

УДК 539.163:504.064

РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ, ВОДАХ И ПРИЗЕМНОМ ВОЗДУХЕ В ОТДЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ МЕСТНОСТЯХ УЗБЕКИСТАНА

© 2022 г. Н. Н. Базарбаев¹, А. К. Иванов^{2,*}, А. Х. Иноятов³, О. Б. Маматкулов², И. Т. Муминов¹,
Т. М. Муминов^{1,2}, Л. Т. Нурмуродов², А. А. Сафаров², А. Т. Худайбердиев⁴

¹ Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

² Самаркандский государственный университет, Самарканд, Узбекистан

³ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

⁴ Каршинский филиал Ташкентского университета информационных технологий, Карши, Узбекистан

*E-mail: dvader425@gmail.com

Поступила в редакцию 09.02.2021 г.

После доработки 24.11.2021 г.

Принята к публикации 22.12.2021 г.

Приведены результаты γ -спектроскопических исследований содержания и вертикальных распределений естественных ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , техногенного ^{137}Cs и космогенного ^7Be радионуклидов в почвах, плотности потоков радона в приземном воздухе и концентраций радона в водах отдельных районов Нуратинских, Каратепинских, Чакилкалянских, Гиссарских гор Узбекистана. Выявлены зависимости этих величин от физико-географических характеристик местностей, интенсивностей природных и антропогенных процессов, протекающих на них, погодных и других факторов.

Ключевые слова: радионуклиды, гамма-спектрометр, сцинтилляционный детектор, сорбционный детектор, радон, атмосферные выпадения, почва, вода, приземный воздух

DOI: 10.31857/S0869803122020035

Главной целью радиационной безопасности является охрана здоровья населения от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности. В Узбекистане соответствующим регламентирующим документом являются санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы (СанПиН № 0193-06), определяющие нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006) [1]. В России таким документом являются нормы радиационной безопасности НРБ-2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09 [2]).

Радиоактивность природной среды Земли обусловлена естественными, техногенными и космогенными радионуклидами (ЕРН, ТРН и КРН соответственно). Основными источниками ЕРН являются горные породы и почвы. Самыми значимыми являются радионуклиды ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K . В суммарной годовой эффективной дозе облучения населения природными источниками ионизирующего излучения 30% обусловлено внешним облучением ЕРН, содержащимися в окружающей среде [3] и 43% – ингаляцией радона, инфильтрованного из почвы, строительных материалов и воды в жилые и рабочие помещения [4].

Техногенные радионуклиды, являющиеся продуктами ядерного деления (ПЯД), проявляют себя в виде загрязнений окружающей среды, связанных с последствиями испытаний ядерного оружия в 50–60 годы XX века и радиационных аварий на предприятиях атомной промышленности (атмосферные выпадения и аварийные выбросы ПЯД). В настоящее время загрязняющие ТРН, в частности, радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr , в значительной степени распались и, в результате природных и антропогенных процессов, перераспределились на поверхности и по глубинам почв [5] и уже не представляют серьезной опасности (кроме территорий, прилегающих к атомным электростанциям, на которых произошли радиационные аварии). Исследования перераспределений ТРН в последние десятилетия используются для экспрессной оценки интенсивностей среднесрочных местных процессов почвенной эрозии и седиментации [6].

Космогенные радионуклиды, образующиеся в верхних слоях космосферы при расщеплении ядер атомов воздуха космическим излучением, в результате атмосферных обменных процессов переносятся в приповерхностные слои воздуха, откуда с атмосферными осадками выпадают на поверхность Земли. Наиболее значимым КРН является



Рис. 1. Географическое расположение исследованных местностей.

Fig. 1. Geographic location of the investigated areas.

радионуклид ${}^7\text{Be}$. Из-за своего малого периода полураспада ($T_{1/2} = 54$ дня) он проявляется только в поверхностных слоях почвы с толщиной порядка $\Delta Z = 5\text{--}20$ мм и вносит незначительный вклад в возрастание радиационного фона Земли [4]. Однако исследования ${}^7\text{Be}$ позволяют получить информацию об интенсивности различных природных процессов, в частности, быстро оценить интенсивность краткосрочных процессов эрозии и седиментации почв местности [7].

Радиоактивность объектов природной среды в горных районах Узбекистана и Средней Азии, в целом отличающихся своими особенностями от других районов мира, изучена крайне слабо. Информация об исследованиях радиоактивности природной среды в Среднеазиатском регионе ограничена одной публикацией 1992 г. о миграции ${}^{137}\text{Cs}$ и ${}^{90}\text{Sr}$ в почвах и растениях Ташкентского оазиса [8] и проводимыми в последние два десятилетия объединенной группой Национального университета Узбекистана и Самаркандского университета исследованиями радиоактивности различных природных объектов на отдельных территориях Узбекистана. Это, например, исследование содержания радионуклидов в окружающей среде в отрогах Нуратинских [9] и Каратепинских гор [10]. Содержание радионуклидов определялось также в почвах и лишайниках на отрогах Зарафшанского хребта [11], где также исследовалось влияние эрозии и седиментации почв на радиоактивность почв [12]. Радиоактивность природных вод изучалась на примере вод Нурабадского района Самаркандской области, который характерен высоким содержанием радона [13]. Исследованию запасов и миграции ${}^{137}\text{Cs}$ в почвах была посвящена работа [14].

Настоящая работа посвящена выявлению корреляций содержаний и вертикального распределения в почвах ЕРН ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$ и ${}^{40}\text{K}$, ТРН ${}^{137}\text{Cs}$ и КРН ${}^7\text{Be}$, плотности потока радона в приземных слоях воздуха и концентрации радона в водах в отдельных районах Нуратинских, Каратепинских, Чакилкаянских и Гиссарских гор и их предгорий, заметно отличающихся друг от друга физико-географическими характеристиками и интенсивностями природных процессов, протекающих на их отдельных участках. Мы надеемся, что выполненные в работе исследования дадут новую информацию о значениях и распределениях радионуклидов в этих районах, позволят установить их зависимости от характеристик местностей и интенсивностей протекающих на их площадях природных процессов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Характеристики местностей

Исследованные площадки расположены в горных и предгорных районах Самаркандской и Кашкадарьинской областей Узбекистана (рис. 1–6, снимки от GoogleEarth):

- в центральной части Нуратинского массива [15] в истоке р. Пангатсай (“НУРАТА”),
- на северном склоне Каратепинских гор [16] (западная оконечность Зарафшанского хребта) в урочище Сарыкуль (“КАРАТЕПА”),
- на юго-восточной границе Каратепинского массива с более высокими Чакилкаянскими горами [17] (западные отроги Зарафшанского хребта), у перевала Тахтакарача (“ПЕРЕВАЛ”),



Рис. 2. Пробные площадки на местности “НУРАТА”.

Fig. 2. Sample plots in the “NURATA” area.

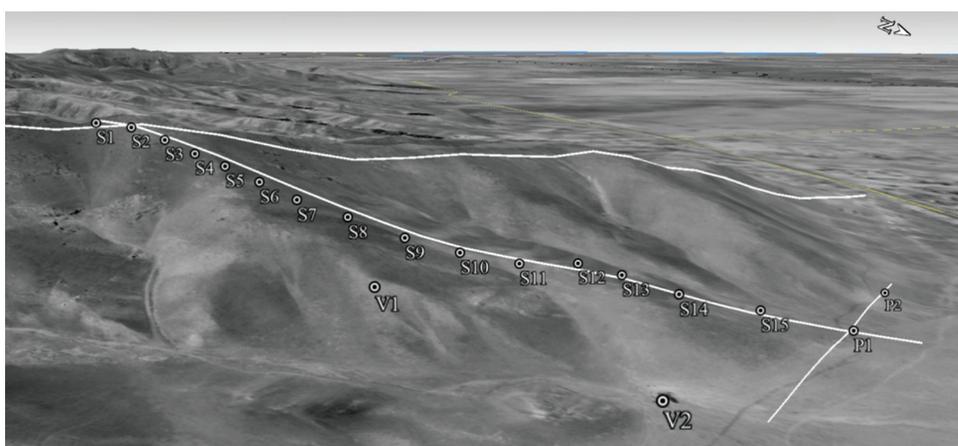


Рис. 3. Пробные площадки на местности “КАРАТЕПА”.

