

УДК 556.535.8(575.3):546.791.027

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ
В ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА**

Д.А. Абдушукуров, Д. Абдусамадзода, А.А. Джураев, З.В. Кобулиев

В бассейне реки Варзоб выявлены две зоны с аномально высокой концентрацией радиоактивных изотопов в составе донных отложений рек и прибрежных почвах, это: ущелье реки Оджук и вход в ущелье Сиома. Получено распределение содержаний природных и техногенных радиоактивных изотопов в составе прибрежной почвы и донных отложениях реки Варзоб и ее притоков. Выявлены два максимума в распределении урана и тория – один в районе ручья Оджук (выше ПГТ Варзоб), и второй в начале р. Сиома. Отмечено высокое содержание радиоактивного изотопа Cs-137 в составе почвы в ущелье реки Сиома. Отмеченные загрязнения значительно превышают средний уровень аналогичных загрязнений в регионе Центральной Азии. Впервые на экспериментальном уровне зарегистрировано явление концентрирования горными ущельями загрязнений, переносимых воздушными аэрозолями.

Ключевые слова: река Варзоб; торий; уран; изотопы ториевого и урановых рядов; радон; цезий-137.

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ
В ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ РАЙОНАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТАДЖИКИСТАНА**

Варзоб дарьясынын бассейнинде дарьянын түбүндөгү тунмасынын курамында жана дарьянын жээгиндеги жер кыртышында аномалдуу жогорку концентрациядагы эки зона аныкталган: Оджук дарьясынын капчыгайы жана Сиома капчыгайынын кире бериши. Варзоб дарьясынын жана анын куймаларынын жээгиндеги жер кыртышынын жана түбүндөгү тунмасынын курамында табигый жана техногендик радиоактивдүү изотоптор алынган. Эки максималдуу деңгээлдеги уран жана торий аныкталган – биринчиси Оджук суусунун аймагында (Варзобдон жогору), экинчиси Сиом дарьясынын башталышында. Сиом дарьясына жакын капчыгайда жер кыртышынын курамында Cs-137 радиоактивдүү изотоптун жогорку өлчөмү аныкталган. Мындай булгануулар Борбордук Азия аймагындагы ушуга окшогон булгануулардын орточо деңгээлинен бир кыйла жогору. Биринчи жолу эксперименталдык деңгээлде тоо капчыгайларынын аба аэрозолдору алып жүрүүчү булганууларды топтоо мүмкүнчүлүгү катталды.

Түйүндүү сөздөр: Варзоб дарьясы; торий; уран; торий жана уран катарларынын изотоптору; радон; цезий-137.

**FEATURES OF THE DISTRIBUTION OF RADIOACTIVE ISOTOPES IN THE MOUNTAIN
AND PIEDMONT REGIONS OF CENTRAL TAJIKISTAN**

D.A. Abdushukurov, D. Abdusamadzoda, A.A. Djuraev, Z.V. Kobuliev

In the Varzob river basin two zones with an abnormally high concentration of radioactive isotope, in the composition of bottom sediments of river and coastal soils, were identified this is: a gorge of the Odjuk River and entrance to the gorge of Sioma river. Distribution of content of natural and technogenic radioactive isotopes as a part of the coastal soil and ground deposits of the Varzob river and its inflows is received. Two maxima in distribution of uranium and thorium – one around a stream of Odzhug (UTS Varzob is higher), and the second at the beginning of the Sioma river are revealed. High content of radioactive Cs-137 isotope as a part of the soil in the gorge of the Sioma river is noted. Noted pollution considerably exceed the average level of similar pollution in the region of Central Asia. For the first time at the experimental level the phenomenon of concoction by mountain gorges of the pollution transferred by air aerosols is registered.

Keywords: Varzob river; thorium; uranium; isotopes of thorium and uranium series; radon; cesium-137.

Во время проведения эксперимента НАВРУЗ зобском ущелье Центрального Таджикистана, [1–5] в одной из наблюдательных точек в Вар- в пробах почвы была обнаружена повышенная

концентрация техногенного изотопа цезий-137. Активность цезия превышала более чем в 4 раза максимальные значения активности образцов, собранных по всей Центральной Азии. Так как изотоп является техногенным, то специалисты из Сандийской национальной лаборатории США выдвинули предположение, что в Варзобском ущелье действует предприятие ядерно-топливного цикла.

