezhimnyh nabljudenij za sodержaniem urana v podzemnyh vodah v doline Dzhilu-Bulak]. Chapter in: The study of the hydrodynamics of Issyk-Kul Lake with the usage of isotope techniques, Ilim, Bishkek, Kyrgyzstan. Part I. P.152-159. (In Russian)
- 4 Samsonova AA, Zubkov EB, Mambetaliev EDj, Matychenkova MV (2006) Uranium Content in Underground Waters of Djilu-Bulak Valley. Chapter in: Study of the Issik-Kul Lake Hydrodynamics with the Use of Isotopic Methods. Ilim, Bishkek, Kyrgyzstan. Part II. P.116-123.
- 5 Romanovsky V, Mamatkanov D et al. (2014) All about Issyk-Kul Lake [Vse ob ozere Issyk-Kul']. Chapter in: Encyclopedic Handbook of the lake and basin in questions and answers, IVPiGJe NAN KR, Bishkek, Kyrgyzstan. P.162-164. (In Russian)
- 6 (1999) 381–NPh. Methods of measurement of volume activity of uranium isotopes (234, 238) in natural water samples by alpha spectrometry with radiochemical separation [381–JaF Metodika vypolnenija izmerenij ob'emnoj aktivnosti izotopov urana (234, 238) v probah prirodnyh vod al'fa-spektrometricheskim metodom s radiohimicheskim vydeleniem]. Moscow, Russia. (In Russian)
- 7 Uralbekov BM, Burkitbayev MM, Mamatkanov D, Matveyeva IV, Satybaldyev BS, Tuzova TV (2013) Uranium isotopes in the waters of Chu basin [Izotopy urana v vodah bassejna r.Chu]. Materials of the 4th International Conference "Radioactivity and radioactive elements in the human environment", Tomsk, Russia. P.535-537. (In Russian)
- 8 Uralbekov B, Burkitbaev M, Satybaldiev B, Matveyeva I, Tuzova T, Snow D (2014) Environmental Earth Sciences 4:148-155. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-014-3274-x>
- 9 Chalov PI, Vasiliev IA, Tolstikhin GM et al (2000) The content, isotopic composition and spatial distribution of the main radioactive uranium series in groundwater areas of Kara-Balta [Soderzhanie, izotopnyj sostav i prostranstvennoe raspredelenie osnovnyh radiojelementov uranovogo rjada v podzemnyh vodah Kara-Baltinskoj ploshhadi]. Chapter in: Radiological and associated problems of uranium production. Ilim, Bishkek, Kyrgyzstan. P.36-47. (In Russian)
- 10 Burkitbayev MM, Uralbekov BM, Stegnar P, Shishkov IA, Matveyeva IV (2007) Chemical Journal of Kazakhstan [Himicheskij zhurnal Kazahstana] 3:44-78. (In Russian)
- 11 Uralbekov B, Smodiš B and Burkitbayev M (2011) Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 289(3):805-810. <http://dx.doi.org/10.1007/s10967-011-1154-3>
- 12 Burkitbayev M, Uralbekov B, Nazarkulova Sh, Matveyeva I, León LV (2012) Journal of Environmental Monitoring 14:1190-1195. <http://dx.doi.org/10.1039/c2em11014h>