Fig. 3. Sample plots in the “KARATEPA” area.

– в северо-западной части Чакилкаянского горного массива [17], в 7 км восточнее перевала (“ЧАКИЛ”),

– в западных отрогах Гиссарского хребта [18], прилегающих к западной границе Гиссарского заповедника и правому (северному) берегу р. Танхоздаря (“ГИССАР”).

Нуратинские и Каратепинские горы относятся к низко- и среднегорьям Средней Азии, глубоко вклинившимся в пустынные и полупустынные зоны Туранской низменности. Климат в них резко континентальный, лето – жаркое и сухое (абсолютный максимум температуры воздуха $+43^{\circ}\text{C}$, влажность спадает вплоть до 10–15%), зима – умеренно холодная (абсолютный минимум температуры -21°C); среднегодовые нормы осадков, выпадающих в основном в зимне-весеннем сезоне, от 250 мм – на севере, до 550 мм – на юге,

снежный покров в низкогорьях неустойчив, а в среднегорьях обычно держится с конца ноября до середины марта.

Чакилкаянские горы относятся к среднегорьям (средняя высота 1700 м), граничат на северо-западе с Каратепинскими горами, на северо-востоке с Зарафшанской долиной, на востоке с Зарафшанским хребтом и на юге с северо-западными отрогами Гиссарского хребта. Климат местности – умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха $+11.7^{\circ}\text{C}$, среднеянварская -0.6°C , среднеиюльская $+24^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 881 мм (зимой – 337 мм, весной – 384 мм, летом – 22 мм, осенью – 128 мм). Максимум относительной влажности – 57% в апреле, минимум – 28% в августе. Снежный покров на вершинах гор обычно держится с начала ноября до начала мая.

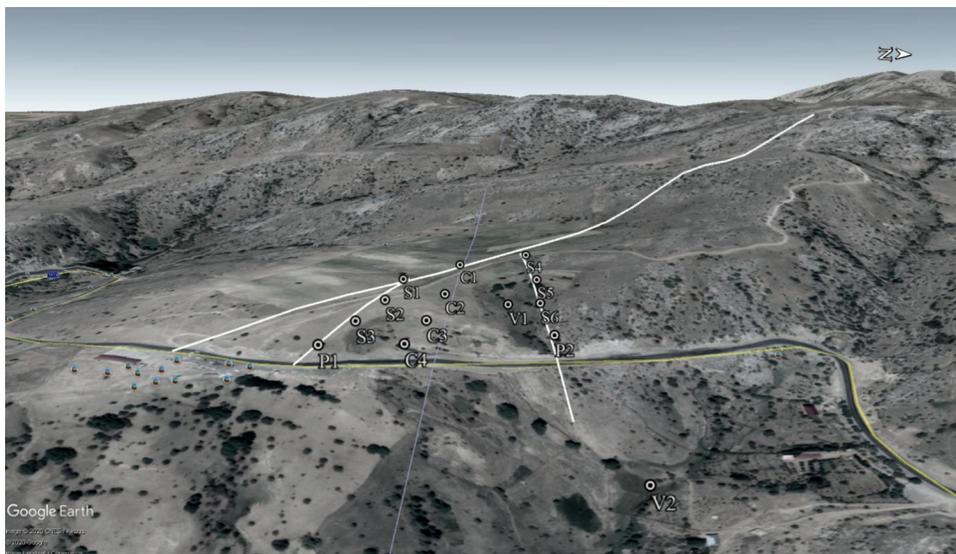


Рис. 4. Пробные площадки на местности “ПЕРЕВАЛ”.

Fig. 4. Sample plots on the “PASS” area.



Рис. 5. Пробные площадки на местности “ЧАКИЛ”.

Fig. 5. Sample plots on the “CHAKIL” area.

Особенности западной оконечности Гиссарского хребта обусловлены, с одной стороны, влиянием ближайших пустынь южного Турана, с другой стороны, перехватом хребтом (средние высоты $H = 4000\text{--}4200$ м, высшая точка – пик Хазрат-Султан высотой $H = 4642$ м) влажных западных потоков воздушных масс.

В низкогорье ($H < 1800$ м) среднегодовая температура $+14^\circ\text{C}$, среднеянварская – отрицательная, (абсолютный минимум -25°C). Весна, лето и осень достаточно жаркие (температура воздуха в июле доходит до $30\text{--}40^\circ\text{C}$), за год выпадает до 750 мм осадков, глубокий снег держится 2–2.5 мес.

В среднегорье ($H \sim 1800\text{--}2400$ м) температура воздуха резко падает (среднегодовая температура ниже $+5^\circ\text{C}$, количество осадков заметно возрастает). Несмотря на то что снеговая линия лежит на высоте порядка 4000 м, в отдельных долинах среднегорья есть снежники-перелетки и ледники. Самый значимый среди них – ледник Северцева ($H = 2170$ м), питающий густую сеть рек и ручьев. Из них наиболее многоводны реки Аксу, Ханакасу, Танхаздаря и Кизилдаря с характерным пиком во второй половине лета. Кроме того, на местности много ручьев и речек, питающихся водами карстовых источников и родников. Как пра-

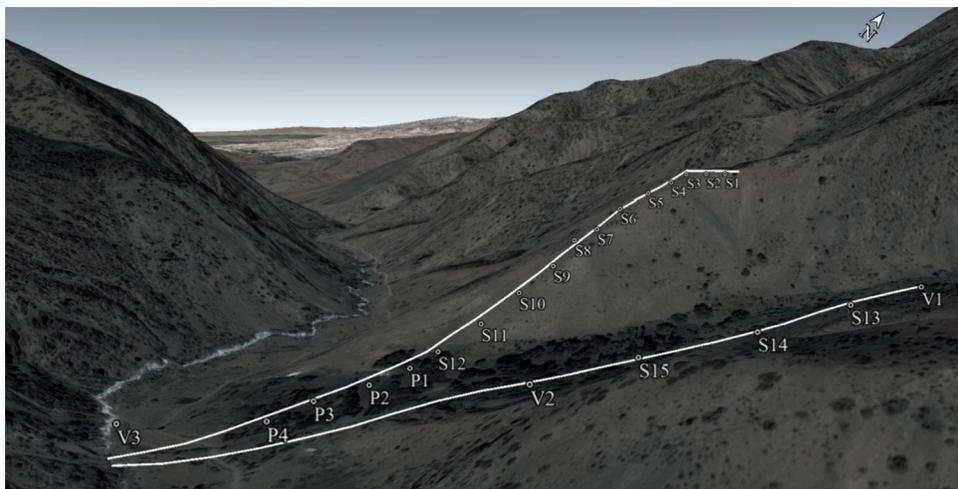


Рис. 6. Пробные площадки на местности “ГИССАР”.

Fig. 6. Sample plots in the “GISSAR” area.

вило, в начале лета по их руслам сходят мощные селевые потоки.

Характеристики пробных площадок

На всех исследованных местностях, за исключением “ГИССАРА”, горы сложены в основном из разновидностей гранитов и песчаников. Почвенный покров достаточно мощный, с толщиной более 1 м, относится к различным типам сероземов. Склоны задернованы пырейно-разнотравной растительностью, к которой в подножиях примешиваются эфемеры (в “НУРАТЕ” и “КАРАТЕПЕ” в меньшей, а на “ПЕРЕВАЛЕ” в большей степени).

Активности радионуклидов и плотности потоков радона исследованы:

– в местности “НУРАТА” – на площадках южного склона в точках S1–S21 и подножия в точках P1 и P2 южного склона межгорной возвышенности (рис. 2). S1 – координаты $N40^{\circ}24'21''$, $E66^{\circ}33'36.13''$, высота $H = 1195$ м; S-21 – $N40^{\circ}24'07.76''$, $E66^{\circ}33'01.09''$, $H = 1081$ м; P1 – $H = 1076$ м; P2 – $H = 1063$ м; V1 – $H = 1051$ м; V2 – $H = 1048$ м.