Специалисты-ядерщики приступили к изучению этого феномена. В ходе дискуссий было выработано несколько гипотез. Первая гипотеза была связана с возможностью несанкционированного владения урановым топливом, бывшем в эксплуатации. Вторая, менее вероятная гипотеза была связана с возможностью существования природного ядерного реактора, по типу Оклон (Габон, Африка), который подогревает горячий радоновый источник Ходжи Оби Гарма. Для проверки этих гипотез и поиска источника загрязнений были отобраны образцы донных отложений и прилегающих почв со всех боковых притоков реки Варзоб. Специально были отобраны образцы донных осадков со всех термальных источников Ходжи Оби Гарма.

Разработка гипотез продолжалась до тех пор, пока исследователям на глаза не попался отчет дозиметрической службы Института ядерной физики г. Ташкента. Дозиметрическая служба осуществляет мониторинг содержания радионуклидов в составе атмосферного воздуха. После Чернобыльской аварии 1986 г. было зафиксировано многократное увеличение активности воздуха. Впоследствии регистрировалось повышение активности после каждого подземного испытания ядерных бомб, произведенных в сопредельных странах (Китае, Индии и Пакистане).

Стало ясно, что основными источниками образования цезия-137 были ядерные инциденты и испытания ядерных бомб, а основным путем распространения – воздушный. Для более детального изучения этого феномена были проведены дополнительные изыскания, результаты которых представлены в настоящей работе.

Краткое описание водного бассейна реки Варзоб. Как и большинство рек Таджикистана, река Варзоб в основном питается притоками, берущими начало высоко в горах, собирая дождевую и талую воду с больших и малых площадей водосбора с горным рельефом, на различных высотах, со смешанным питанием: ледниково-снеговым или снегово-ледниково-вым. Качество воды относится к 1–2 классу чистоты [6].

Бассейн реки Варзоб в геологическом отношении относится к Южногиссарской структурно-формационной зоне Центрального Таджикистана (Южный Тянь-Шань). Бассейн реки отчетливо разделен

на две части: многофазный Гиссарский батолит, сложенный различными гранитоидами среднекаменноугольного-раннепермского возраста и местами прорванный раннемезозойскими дайками лампрофиров и трубками взрывов со щелочными базальтами. Южнее, при выходе в долину, расположена Таджикская депрессия, представляющая собой зону накопления осадочных пород мезозой-кайнозойского возраста – континентальных и прибрежно-морских, терригенных и хемогенных, иногда угленосных, соленосных и гипсоносных пород, которые интенсивно деформированы во время коллизии альпийского цикла при взаимодействии Индо-Азиатских плитных систем, продолжающихся и поныне. Памир и Южный Тянь-Шань (как выражение крайних точек соприкосновения плитных систем) являются обрамлением депрессии, поставляя в нее громадное количество обломочного материала при эрозии пограничных высокогорных сооружений [7].

Проходящий поперек бассейна Ходжа-Оби-гармский геологический разлом делит район на две подзоны, отличающиеся в геохимическом отношении.

В верховьях ручьев Оджуг и Оби Чаппа, впадающих в реку Варзоб, имеется крупное (27,5 км) пегматитовое поле с одноименным названием [8]. Пегматиты Оджукского поля характеризуются повышенным содержанием урана и тория в составе редкоземельных акцессорных минералов типа самарскита, гадолинита и т. п. (рисунок 1). Смыв таких разрушенных минералов приводит к радиоактивному загрязнению воды и донных отложений реки Варзоб.

Методика эксперимента. В ходе выполнения эксперимента были отобраны образцы донных отложений и прилегающих почв вдоль реки Варзоб. Методика отбора образцов более подробно описана в работах [9]. В лабораторных условиях отобранные образцы были высушены, размолоты и взвешены.

Для эксперимента была выбрана 21 точка отбора образцов. При этом точки от Tj23 до Tj1 были выбраны в горах, а точки от Tj48 до Tj2 в – равнинной части долины.

