

РАДИОНУКЛИДЫ

УДК 582.475.4:57.084.2:574.2:539.163:539.1.074

**СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ХВОЕ *Pinus sylvestris* L.
В УСЛОВИЯХ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ
(ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)**

© 2023 г. М. З. Моллаева^{1,*}, Ф. А. Темботова¹, А. М. Гангапшев², В. В. Казалов², А. М. Гежаев²

¹Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова, Нальчик, Россия

²Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

*E-mail: monika.011@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.08.2022 г.

После доработки 19.05.2023 г.

Принята к публикации 21.06.2023 г.

Представлены оригинальные данные о содержании радионуклидов естественного (примордиальные и космогенные) и техногенного происхождения в ассимиляционном аппарате сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на территории Западного Кавказа (в пределах Карачаево-Черкесской Республики). В хвое сосны выявлено содержание радиоизотопов бериллия ⁷Be, калия ⁴⁰K, тория ²³²Th, урана ²³⁸U и цезия ¹³⁷Cs. Выявлена связь содержания радионуклидов в образцах хвои сосны обыкновенной ⁷Be, ²³⁸U, ¹³⁷Cs с высотой мест произрастания.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, ⁷Be, ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U, ¹³⁷Cs, гамма-спектрометр, *Pinus sylvestris* L., Западный Кавказ

DOI: 10.31857/S0869803123040069, **EDN:** OSCLJW

В связи с развитием атомной промышленности, созданием ядерного оружия, радиационными авариями наша планета подвержена загрязнению радионуклидами. Особый интерес представляет изучение лесообразующих древесных видов, отличающихся высокой чувствительностью к загрязнению воды, почвы и воздуха [1]. Сосна обыкновенная является одним из природных объектов для экологического и генетического мониторинга воздействия различного рода загрязнений на древесные растения, служит биоиндикатором окружающей среды [2, 3]. Данные о высокой чувствительности хвойных растений к загрязнению различными поллютантами, в том числе тяжелыми металлами и радионуклидами, известны в мире с 1960-х гг. и отмечены во многих исследованиях зарубежных и российских ученых [4–6]. Длительное воздействие ионизирующего излучения вызывают изменения морфометрических показателей вегетативных и генеративных органов сосны, особенно чувствительна пыльца [7]. Минимальная доза облучения, которая вызывает при длительном воздействии (несколько лет) морфологические изменения, составляет 0.02 Гр/сут. По данным авторов, высокая концентрация активности радионуклидов наблюдается в хвое, молодых побегах, тогда как древесина остается незагрязненной [4]. В Брянской области обнаружены треххвойные брахибла-

сты в популяциях сосны, произрастающих на радиоактивно загрязненных участках [8, 9]. Сведения о содержании естественных радионуклидов в почве и растениях Кавказа носят фрагментарный характер [10–13], практически отсутствуют данные для лесной растительности, что не дает полноценной картины для оценки влияния естественного радиационного фона на растительность в условиях гор Кавказа.

Изучение содержания радионуклидов в хвое сосны в условиях Западного Кавказа представляет огромный интерес для оценки воздействия на растения радионуклидов как техногенного, так и природного происхождения в горных условиях. В связи с этим целью настоящей работы является оценка количественного содержания радионуклидов в хвое сосны обыкновенной на территории Карачаево-Черкесской Республики в пределах Тебердинского национального парка.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили разновозрастные выборки сосны обыкновенной, произрастающей на Западном Кавказе, на территории Тебердинского заповедника в пределах высот 1300–2000 м над уровнем моря (рис. 1). Выборки заложены в изолированных ущельях рек: Большой Зеленчук – “Архыз”, (1820 м), Теберда –



Рис. 1. Схема расположения выборок сосны обыкновенной в Карачаево-Черкесской Республике.

Fig. 1. Schematic view of arrangement of samples of Scots pine in the Karachay-Cherkess Republic.

“Теберда” (1330 м), и его притоков — правый берег р. Гоначхир — “Гоначхир” (1671 м), Джаматат — “Джаматат” (1820 м).