– в местности “КАРАТЕПА” – на площадках северного склона в точках S1–S15 и подножия P1 и P2 горы (рис. 3). S1 – $N39^{\circ}29'56.54''$, $E66^{\circ}31'40.66''$, $H = 1076$ м; S15 – $N39^{\circ}30'22.78''$, $E66^{\circ}31'29.13''$, $H = 847$ м; P1 – $H = 852$ м; P2 – $H = 835$ м; V1 – $H = 933$ м; V2 – $H = 865$ м.

– в местности “ПЕРЕВАЛ” на площадках южного (S1–S3), центрального (C1–C3) и северного (S4–S6) участков восточного склона и подножий P1, C4 и P2 горы. На центральном участке перевала в начале 2000-х годов сошел оползень почвенного слоя шириной порядка 40 м и толщиной 3–6 м, вызванный карстовыми водами подпочвенного

ручья, протекающего в верхней части склона параллельно линии водораздела (рис. 4). S1 – $N39^{\circ}17'47.7''$, $E66^{\circ}54'28.8''$, $H = 1692$ м; S4 – $N39^{\circ}17'49''$, $E66^{\circ}54'30''$, $H = 1703$ м; C1 – $N39^{\circ}17'46''$, $E66^{\circ}54'27''$, $H = 1695$ м; C4 – $N39^{\circ}17'46.1''$, $E66^{\circ}54'32''$, $H = 1665$ м; P1 – $H = 1671$ м; P2 – $H = 1653$ м; V1 – $H = 1602$ м; V2 – $H = 1670$ м.

– в местности “ЧАКИЛ” – на площадках S1–S15 северо-западного склона межгорной возвышенности (рис. 5). S1 – $N39^{\circ}17'11.34''$, $E66^{\circ}56'11.34''$, $H = 1767$ м; S15 – $N39^{\circ}17'25.26''$, $E66^{\circ}56'04.77''$, $H = 1714$ м.

– в местности “ГИССАР” – на южном склоне межгорной возвышенности, сложенном из плотных известняков с маломощным (2–6 см), легким по механическому составу, каменистым и щебенистым, сильно эрозированным почвенным покровом, переходящим в подножии в мощный (толщиной $\Delta Z > 1$ м) слой горной лугостепной черноземновидной почвы. По восточному склону возвышенности стекает, к подножию и далее в Танхоздарью, ручей, образованный просачивающимися карстовыми водами (рис. 6). S1 – $N38^{\circ}52'48.04''$, $E67^{\circ}18'35.84''$, $H = 1865$ м; S12 – $N38^{\circ}52'35.8''$, $E67^{\circ}18'34.7''$, $H = 1847$ м; S13 – $N38^{\circ}52'40.20''$, $E67^{\circ}18'45''$, $H = 1757$ м; S15 – $N38^{\circ}52'35.08''$, $E67^{\circ}18'39.39''$, $H = 1717$ м; P1 – $H = 1678$ м; P2 – $H = 1676$ м; P3 – $H = 1674$ м; P4 – $H = 1670$ м; V1 – $H = 1767$ м; V2 – $H = 1705$ м; V3 – $H = 1662$ м. Пробные площадки S1–S3 расположены на водоразделе возвышенности (толщина почвенного пласта $\Delta Z = 2–3$ см), S4–S11 – на верхней части склона ($\Delta Z = 2–3$ см), S12 – на нижней части склона ($\Delta Z \approx 6$ см), S13–S15 – на берегу ручья ($\Delta Z \approx 2–3$ см) и в подножии P1–P4 ($\Delta Z > 1$ м).

В летнем сезоне почвы склона, слабо задернованные пырейным разнотравьем, пересыхают, а в

подножие почва увлажняется стекающими водами ручья и их густой растительный покров продолжает вегетировать.

Площадки подножия различаются по степени увлажненности почвы и антропогенного воздействия. Условно они разделены на: “сухую” – P1, “влажную” – P2, “вспаханную” – P3 и “перевлажненную” – P4. (Влажность почвы была тактично оценена по степени ее вязкости.)

В отличие от предшествующих местностей в “ГИССАРЕ” плотность потока радона (ППР) исследовалась только вблизи от площадок S1, S3, S13, S15, P1 и P4.

Пробы воды были отобраны в местности:

– “НУРАТА” – в р. Пангатсай (точка V1) и роднике (V2) на его берегу;

– “КАРАТЕПА” – в роднике (V1) на склоне горы и в водопое выпасающегося в предгорной равнине скота (V2). Вода по 40-метровому трубопроводу стекает из родника в ее подножие;

– “ПЕРЕВАЛ” – из частично обнажившегося при оползне русла подпочвенного ручья карстовых вод (V1) в центральном участке склона горы и в истоке р. Аманкутансай (V2) в ее подножие;

– “ГИССАР” – в истоке (V1) и нижнем течении (V2) ручья, а также в р. Танхоздарья (V3).

Отбор образцов и пробоподготовка

Образцы почв были отобраны методом “конверта” со сторонами $2 \times 3 \text{ м}^2$. Образцы для исследований запасов ^7Be отобраны срезанием поверхностных слоев почвы толщиной $\Delta Z = 0.5\text{--}1.0 \text{ см}$ вместе с высохшим травяным покровом с площади $S = 1 \times 1$ или $0.7 \times 0.7 \text{ м}^2$. Образцы для исследования вертикальных распределений ЕРН, а также ТРН ^{137}Cs , отобраны последовательным срезанием слоев почвы с глубин $\Delta Z = 0\text{--}2, 2\text{--}4, 4\text{--}6, 6\text{--}10, 10\text{--}15, 15\text{--}20, 20\text{--}30$ и $30\text{--}40 \text{ см}$ (на площадках S1-S15 “ГИССАРА” всего почвенного пласта) с площадок $0.3 \times 0.4 \text{ м}^2$, осуществляемых из прилегающих к ним предварительно выкопанных углублений [14].

Отобранные образцы очищали от инородных примесей, доводили до воздушно-сухого состояния, измельчали, перемешивали, взвешивали, отбирали в однолитровые сосуды Маринелли, которые герметизировали (глубинные образцы) и маркировали.

Плотность потока радона (ППР) исследовали с использованием сорбционных пассивных детекторов радона на основе активированного угля (ДРСП), которые, в соответствии с методикой [19], устанавливали на держатели в центре площадок $\text{Ø}30 \text{ см}$, очищенных от растительного покрова, плотно накрытых 3-литровыми колпака-

ми. После 3-часовой экспозиции детекторы помещали в защитные футляры и маркировали.

Пробы воды отобраны непосредственно в 1-литровые сосуды Маринелли, по методике [20], обеспечивающей минимальные потери радона.

Измерения и обработка γ -спектров проб

Исследования радиоактивности ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K , выпадающих радионуклидов ^{137}Cs и ^7Be в пробах почв, а также ^{222}Rn в пробах воды обычно осуществляются γ -спектроскопическими методами. В настоящей работе такие исследования проведены с использованием сцинтилляционного γ -спектрометра со сцинтиллятором NaJ(Tl) размером $\text{Ø}63 \times 63 \text{ мм}$ и энергетическим разрешением $\sim 8\%$ на линии 1332 кэВ ^{60}Co , помещенного в свинцовую защиту толщиной 10 см в соответствии с методиками [19, 20]. Регистрация и обработка спектров проведены на компьютере спектрометра с помощью соответствующего программного обеспечения.

Обработка γ -спектров почвенных проб осуществлена путем разложения спектров на составляющие – метод [21] (рис. 7):

– фона, аппроксимированного спектрами инертных проб (активности пренебрежимо малы, массы соответствуют исследованной пробе);

– ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs , аппроксимированных нормированными спектрами, соответствующих эталонным источникам из комплекта объемных мер активности специального назначения (ОМАСН);

– составляющей ^7Be , выделяемой, в процессе разложения.