Альфа- и бета-активность образцов измерялась при помощи радиометров, гамма-спектрометрию проводили с использованием гамма-спектрометра высокого разрешения с использованием сосуда Маринели объемом 500 см³ на коаксиальном Ge детекторе (XtRa) GX-1020 с помощью многоканального анализатора DSA-1000 под управлением программного обеспечения Genie-2000 фирмы Канбера [10].

Элементный анализ концентрации урана и тория в образцах проводился при помощи

Таблица 1 – Активность образцов донных отложений рек (Бк/кг), концентрации тория и урана (мкг/г), отношение концентрации тория к урану

№ п/п	Навруз	β-активность	α-активность	Pb-214	Bi-214	Pb-210	Pb-212	Bi-212	K-40	Cs-137	Th (мкг/г)	U (мкг/г)	Th/U
1	Tj23	385	215	32	28	Нд	20	27	420	Нд	4,7	2,4	2
2	Tj24	418	472	35	33	Нд	27	48	520	Нд	7,6	2,7	2,8
3	Tj65	590	725	30	28	22	32	37	635	1,6	7	2,3	3
4	Tj25	1345	1846	103	88	69	165	177	1099	8,7	34,6	7,7	4,5
5	Tj26	717	472	55	52	Нд	46	91	980	Нд	13,8	4,3	3,2
6	Tj27	572	429	47	43	Нд	83	91	740	Нд	17,6	3,6	4,8
7	Tj50	723	429	28	31	40	52	52	661	2	10,5	2,4	4,4
8	Tj28	1064	993	49	47	46	78	97	872	1,8	17,7	3,9	4,6
9	Tj29	1619	2623	58	59	70	174	172	1130	4,4	35	4,7	7,4
10	Tj30	1829	2811	104	Нд	116	202	224	1241	11,9	43	8,7	5
11	Tj46	2132	1800	128	147	112	425	452	1228	5,3	88,5	11,1	7,9
12	Tj47	1320	1200	60	67	49	130	127	1344	5,4	25,9	5,1	5
13	Tj1	987	847	68	68	58	109	117	862	2,4	22,8	5,5	4,2
14	Tj48	454	258	21	18	22	29	27	469	1,9	5,6	1,6	3,6
15	Tj49	835	300	46	46	53	91	94	782	1,6	18,7	3,7	5
16	Tj60	730	687	33	31	29	37	41	656	3	7,9	2,6	3,1
17	Tj61	674	343	35	34	49	45	52	585	3,3	9,8	2,8	3,5
18	Tj62	733	515	34	34	43	44	56	690	2,9	10	2,7	3,7
19	Tj64	590	725	30	28	22	32	37	635	1,6	7	2,3	3
20	Tj2	939	635	54	53	55	97	113	831	1,6	21,2	4,3	4,9

Примечание. Нд – нет данных.



Рисунок 1 – Альфа- и бета-активность образцов донных отложений рек (слева по оси абсцисс верховья долины, справа низовья)



Рисунок 2 – Активность К-40 и суммарная бета-активности образцов

нейтронно-активационного анализа, проведенного в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан, г. Улугбек [2–5].

Результаты эксперимента. В таблице 1 приведены результаты анализов донных отложений – активности изотопов (Бк/кг), и концентрации тория и урана (мкг/г). На рисунке 1 показана суммарная α- и β-активность образцов донных отложений, хорошо видны два пика активности образцов

в точках отбора: Сиома, Оби Чаппа и Оджук. Альфа-активность образцов в этих точках выше бета-активности, хотя в долиненной части реки активности примерно равны. Альфа- и бета-активность донных отложений показала неплохую математическую корреляцию $r^2 = 0.88$. В долиненной части корреляция выше.