Материалом исследования были образцы хвои (0.345 кг), которые отбирали в средней части кроны с 12 деревьев. Такой небольшой объем выборки считается достаточным для получения достоверных результатов исследований [14–16]. Для учета всех факторов радиационного загрязнения (пыль, осадки и пр.) пробоподготовку образцов хвои не проводили. Радиационно-экологические исследования хвои сосны включали определение удельной активности радионуклидов различного происхождения. Определение содержания радионуклидов проводили гамма-спектрометрическим методом, который заключается в определении величины пиков полного поглощения в спектрах образцов от полного поглощения γ -квантов, образующихся при распаде некоторых радионуклидов.

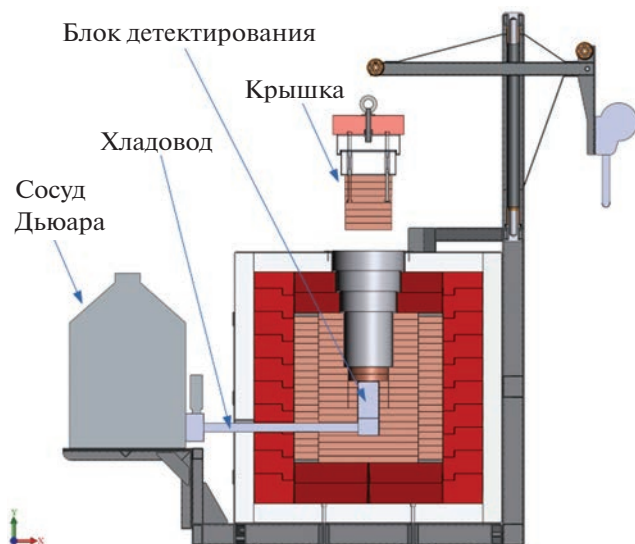


Рис. 2. Схематический вид низкофоновой гамма-спектрометра в пассивной защите. Розово-коричневый цвет обозначает медный защитный слой, красный — свинцовый слой, а белый — борированный полиэтилен.

Fig. 2. Schematic view of a low-background gamma spectrometer in passive protection. The pink-brown color marks the copper layer of protection, the red — the lead layer, and the white — the borated polyethylene.

В работе использовали низкофоновые гамма-спектрометры МКГБ-01 “РАДЭК” (Россия) с блоком детектирования из сверхчистого германия БДЕГ-К специального исполнения для низкофоновых исследований (рис. 2). В целях защиты блока детектирования от внешней радиации (α -, β -, γ -излучений и нейтронов) сконструирована комплексная пассивная защита из меди, свинца и борированного полиэтилена. Для снижения фона гамма-спектрометра, связанного с космическими лучами (в основном от мюонов), установка расположена в подземной низкофоновой лаборатории (в штольне БНО ИЯИ РАН), где

Таблица 1. Длительность измерений и масса образцов
Table 1. Duration of measurements and weight of samples

Выборки	Высота местности, м	Масса образца, г	Время измерений, ч
Архыз	1820	24	105
Джамагат	1820	35	111
Гоначхир	1671	26	105
Теберда	1330	13	105

поток мюонов космических лучей снижен более чем в 100 раз.

Далее проводили расчет активности радионуклидов с учетом эффективности регистрации γ -квантов — k . Значение k определялось по результатам розыгрыша 10^6 распадов радионуклида в исследуемом образце хвои с помощью программы МСС-МТ, предназначенной для имитационного трехмерного моделирования процессов переноса и регистрации ионизирующих излучений (метод Монте-Карло), внесенной в Единый реестр российских программ для ЭВМ. Количество событий в пике полного поглощения S определялось из величины соответствующего пика (площади под пиком) в измеренном спектре для каждого образца. Проверка правильности расчетов с помощью программы МСС-МТ проводилась калибровочными измерениями с образцами с известной активностью радионуклидов в них.

Удельную активность радионуклидов определяли по формуле:

$$A = \frac{10^6}{k} \cdot \frac{S}{tm}, \quad (1)$$

где A — удельная активность радионуклида [Бк/кг], k — расчетное количество регистрируемых γ -квантов на 10^6 распадов, S — количество событий в пике, t — время измерения [с], m — масса образца, кг (табл. 1).