Активности ЕРН и ТРН в пробах определены как

$$A_j = A_{\text{эт}} k / m, \quad (1)$$

где $A_{\text{эт}}$ – активность эталонного источника, k – коэффициент нормирования, m – масса пробы. Активность ^7Be определена традиционным методом – по площади пика полного поглощения линии 478 кэВ в спектре составляющей ^7Be N_{γ} , с учетом квантового выхода α_{γ} , эффективности регистрации ε_{γ} , площади отбора S и длительности измерения t

$$A_{\text{Be}} = N_{\gamma} / \alpha_{\gamma} \varepsilon_{\gamma} S. \quad (2)$$

Средние активности ЕРН в почвах площадок определялись как

$$A_{\text{ЕРН}} = \sum_{i=1}^n \Delta Z_i A_i / Z_m, \quad (3)$$

где n – число слоев, Z_m – глубина отбора, A_i – удельная активность выборки.

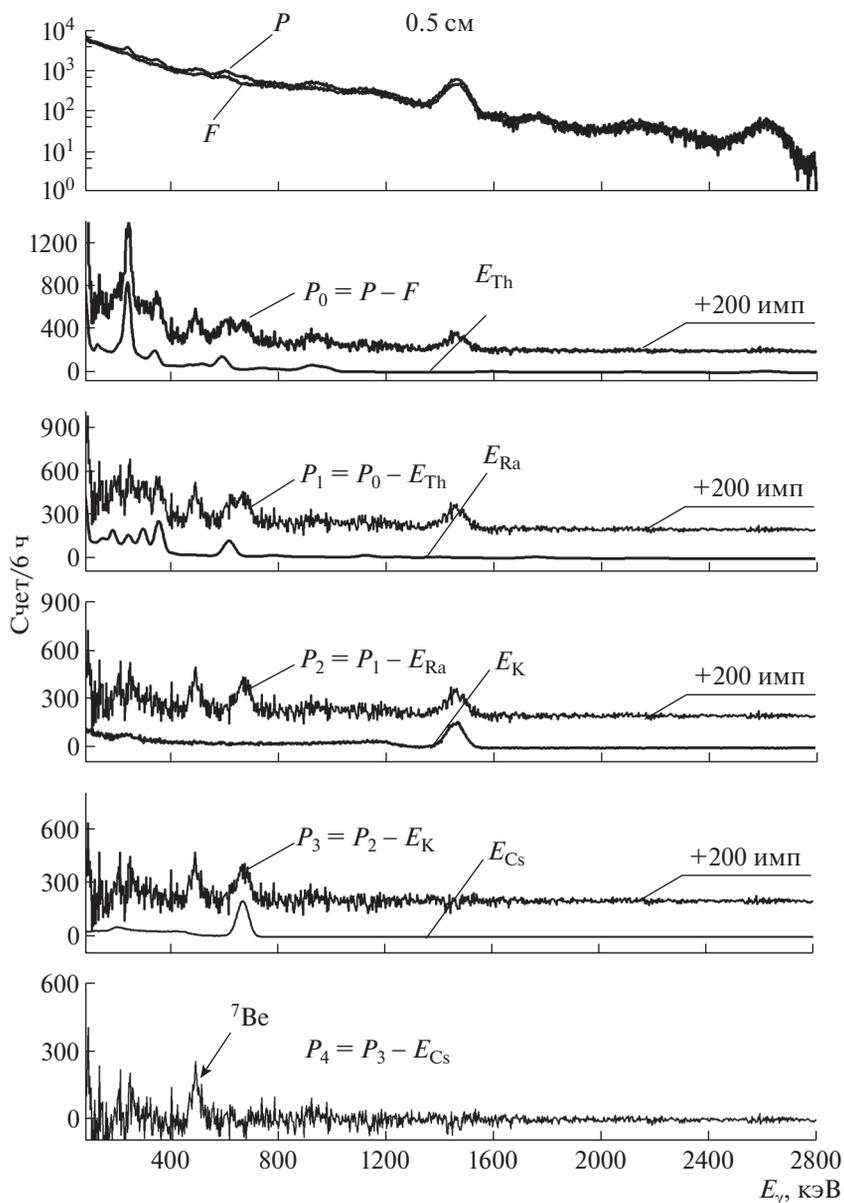


Рис. 7. Разложение γ -спектра пробы почвы (P) на составляющие фона (F) – ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs и ^7Be .

Fig. 7. Decomposition of γ -spectrum of soil sample (P) into background components (F) – ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs and ^7Be .

Запасы ТРН ^{137}Cs и КРН ^7Be определены как

$$Q = \sum_{i \neq 1} \Delta Z_i A_{is} \rho, \quad (4)$$

$$q = A_{bc} \rho, \quad (5)$$

где ΔZ_i – толщина слоя, $\rho = 1.35 \text{ г/см}^3$ – удельная плотность почвы.

Обработка γ -спектров проб воды заключалась в вычитании из экспериментального спектра составляющей фона, аппроксимированного спектра инертной пробы (дистиллированная вода), выделенная при этом составляющая радона ^{222}Rn

сопоставляется с нормированным к ней спектром эталонного источника ^{226}Ra (спектр ^{226}Ra , в основном, обусловлен распадом ^{222}Rn), устанавливалась активность ^{222}Rn : $A_{\text{Ra}} = A_{\text{эт}} k$ (рис. 8).

Длительность выдержки $t_{\text{выд}}$ и измерений спектров $t_{\text{изм}}$ проб составляли:

– для поверхностных проб почв $t_{\text{выд}}$ не более 3 нед, $t_{\text{изм}} = 6 \text{ ч}$;

– для глубинных проб почв $t_{\text{выд}}$ не менее 3 нед (для восстановления равновесия между ^{226}Ra и ^{222}Rn), $t_{\text{изм}} = 2 \text{ ч}$;

– для проб воды $t_{\text{выд}}$ не более 2 сут, $t_{\text{изм}} = 2 \text{ ч}$.

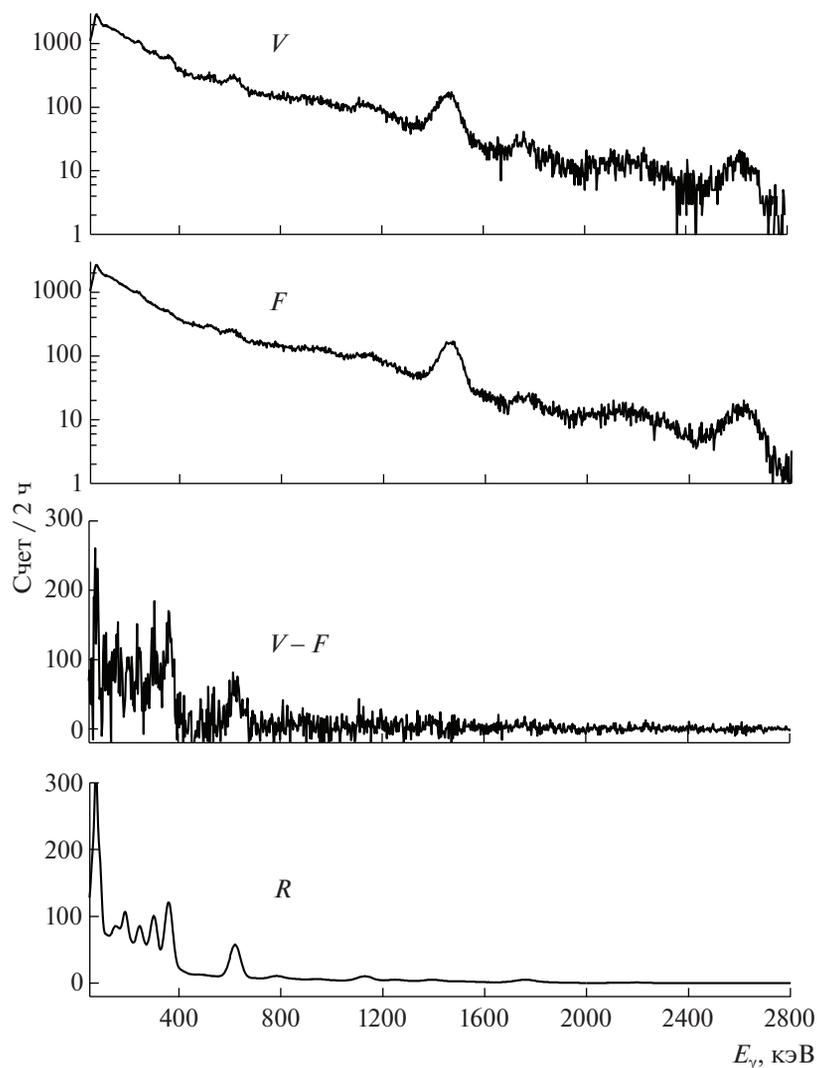


Рис. 8. Разложение γ -спектра пробы воды (V) на составляющие фона (F), ^{222}Rn (V-F), спектр эталонного источника ^{226}Ra – R.