Проведено исследование состава бета-излучения образцов донных отложений. На



Рисунок 3 – Распределение активностей измеренных изотопов в образцах донных отложений



Рисунок 4 – Концентрации тория и урана в образцах донных отложений

Таблица 2 – Активность образцов прибрежных почв (Бк/кг), концентрации тория и урана (мкг/г), отношение концентрации тория к урану

№ №	Навруз	β- активность	α- активность	Pb-214	Bi-214	Pb-210	Pb-212	Bi-212	K-40	Cs-137	Th (мкг/г)	U (мкг/г)	Th/U
1	Tj65	1606	2294	60	57	Нд	147	123	1081	30	27,27	4,73	5,77
2	Tj25	2713	3229	77	72	476	143	159	1053	151	30,5	6	5,08
3	Tj50	Нд	815	85	80	104	173	185	737	4,1	36,22	6,68	5,42
4	Tj28	1110	1567	47	48	125	79	91	794	0,8	17,23	3,82	4,51
5	Tj29	975	2073	72	70	96	114	117	885	9,5	23,33	5,76	4,05
6	Tj30	1128	2810	67	65	118	147	151	988	24,9	30,1	5,32	5,66
7	Tj46	1376	2230	131	127	129	293	306	1130	10,7	60,5	10,4	5,83
8	Tj47	1922	1460	115	105	130	290	313	1226	30	60,93	8,89	6,85
9	Tj1	1944	954	28	28	67	41	49	624	6,6	9,1	2,29	3,97
10	Tj48	690	429	28	28	79	53	54	671	10,6	10,81	2,26	4,77
11	Tj49	684	730	49	49	63	81	82	751	4	16,46	3,96	4,16
12	Tj60	723	601	26	22	52	39	51	545	3,3	9,04	1,94	4,66
13	Tj61	686	558	26	27	81	39	42	558	3,1	8,13	2,12	3,84
14	Tj62	650	901	30	31	24	47	50	675	4,8	9,79	2,46	3,97
15	Tj2	866	1126	43	40	55	65	70	751	3,2	13,64	3,35	4,08

Примечание. Нд – нет данных

рисунке 2 показано распределение активности К-40 и суммарной бета активности образцов. Активность К-40 определялась по гамма-излучению на гамма-спектрометре.

На рисунке 2 видно, что в долиненной части реки бета-фон в основном определяется как К-40. Однако в двух аномальных зонах горной части суммарный бета-фон выше активности К-40, что может быть объяснено бета-распадом солей урана и тория. Активность К-40 хорошо коррелирует с общей бета-активностью $r^2 = 0,86$.

Общая картина распределения активности измеренных изотопов показана на рисунке 3.

Измеренные изотопы Pb-212, Bi-212 относятся к ториевому распаднему ряду, а Pb-214, Bi-214, Pb-210 – к уран-радиевому ряду. Так же как и на предыдущих картинках видны две аномальные зоны.

На рисунке 4 представлена картина распределения концентраций тория и урана в донных отложениях.

В распределении тория и урана также видны две аномальные зоны, приуроченные к ущелью Сиома и Оджукскому пегматитовому пятну.

Отдельно была просуммирована активность изотопов ториевого и урановых рядов. Сумма изотопов ториевого ряда хорошо коррелируют

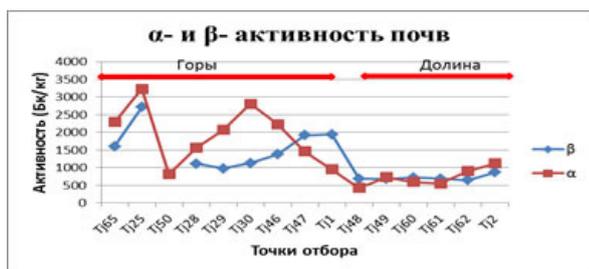


Рисунок 5 – Альфа- и бета-активность образцов почв

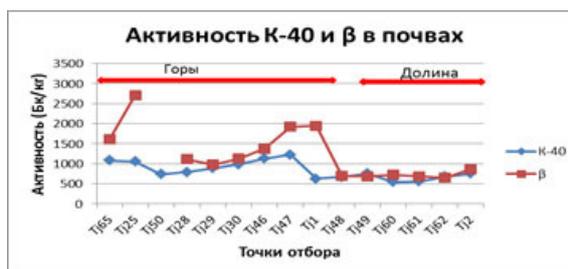


Рисунок 6 – Суммарная бета активность образцов и активность К-40



Рисунок 7 – Распределение изотопов в образцах почв



Рисунок 8 – Распределение содержания тория и урана в образцах прибрежных почв

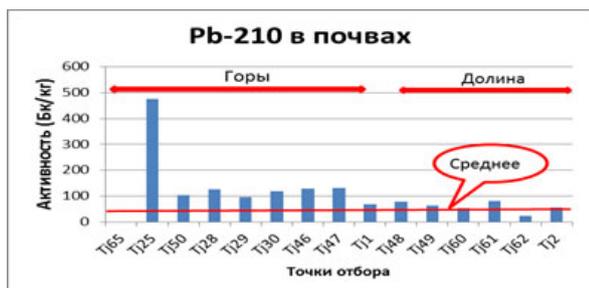


Рисунок 9 – Распределение Pb-210 в образцах почв



Рисунок 10 – Распределение Cs-137 в образцах почв

с концентрациями тория в образцах ($r^2 = 0,99$), изотопов уранового ряда с ураном ($r^2 = 0,95$).

Немного иначе изотопы распределены в образцах прибрежных почв. В горных ущельях прибрежные почвы зачастую бывают единственными почвами, пригодными для земледелия. В горах материнским основанием для почв служат террасы из алювиальных отложений, а в долинах – это, в основном, лёссовые породы, достигающие глубины 100 м и ниже. На элементный и изотопный состав почв в горных ущельях оказывают влияние горные материнские породы, донные отложения рек и состав воды при наличии ирригации или затопления.

Результаты анализа прибрежных почв приведены в таблице 2.

Картина распределения альфа- и бета-активности образцов показана на рисунке 5.

Альфа-активность образцов повторяет картину распределения в донных отложениях. Немного иначе распределилась бета-активность, второй пик смещен вниз по реке. В долинной части активность примерно равна. Альфа- и бета-активность в почвах показала худшую корреляцию, чем в донных отложениях, коэффициент $r^2 = 0,65$.

В долинах бета-активность образцов в основном обусловлена распадом К-40, в горах наблюдается иная картина (рисунок 6).

Коэффициент корреляции между активностями составил $r^2 = 0,61$.

Изотопы в составе почв распределены иначе, чем в донных отложениях, особенно Pb-210 и Cs-137 (рисунок 7).

В долине изотопы в составе почв распределены более или менее равномерно. Основные

отличия начинаются в горах. Отчетливо видны два пика активности в Оджук и Сиоме. В Оджук в основном изотопы ториевого ряда, а в Сиоме – уранового ряда. Распределение содержания урана и тория в образцах почв приведены на рисунке 8.

Распределение тория и урана в почвах повторяет картину распределение их изотопов, хотя и отличаются от распределения металлов в донных отложениях.

Отдельно просуммированные изотопы ториевых и урановых рядов показали разную корреляцию с торием и ураном, так корреляция концентрации тория с его изотопами очень высока $r^2 = 0,99$, а для урана и его изотопов ниже $r^2 = 0,72$.

При анализе дочернего изотопа радона Pb-210 выявлена аномальная зона осаждения в точке отбора Сиома (рисунок 9).

Зарегистрированная активность Pb-210 470 Бк/кг практически в 10 раз превышает среднюю активность в долинах.

Подобную картину показало распределение техногенного Cs-137 (рисунок 10).

Максимальная активность Cs-137 в точке Сиома составила 150 Бк/кг, что превышает фон в долине в 50 раз. Математическая корреляция между концентрациями Pb-210 Cs-137 очень высока $r^2 = 0,97$.

Обсуждение полученных результатов.

В литературе не существует обобщенных данных о кларках донных отложений. Многие авторы при расчетах используют кларки почв. Это справедливо для долинных рек, донные отложения которых формируются за счет сноса почв. Иная картина наблюдается для горных рек, донные отложения которых в основном формируются за счет выветривания горных пород и, протекая по глубоким ущельям, содержат малое количество почвенных пород. Для таких рек более правильным является использование кларка земной коры [11]. В то же время, вытекая из горных ущелий в равнины, реки начинают смывать и поглощать большое количество легких почвенных пород. Количество почв в донных отложениях увеличивается по мере продвижения к устьям рек. В ряде случаев более правильным было бы использовать локальные кларки [12].