Fig. 8. Decomposition of the γ -spectrum of the water sample (V) into the background components (F), ^{222}Rn (V-F), spectrum of the standard source ^{226}Ra (R).

При этом минимально детектируемые активности для ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th – 3 Бк/кг, для ^{40}K – 20 Бк/кг, для ^7Be – 5 Бк/кг и для ^{222}Rn (в воде) – 3 Бк/дм³. Относительные ошибки в установленных значениях активностей радионуклидов в пробах с учетом 7% точности паспортных данных для активностей эталонных источников составляют от 10% при высоких концентрациях радионуклидов в пробах и до 40% – при низких концентрациях радионуклидов.

Активности ^{222}Rn в приземных слоях воздуха исследуют рядом активных и пассивных методов. Первые основаны на прокачке воздуха через ионизационные камеры или другие приборы, вторые – на экспозиции в воздушной среде твердотельных детекторов – трековых, электрентных и

сорбционных. В наших исследованиях для определения ППР из почв площадок были использованы сорбционные детекторы типа ДРСП на основе активированного угля, выгодно отличающиеся от других детекторов простотой, экспрессностью и многократностью использования. В настоящее время они широко используются в радиоэкологических исследованиях.

Значения ППР определялись в измерениях γ -спектров активированных детекторов и спектра эталонного источника ^{226}Ra на γ -спектрометре со сцинтиллятором NaJ(Tl) размером $\varnothing 80 \times 80$ мм и энергетическим разрешением 8% на линии 662 кэВ радионуклида ^{137}Cs . Набор и обработку γ -спектра проводили на компьютере спектрометра с помощью программного обеспечения ASW, НТЦ РАДЭК

Таблица 1. Средние значения удельных активностей A_{cp} радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , плотности потока радона C , размах их значений R . Средние значения мощности эквивалентной дозы естественного фона (D)
Table 1. The average values of the specific activity A_{mid} of radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , the radon flux density C , range of their values R . Average values of the equivalent dose rate of natural background (D)

Местность D	Площадки	A_{cp} (Бк/кг)/ R			C (мБк/(м ² с))/ R
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	
НУРАТА 0.27 мкЗв/ч	S1–S21	37/1.5	54/1.4	840/1.3	103/4.0
	P1, P2	45/1.2	51/1.1	820/1.1	86/1.5
КАРАТЕПА 0.17 мкЗв/ч	S1–S15	25/1.6	40/1.6	646/1.5	57/4.8
	P1, P2	31/1.3	48/1.1	712/1.1	47/1.2
ПЕРЕВАЛ 0.22 мкЗв/ч	S1–S6	33/1.7	41/1.8	620/1.3	54/1.4
	C1–C4	30/2.0	35/1.6	545/1.2	64/2.0
	P1, P2	41/1.5	50/1.5	720/1.3	46/1.3
ЧАКИЛ 0.23 мкЗв/ч	S1–S15	53/1.4	48/1.7	650/1.1	91/1.9
ГИССАР 0.20 мкЗв/ч	S1–S3	25/1.1	42/1.1	740/1.1	85/1.5
	S4–S11	23/1.5	44/1.5	700/1.3	–
	S12	25	45	730	–
	S13–S15	22/1.2	40/1.1	786/1.1	80/1.2
	P1	37	57	850	20
	P2	39	60	900	–
	P3	48	35	790	–
	P4	41	67	1100	37

(Россия, г. Санкт-Петербург). Минимальный детектируемый уровень ППР – 9 мБк/м²с, погрешность в измерениях варьируется в пределах от 15 до 40%.

Мощности экспозиционных доз (МЭД) фоновых излучений измерялись над каждой площадкой на высоте 1 м портативным радиометром “SafecastbGeigieNano”. Кстати отметим, что этот прибор позволяет также определять GPS-координаты, которые вместе с измеренной дозой и временем измерения записываются на SD-карту.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты наших исследований сведены в табл. 1–3 и рис. 7–10. В табл. 1 показаны средние значения удельных активностей A_{cp} радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , плотности потока радона C , размах R ($R = \max/\min$). Приведены также средние значения мощности эквивалентной дозы естественного фона (D).

В табл. 2 оценены средние значения запасов (Q_{cp}) КРН ^7Be и ТРН ^{137}Cs и приведен размах их значений R . Пробы грунта для проведения анализов на предмет миграции радионуклида ^{137}Cs отбирались до глубин $Z = 40$ см. Графически вертикальное распределение (по глубинам) показано на рис. 10. В табл. 2 приведены также данные

предыдущих исследований в местностях, соседних с объектами “НУРАТА” [9], “КАРАТЕПА” [10] и “ПЕРЕВАЛ” [11].

Данные о средних значениях удельной активности ^{222}Rn в пробах воды из естественных водисточников на территории объектов “НУРАТА”, “КАРАТЕПА”, “ПЕРЕВАЛ” и “ГИССАР” приведены в табл. 3.

Полученные результаты в одних случаях сопоставимы, в других – выше или ниже соответствующих данных в других регионах мира. Например, активности ЕРН в верхних слоях почв (10–30 см) составляют:

– в 12 местностях, прилегающих к г. Стамбул – $A_{\text{Ra}} = 39$ (30–46), $A_{\text{Th}} = 57$ (48–67) и $A_{\text{K}} = 940$ (720–1200) Бк/кг [22];

– в девяти испытательных площадках в Беларуси – $A_{\text{Ra}} = 21$ (15–27), $A_{\text{Th}} = 7.2$ (7–9) и $A_{\text{K}} = 525$ (213–660) Бк/кг [23];

– в трех площадках в окрестностях уранового месторождения в Акмолинской области – $A_{\text{Ra}} = 153$ (65–249), $A_{\text{Th}} = 97$ (50–144) и $A_{\text{K}} = 950$ (700–1500) Бк/кг [24].

Запасы ТРН ^{137}Cs в поверхностных (~10 см) слоях почвы (оценки по удельным активностям): в лесном заповеднике “Большая Кошара” в Республике Марий Эл – $Q \approx (0.8–1.0)$ кБк/м² [25]; в степи,

Таблица 2. Средние значения запасов радионуклидов (Q_{cp}) ^7Be и ^{137}Cs в почвах пробных площадок обследованных местностей в 2017–2019 гг., размах (R). Отбор проб с глубин Z
Table 2. The average reserves of radionuclides (Q_{mid}) ^7Be and ^{137}Cs in the soils of sample plots of the surveyed locations in 2017–2019, range (R). Sampling with the depths Z

Местность	Площадки	Атмосферные осадки, мм/год	Год	^7Be	^{137}Cs	
				Q_{cp} (кБк/м ²)/ R	Q_{cp} (кБк/м ²)/ R	Z , см
НУРАТА	S1–S21	250–500	2018	0.44/2.5	2.8/2	4–6
			2019	0.17/3.4		
	P1, P2		2018	0.70–0.82	4.1/1.2	
			2019	0.30–0.35		
	Работа [9]		2007	0.17–0.24		
КАРАТЕПА	S1–S15	250–500	2018	0.33/2.5	4.7/1.6	6
			2019	0.18/5.3		
	P1, P2		2018	0.48–0.56	5.9/1.5	
			2019	0.24–0.40		
	Работа [10]		2014	0.14–0.22		
ПЕРЕВАЛ	S1–S6	880	2019	0.57/2.6	5.3/1.4	15
	C1–C3		2019	0.60/2.5	–	
	P1, P2		2019	0.81/1.4	6.8/1.2	30
	C4		2019	0.87	–	
ЧАКИЛ	S1–S15	880	2018	0.09/4.1	6.7/1.6	20
			2019	0.65/1.6		
	Работа [12]		2010	0.80–1.10		
ГИССАР	S1–S3	>700	2017	0.49/1.5	3.6/1.1	2–3
	S4–S11			0.17/1.5	3.0/2.2	3–4
	S12			0.36	3.6	6
	S13–S14			0.20/1.4	0.2–0.3	2–3
	P1			0.44	9.0	40
	P2			0.57	12	40
	P3			0.52	0.4	40
	P4			0.71	17.0	40

прилегающей к Семипалатинскому ядерному испытательному полигону, $Q \approx (3–20)$ кБк/м² [26].