Кларки тория и урана в земной коре равны 9,6 и 2,7 мкг/г [11]. В горной части концентрация тория и урана в донных отложениях и почвах повсеместно выше кларков. Кларковое отношение концентраций тория и урана (Th/U) равно 3,6. В долиненной части отношение имеет примерно такое же значение. В горной части отношение выше, что может свидетельствовать о том, что в Варзобских гранитах особо развита ториевая минерализация.

На рисунках 3 и 7 видно, что радиационное равновесие радиоактивных изотопов уранового ряда (Pb-214, Bi-214 и Pb-210) находятся в нарушенном состоянии. Причем величина избытка изотопа Pb-210 в некоторых точках достигает десятков раз. Такое сильное превышение отмечено на образцах ущелья реки Сиома, но нарушение равновесия заметно практически во всех образцах почвы ущелья реки Варзоб.

На этих же рисунках видно, что нарушено также равновесие изотопов ториевого ряда. В точках Оджук активность изотопов Pb-212 и Bi-212 в 3–4 раза выше активности изотопов уранового ряда. Изотопы Pb-212 и Bi-212 являются дочерними изотопами торона (Rn-220) с периодом полураспада 55,6 с [13]. Столь незначительное время жизни торона может объяснить аномальное накопление его дочерних изотопов. Скалы, составляющие Оджукское пегматитовое пятно, насыщенное торием в составе аксессуарных минералов, эмануруют торон, который за короткое время жизни не успевает далеко улететь и поглощается близлежащими почвами и рекой. В то же время в пегматитовом пятне равновесие тория и урана нарушено более чем в два раза.

Радон (Rn-222) имеет период полураспада 3,8 дня, обычно скапливается в низинах, в горных условиях у поверхности рек, и при наличии мощных ветровых потоков может перемещаться в пространстве. В объектах биосферы радон определяют по наличию его дочернего изотопа Pb-210 [13].

Гиссарский хребет является первым высокогорным хребтом на пути южных ветров. Ветра, упираясь в хребет, проникают в узкие горные ущелья, в том числе и Варзобское. При проникновении в ущелья резко возрастают скорости воздушных потоков. Вход в ущелье Сиома расположен таким образом, что позволяет перехватывать более 80 % всех воздушных потоков, об этом свидетельствует резкое падение активности изотопов в верхних притоках Варзоба, реках Майхура и Зидды. Скала на входе ущелья Сиома расположена фронтально относительно воздушных потоков, и заставляет изменять направление ветра практически на 90°, при этом ветровые потоки буквально обливают поверхность скалы. Сложный рельеф ущелья создает места, экранированные от ветров, что приводит к сложному характеру выпадения аэрозолей и изотопов.

Изотопы Cs-137 и Rn-222 переносятся воздушным путем. Даже радон, будучи почти в 8 раз тяжелее воздуха, переносится сильными ветрами. Достигнув входа в ущелье Сиома, ветровые потоки резко меняют свое направление, непосредственно касаясь скалы и почвы под ней. Именно этим можно объяснить аномальное выпадение изотопов, переносимых ветрами в ущелье Сиома.

Еще одним сюрпризом оказалось, что Ходжи Оби Гарм, с точки зрения радиационной экологии, является одним из самых чистых мест в Варзобском ущелье. В донных отложениях термальных источников не было обнаружено техногенных изотопов, а содержание природных изотопов, в особенности Уранового и ториевого рядов, оказалось в пределах средних значений по всему ущелью. Этот факт поставил под сомнение утверждение о том, что в термальных водах Ходжи Оби Гарма содержится значительное количество радона и торона.

По распределению тория, урана и их изотопов прослеживается Ходжа Обигармский геологический разлом, который делит район на две подзоны, отличающиеся в геохимическом отношении. Среднее содержание урана и тория в гранитоидах североварзобского комплекса $3,7 \cdot 10^{-6}$ и $18 \cdot 10^{-6}$ г/г, а в южноварзобских гранитах оно несколько выше – $6,5 \cdot 10^{-6}$ и $27 \cdot 10^{-6}$ г/г соответственно.