Запасы КРН ^7Be в поверхностных слоях почв лёссового плато в Северном Китае – $Q \approx (0.247–0.642)$ кБк/м² [27].

Плотности потоков радона ^{222}Rn в различных частях Австралии $C = (13–264)$ мБк/(м²с) [28].

Активности ^{222}Rn в родниках и реках Зирабулакских гор в Нурабадском районе $A = <5–120$ Бк/дм³ [13].

Обеднение верхних слоев почв естественными радионуклидами (рис. 9), в особенности ^{40}K , отмечено во многих исследованиях, в частности в [22].

ОБСУЖДЕНИЕ

Активности ЕРН (табл. 1) в почвах исследованных площадок флуктуируют в пределах от $R =$

$= 1.9$ для ^{40}K до $R = 2.6$ для ^{226}Ra . Различия их средних значений на местностях достигают фактора $R = 2$, при этом их значения в подножиях несколько выше, чем на площадках склонов. Очевидно, что отмеченные обстоятельства обусловлены различиями геологических историй местностей, интенсивностей почвенных и процессов, протекающих на отдельных площадках (эрозии – обедняющих и седиментации – обогащающих почвы радионуклидами).

Обеднение верхних слоев почв площадок ЕРН (рис. 9) принято связывать с деятельностью корневых систем их растительного покрова, извлекающих из них, вместе с необходимыми для их жизнедеятельности химическими элементами, и радионуклиды. В подножиях горных местностей этот фактор может усиливаться седиментацией на их поверхностях стекающих продуктов эрозии склонов, обедненных ЕРН. В почвах площадок

склонов, с менее плотным, по сравнению с подножиями, травным покровом, обедненные ЕРН верхних слоев почв прослеживаются нерегулярно.

Плотности потоков радона (табл. 1) флуктуируют на исследованных площадках местностей, по сравнению с ЕРН, в значительно больших пределах $R = 5$, а их значения минимальны на площадках “КАРАТЕПА”, “ПЕРЕВАЛ” и на площадках подножия “ГИССАР”. Различия ППР на склонах и подножиях максимальны в “ГИССАР”. Эти обстоятельства обусловлены тем, что радон ^{222}Rn образуется в урановых минералах подстилающих горных пород, по их трещинам и порам, а затем через почвенный покров они эмигрируют в атмосферу. Очевидно, что концентрация урановых минералов в подстилающих породах, распределение трещин и глубины их залегания, толщины почвенного покрова и его состояния на различных участках местности и на разных местностях флуктуируют в заметных пределах. Обращает на себя внимание корреляция между средними значениями ППР, МЭД и активностями ^{226}Ra (материнский радионуклид ^{222}Rn) на площадках местностей.

Атмосферные выпадения радионуклидов, в том числе КРН ^7Be и ТРН ^{137}Cs , обусловлены в большей степени мокрыми осадками и в меньшей — сухими (это хорошо установленный факт), поэтому их запасы, а для ^{137}Cs и глубины миграции, в почвах определяются помимо физико-химических характеристик почв количеством поглощенных в них осадочных вод.

Результаты наших исследований (табл. 2, рис. 10) соответствуют этому выводу — значения запасов ^7Be и ^{137}Cs в почвах склонов и подножиях, за исключением запасов ^7Be в 2018 г., коррелируют со

Таблица 3. Удельная активность ^{222}Rn в пробах вод
Table 3. Specific activity of ^{222}Rn in water samples

Местность	Проба	A, Бк/дм ³
НУРАТА	V1 родник	65
	V2 исток реки Пангатсай	5
КАРАТЕПА	V1 родник	50
	V2 водопой	12
ПЕРЕВАЛ	V1 карстовый ручей	85
	V2 исток реки Аманкутансай	7
ГИССАР	V1 исток ручья	38
	V2 нижнее течение ручья	16
	V3 река Танхоздаря	<5

среднегодовыми уровнями мокрых осадков местностей, причем в подножиях они заметно, а в “ГИССАРЕ” многократно, выше, чем на склонах.

Запасы ^7Be в 2018 г. в почвах объектов “НУРАТА”, “КАРАТЕПА” и “ЧАКИЛА” резко отличаются от данных 2019 и более ранних годов. Это связано с тем, что 2018 г. был чрезвычайно сухим (по данным служб гидрометеорологии РУз в период январь—август 2018 г. в г. Самарканде выпало 137 мм осадков, в то время как в 2017 г. — 288 мм, а в 2019 г. — 370 мм), в результате чего в аридных местностях “НУРАТА” и “КАРАТЕПА” запыленность воздуха, обуславливающая интенсивности выпадения ^7Be с сухими осадками, в 2018 г. многократно выросла, а во влажном “ЧАКИЛ” запыленность воздуха осталась на обычном уровне.

Значительные различия в запасах ^{137}Cs на площадках склона и подножиях “ГИССАР” обусловлены следующим:

— в отличие от местностей “НУРАТА”, “КАРАТЕПА”, “ПЕРЕВАЛ” и “ЧАКИЛ”, почвенный

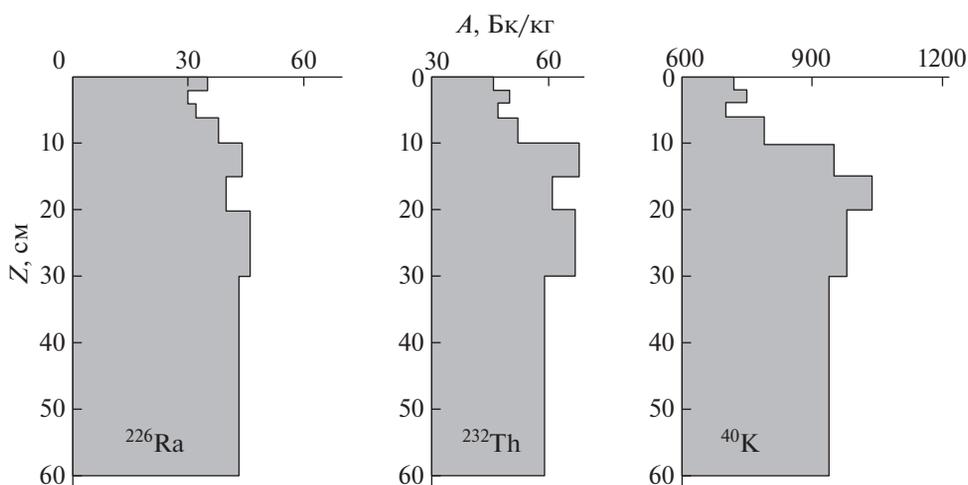


Рис. 9. Зависимость удельной эффективной активности A радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K от глубины залегания Z в почве на площадке P2 “ГИССАР”.

Fig. 9. Dependence of the specific effective activity A of radionuclides ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K from the depth Z in the soil on the site P2 “GISSAR”.

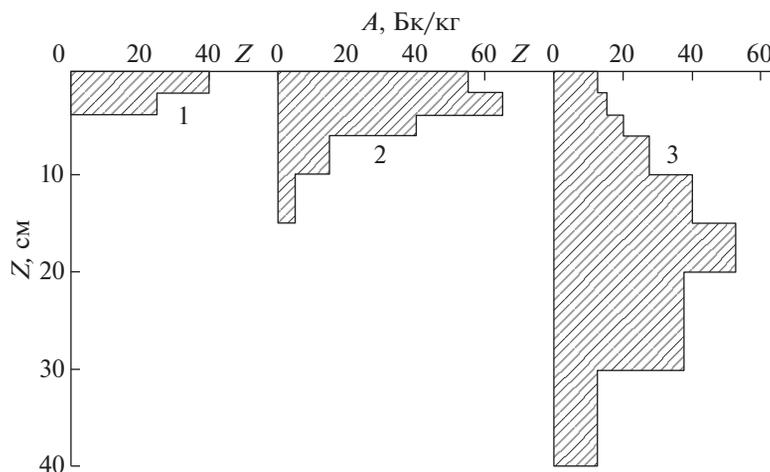


Рис. 10. Зависимость удельной эффективной активности A радионуклида ^{137}Cs от глубины залегания Z в почве на отдельных площадках “НУРАТА-1”, “ЧАКИЛ-2” и “ГИССАР-3”.

Fig. 10. Dependence of the specific effective activity A of radionuclide ^{137}Cs from the depth Z in the soil on the individual sites “NURATA-1”, “CHAKYL-2” and “GISSAR-3”.

слой на склоне “ГИССАРА” необычайно тонок ($\Delta Z = 2\text{--}6$ см), каменистый, сильно эрозированный и, соответственно, мал и поглощенные в нем осадочные и талые воды, определяющие запасы ^{137}Cs . В почве площадки S12, на которой толщина слоя возрастает до $\Delta Z = 6$ см, запасы ^{137}Cs выше, чем на остальных площадках, а на площадках S13–S15, расположенных на берегу ручья, по которым ежегодно стекают мощные селевые потоки, смывая запасы ^{137}Cs , они в результате весьма незначительны;

– стекающие со склонов осадочные воды, вместе с продуктами эрозии почв склонов поглощаются во влагоемком почвенном слое подножия, что обуславливает высокие запасы и глубины миграций ($Z > 40$ см) в нем ^{137}Cs , сравнимые с запасами в почвах степи, примыкающей к Семипалатинскому полигону;

– в почве “вспаханной” P3 площадки подножия ^{137}Cs проявляется только в отдельных слоях в следовых концентрациях, что связано с интенсивным вымыванием цезия поливными водами. Значения запасов ^{7}Be и ^{137}Cs на площадках подножий коррелируют между собой со степенями их увлажнения – на “переувлажненном” участке P4 они максимальны, на “влажном” P2 – они уменьшаются, а на “сухом” P1 – минимальны.

Активности ^{222}Rn в природных водах обусловлены концентрациями радона в подземных водах, эманированного из горных пород, и интенсивностями процессов дегазации вод после выхода на открытую поверхность. В соответствии с этим активности проб воды (табл. 3) из родников из объектов “НУРАТА”, “КАРАТЕПА” и подземных ручьев на объекте “ПЕРЕВАЛ” много больше, чем в соответствующих пробах стекающих вод в Пангатсае, водопое и Аманкутансае. Активности

проб воды, взятых в истоке ручья на объекте “ГИССАР”, более чем в 2 раза выше активности проб, взятых в этом же ручье ниже по течению.

Что касается пробы, отобранной в реке Танхоздарья, то ее активность ниже минимальной детектируемого значения, что объясняется стремительным течением реки по руслу реки с многочисленными порогами, что приводит к практически полной дегазации воды.

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– величины и степени различий значений запасов КРН ^{7}Be и ТРН ^{137}Cs в почвах площадок местностей зависят от интенсивностей выпадений на них атмосферных осадков. В дождливые года эти величины преобладают в районах мокрых осадков, а в засушливые – сухих. Так же величины и степени различий зависят от интенсивностей, протекающих на отдельном участке местности, почвенных процессов: на склонах – эрозии, в подножиях – седиментации; при этом степени различия максимальны в высокогорьях и минимальны в низкогорьях;

– обеднение верхних слоев почвы ЕРН зависит от густого травяного покрова почвы площадок и седиментации на ней продуктов эрозии, обедненных ЕРН;

– на запасы и глубин миграции ^{137}Cs в почве площадок влияет количество поглощенных в ней осадочных вод;

– интенсивности потоков радона на площадках зависят, помимо других факторов, от толщины и состояния почвенного покрова;

– активности радона в природных водах карстового происхождения зависят от первоначальной их активности, интенсивности и длительно-

сти процессов их дегазации после выхода на открытую поверхность.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность сотруднику ядерно-физической лаборатории Самаркандского университета И.А. Шаронову за ценные замечания и помощь в редактировании статьи.

Данная статья посвящается светлой памяти наставника, академика Академии наук Узбекистана Толиба Мусаевича Муминова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы Республики Узбекистан. СанПиН № 0193-06. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). Ташкент, 2006. [Sanitarnye normy, pravila i gigienicheskie normativy Respubliki Uzbekistan. SanPiN № 0193-06. Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-2006) i osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoi bezopasnosti (OSPORB-2006). Tashkent, 2006 (In Russ.)]
2. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009). М.: 2009. [Sanitarnye normy, pravila i gigienicheskie normativy. SanPiN 2.6.1.2523-09. Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB 99/2009). Moskva, 2009 (In Russ.)]
3. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Report to the General Assembly United Nation. New York, 2008.
4. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Report to the General Assembly United Nation. New York, 2000.
5. Прохоров В.М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. М.: Энергоиздат, 1981. [Prohorov V.M. Migratsiya radioaktivnykh zagryazneniy v pochvakh. M.: Energoizdat, 1981. (In Russ.)]
6. Walling D.E. Use of ¹³⁷Cs and other fallout radionuclides in soil erosion investigation: progress, problems and prospects. IAEA-TECDOC-828. Viena: IAEA, 1995. P. 39–62.
7. Assessing Recent Soil Erosion Rates through the Use of Berillium-7 (Be-7) / Ed. L. Mabit, W. Blake. Springer Open, 2019.
8. Воронов С.Н., Алексахин Р.М. Основы и закономерности миграции ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в естественных и культурных ценозах Узбекистана (радиоэкология Ташкентского оазиса) // Атомная энергия. 1992. Т. 73. Вып. 2. С. 131–138. [Voronov S.N., Alexakhin R.M. Osnovy i zakonmernosti migratsii ⁹⁰Sr i ¹³⁷Cs v estestvennykh i kul'turnykh tsenozakh Uzbekistana (radioekologiya Tashkentskogo oazisa) // Atomnaya Energiya. 1992. V. 73. Vyp. 2. P. 131–138. (In Russ.)]
9. Inoyatov Kh., Muminov T.M., Mukhamedov A.K. et al. Radionuclides in the environment of Nuratau // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2007. V. 273. № 2. P. 497–506.
10. Muminov T., Nasyrov M., Scjtt Van Pelt R. et al. Radionuclides in soils along mountain – Basin transect in the Koratepa Mountains of Uzbekistan // J. Soil Water Conserv. 2010. V. 75. № 5. P. 117–121.
11. Азимов А.Н., Жонзоков А.О., Муминов Т.М. и др. Исследование эрозии и седментации почв в юго-западных отрогах Заравшанского хребта методом гамма-спектроскопии // Вестн. СамГУ. 2016. № 1. С. 82–87. [Azimov A.N., Zhonzokov A.O., Muminov T.M., i dr. Issledovanie erozii i sedimentatsii pochv v yugo-zapadnykh otrogakh Zaravshanskogo khrebta metodom gamma-spektroskopii // Vestnik SamGU. 2016. № 1. P. 82–87. (In Russ.)]
12. Азимов А.Н., Сафаров А.А., Сафаров А.Н. и др. Радиоактивность природных вод Нурабадского района Самаркандской области // Атомная энергия. 2015. Т. 118. Вып. 3. С. 175–177. [Azimov A.N., Safarov A.A., Safarov A.N. i dr. Radioaktivnost' prirodnykh vod Nurabadskogo raiona Samarkandskoi oblasti // Atomnaya energiya. 2015. V. 118. № 3. P. 175–177. (In Russ.)]
13. Азимов А.Н., Базарбаев Н.Н., Иноятлов А.Х. и др. Радионуклиды в лишайниках и почвах отрогов Заравшанского хребта // Атомная энергия. 2016. Т. 120. Вып. 4. С. 232–234. [Azimov A.N., Bazarbaev N.N., Inoyatov A.Kh. i dr. Radionuklidy v lishainikakh i pochvakh otrogov zarafshanskogo khrebta // Atomnaya energiya. 2016. V. 120. № 4. P. 232–234. (In Russ.)]
14. Маматкулов О.Б. Гамма-спектрометрические исследования запасов и миграции Cs-137 в почвах некоторых территорий Узбекистана: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Ташкент, 2002. [Mamatkulov O.B. Gamma-spektrometricheskie issledovaniya zapasov i migratsii Cs-137 v pochvakh nekotorykh territorii Uzbekistana: Dissertation. Tashkent, 2002. (In Russ.)]
15. Маурапов Р. Орографические характеристики и некоторые особенности рельефа Нуратинских гор // Изв. УзГУ. Ташкент: ФАН, 1968. Вып. XI. С. 18–19. [Mashrapov R. Orograficheskie kharakteristiki i nekotorye osobennosti rel'efa Nuratinskikh gor // Izvestiya UzGU. Tashkent: FAN, 1968. Vyp. XI. P. 18–19. (In Russ.)]
16. Джуракулов М.Д., Зуева О.В., Мамедов Э.Д. и др. Полевая практика в горах Каратепа // Изд. СамГУ. Самарканд: Изд-во Самарканд. ун-та, 1992. [Dzhurakulov M.D., Zueva O.V., Mamedov E.D. i dr. Polevaya praktika v gorakh Karatepe // Izd. SamGU. Samarkand: Izdatel'stvo Samarkandskogo universiteta, 1992. (In Russ.)]
17. Алибеков Л.А. Ландшафты и типы земель Заравшанских гор. Ташкент: Изд-во ФАН, 1982. [Alibekov L.A. Landshafty i tipy zemel' Zaravshanskikh gor. Tashkent: Izdatel'stvo FAN, 1982 (In Russ.)]
18. Заповедники Средней Азии и Казахстана / Под общей ред. В.Е. Соколова и Е.Е. Сыроечковского). М.: Изд-во “Мысль”, Редакция географической литературы, Серия “Заповедники СССР”, 1990. [Zapovedniki Srednei Azii i Kazakhstana (pod obshchei redaktsiei V.E. Sokolova i E.E. Syroechkovskogo). – Moskva: Izdatel'stvo “Mysl”, Redaktsiya geograficheskoi literatury, Seriya “Zapovedniki SSSR”, 1990. (In Russ.)]