Заключение. Получено распределение содержаний природных и техногенных радиоактивных изотопов в составе прибрежной почвы и донных отложениях реки Варзоб и ее притоков. Выявлены два максимума в распределении урана и тория – один в районе ручья Оджуг (выше ПГТ Варзоб), и второй в начале реки Сиома. Отмечено высокое содержание радиоактивного изотопа Cs-137 в составе почвы в ущелье реки Сиома. Отмеченные загрязнения значительно превышают средний уровень аналогичных загрязнений в регионе Центральной Азии.

Впервые на экспериментальном уровне зарегистрировано явление концентрирования горными ущельями загрязнений, переносимых воздушными аэрозолями.

Ущелье реки Ходжи Оби Гарм, с точки зрения радиационной экологии, является одним из самых чистых мест в Варзобском ущелье. В донных отложениях термальных источников не было обнаружено техногенных изотопов, а содержание природных изотопов, в особенности уранового и ториевого рядов, оказалось в пределах средних значений по всему ущелью. Этот факт поставил под сомнение утверждение о том, что в термальных водах Ходжи Оби Гарма содержится значительное количество радона и торона.

По распределению тория, урана и их изотопов прослеживается Ходжа Обигармский геологический разлом, который делит район на две подзоны, отличающиеся в геохимическом отношении. Среднее содержание урана и тория в гранитоидах североварзобского комплекса $3,7 \cdot 10^{-6}$ и $18 \cdot 10^{-6}$ г/г, а в южноварзобских гранитах оно несколько выше – $6,5 \cdot 10^{-6}$ и $27 \cdot 10^{-6}$ г/г соответственно.

Литература

1. *Абдушукуров Д.А.* Международный эксперимент «НАВРУЗ», объем исследований таджикской стороны // Вестник Таджикского нац. ун-та. Сер. естеств. наук. 2016. 1/1(192). С. 194–198.
2. *Barber D.S.* Radiation monitoring of Syr-Darya River / D.S. Barber, B.S. Yuldashev, Y.D. Howard et. al. // EURASIA nuclear bulletin. Journal of Turkish Atomic Energy authority (TAEK). 2003a. № 2. P. 82–87.
3. *Barber D.S.* The NAVRUZ experiment: Cooperative monitoring for radionuclides and metals in Central Asia transboundary rivers / D.S. Barber, D. Betsill, A.H. Mohagheghi, et. al. // Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. Vol. 263. No. 1. P. 213–218.
4. *Barber D.S.* Radioecological Situation in river Basins of Central Asia, Syrdaria and Amudaria According to the Results of the international project “NAVRUZ” / D.S. Barber, B.S. Yuldashev, K.R. Radyrxhanov et. al. // NATO Science Series IV. 2003b. Vol. 33. P. 39–51.
5. *Yuldashev B.S.* Radioecological monitoring of Transboundary Rivers of the Central Asian Region / B.S. Yuldashev, U.S. Salikhbaev, A.A. Kist et. al. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005. Vol. 263. No. 1. P. 219–228.
6. Ущелье Варзоб. URL: <https://www.gst.tj/ushchelevarzob>
7. *Бахтдавлатов Р.Д.* Полезные ископаемые Таджикистана / Р.Д. Бахтдавлатов. URL: https://www.geoport.tj.org/images/pi_tjk.pdf
8. Атлас Таджикской ССР. Душанбе: Географическое общество СССР, 1968.
9. Руководство по отбору проб воды и донных отложений на станциях мониторинга качества поверхностных вод бассейна Аральского моря: Среднеазиатский научно-исслед. гидрометеорол. ин-т им. В.А. Бугаенко (САНИГМИ). Ташкент, 2000.
10. Canberra (2017) Extended Range Coaxial Ge Detectors (XiRa). URL: <http://www.canberra.com/products/detectors/germanium-detectors.asp>
11. *Taylor S.R.* Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table / S.R. Taylor // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1964. V. 28. P. 1273–1285.
12. *Алексеев В.А.* Экологическая геохимия: учебник / В.А. Алексеев. М.: Логос, 2003. URL: <http://www.vuzer.info>
13. Химическая энциклопедия / редкол.: И.Л. Кнунянц и др. М.: Советская энциклопедия, 1995. Т. 4. 639 с.