19. Методика выполнения измерений плотности потока Радона-222 с различных поверхностей. ООО РАДЭК. Свидетельство об аттестации № 225/09. СПб.: ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2007. [Metodika vypolneniya izmerenii plotnosti potoka Radona-222 s razlichnykh poverkhnostei. ООО RADEK. Svidetel'stvo ob attestatsii № 225/09. Sankt-Peterburg: FGUP VNIIM im. D.I. Mendeleeva, 2007. (In Russ.)]
20. Методика выполнения измерений удельной активности радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137, стронция-90 в пробах продукции промышленных предприятий, предприятий сельского хозяйства и объектов окружающей среды. ООО РАДЭК. Свидетельство об аттестации 805/05. СПб.: ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2007. [Metodika vypolneniya izmerenii udel'noi aktivnosti radionuklidov radiya-226, toriya-232, kaliya-40, tseziya-137, strontsiya-90 v probakh produktitsii promyshlennykh predpriyatii, predpriyatii sel'skogo khozyaistva i ob'ektov okruzhayushchei sredy. ООО RADEK. Svidetel'stvo ob attestatsii 805/05. Sankt-Peterburg: FGUP VNIIM im. D.I. Mendeleeva, 2007. (In Russ.)]
21. Azimov A.N., Hushmuradov S.K., Muminov I.T. et al. Gamma-spectrometric determination of natural radionuclides and ^{137}Cs concentrations in environmental samples. The improved scintillation technique // Radiat. Measur. 2008. V. 43. P. 66–71.
22. Delivermis M. Vertical distributions ^{137}Cs , ^{232}Th and ^{226}Ra in soil samples from Istanbul and its environs // Radiat. Prot. Dosim. 2012. V. 157. P. 511–522.
23. Ерошев А.И., Марцунь И.Н., Антоненков А.И. Исследования содержания естественных радионуклидов в различных объектах природной среды Республики Беларусь // Журн. БелГУ. Сер. Экология. Минск: Изд-во Белорус. ун-та. 2018. № 3. С. 56–61. [Eroshev A.I., Martsun' I.N., Antonenkov A.I. Issledovaniya sodержanii estestvennykh radionuklidov v razlichnykh ob'ektakh prirodnoi sredy Respubliki Belar-us' // Zhurnal BelGU. Seriya "Ekologiya". Minsk: Izd-vo Belorusskogo universiteta. 2018. № 3. P. 56–61. (In Russ.)]
24. Имашева Б.С. Радиоэкологические исследования территорий некоторых поселков Акмолинской области // Вестн. Караганд. ун-та. 2010. Доступно по <http://articlekz.com>. Ссылка активна на ноябрь 2021. [Imasheva B.S. Radioekologicheskie issledovaniya territorii nekotorykh poselkov Akmolinskoi oblasti // Vestnik Karagandinskogo universiteta. 2010. Dostupno po <http://articlekz.com>. Ssylka aktivna na noyabr' 2021. (In Russ.)]
25. Гончаров Б.А., Пигалин Д.И. Распределение техногенных и естественных радионуклидов в лесных экосистемах заповедника "Большая кошара" // Вестн. Приазовского Гос. техн. ун-та. 2013. № 4(20). С. 76–88. [Goncharov B.A., Pigalin D.I. Raspreделение tekhnogennykh i estestvennykh radionuklidov v lesnykh ekosistemakh zapovednika "Bol'shaya koshara" // Vestnik Priazovskogo Gos. tekhn. universiteta. 2013. № 4(20). P. 76–88. (In Russ.)]
26. Ахметов Б.Ж., Чалдаева Е.Г., Абубакирова С.М. Загрязненность почвы искусственными радионуклидами на территориях, прилегающих к Семипалатинскому ядерному полигону. 2014. Доступно по <http://cyberleninka.ru>. Ссылка активна на ноябрь 2021. [Akhmetov B.Zh., Chaldaeava E.G., Abubakirova S.M. Zagryaznennost' pochvy iskusstvennymi radionuklidami na territoriyakh, prilegayushchikh k Semipalatinskomu yadernomu poligonu. 2014. Dostupno po <http://cyberleninka.ru>. Ssylka aktivna na noyabr' 2021. (In Russ.)]
27. Zhong F., Yang M., Zhang J. Berillium-7 in vegetation soil, sediment and runoff on the northern Loess Plateau // Sci. Environ. 2018. V. 626. P. 842–850.
28. Griffiths A.D., Zaharovski W., A. Element, Werizynski F. Radioflux at the Australian land surface // Atmos. Chem. Phys. 2010. V. 10. P. 8969–8989.

Radionuclides in Soils, Waters and Surface Air in Certain Mountainous Areas of Uzbekistan

N. N. Bazarbayev^a, A. K. Ivanov^{b,*}, A. H. Inoyatov^c, O. B. Mamatkulov^b, I. T. Muminov^a, T. M. Muminov^{a,b}, L. T. Nurmuradov^b, A. A. Safarov^b, and A. T. Khudaiberdiev^d

^a National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

^b Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan

^c Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

^d Karshi Branch of Tashkent University of Information Technologies, Karshi, Uzbekistan

*E-mail: dvader425@gmail.com

Results of γ -spectroscopic research of concentrations and vertical distributions of natural ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , technogenic ^{137}Cs and cosmogenic ^7Be radionuclides in soils, radon flux density in the surface air and radon concentration in waters in some regions of Nurata, Karatepa, Chakilalyan and Gissar mountains of Uzbekistan are presented in the work. The dependence of these values on the physiographic characteristics of areas, the intensity of natural and anthropogenic processes occurring on them, weather and other factors was revealed.

Keywords: radionuclides, gamma spectrometer, scintillation detector, sorption detector, radon, atmospheric fallouts, soil, water, ground air