Ввиду короткого периода полураспада (53.22 сут) [17] и относительно большого интервала между сбором образцов хвои и средним временем измерений (42–48 сут) активность ^7Be существенно снизилась. Для определения его активности на момент сбора образцов хвои с учетом его периода полураспада измеренная активность ^7Be умножалась на коэффициенты: 1.82, 1.75, 1.73 и 1.87 для выборок Архыз, Джамагат, Гоначхир и Теберда соответственно (временные интервалы

равны 46, 43, 42 и 48 сут). Коэффициенты определялись по формуле:

$$r = e^{\left(\frac{\ln 2t}{T_{1/2}}\right)}, \quad (2)$$

где r — коэффициент, t — временной интервал между сбором образца и средним временем измерений, $T_{1/2}$ — период полураспада ^7Be .

В связи с тем, что хвоя не подвергалась какой-либо пробоподготовке, активность ^7Be обусловлена его наличием на поверхности хвои, накопленного в результате его осаждения из верхних слоев атмосферы вместе с осадками. Для наглядности данные по активности ^7Be на момент сбора образцов хвои также были использованы для определения коэффициента корреляции Спирмена.

Статистическую обработку полученных данных проводили посредством нескольких программ: ММС — расчет эффективности регистрации γ -квантов, SciDAVIS — построение и обработка спектров. Для выявления взаимосвязей рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена в программе STATISTICA-12.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Активность ^{232}Th определяли по линии 238.6 кэВ, ^{238}U — по линии 351.9 кэВ, ^{235}U — по линии 143.8 кэВ, ^{40}K — по линии 1460.8 кэВ, ^7Be — по линии 477.6 кэВ, ^{137}Cs — по линии 661.7 кэВ. На рис. 3 представлен спектр, полученный на гамма-спектрометре с образцом хвои, где во вкладке показан пик от γ -линии 1460.8 кэВ (^{40}K) и функция Гаусса, полученная в результате фитирования.

По результатам исследования хвои в выборках сосны обыкновенной Карачаево-Черкесской Республики отмечаются радионуклиды естественного и техногенного происхождения (табл. 2).

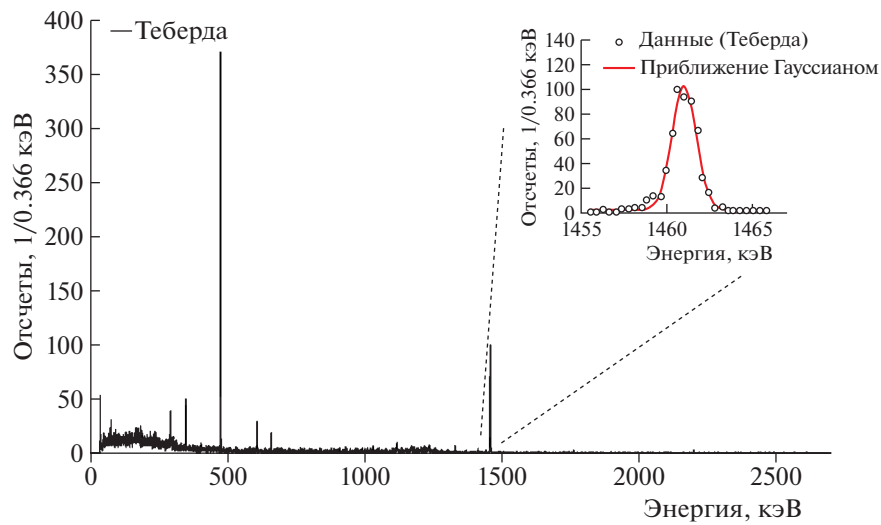


Рис. 3. Спектр, измеренный на гамма-спектрометре с образцом хвои. Во вкладке показаны пик от γ -линии 1460.8 кэВ (^{40}K) и результат фитирования функцией Гаусса.
Fig. 3. Spectrum of the sample needles measured with gamma spectrometer. The tab shows the peak of 1460.8 keV gammas (^{40}K) and the result of fitting by Gaussian.

Так, согласно табл. 2, наибольшее количество ^7Be обнаружено в выборке Теберда (170.5 Бк/кг), меньше всего бериллия в выборке Джамагат (52.0 Бк/кг). Содержание радионуклида естественного происхождения ^{40}K варьирует от 76.9 до 103.6 Бк/кг, тория ^{232}Th от 0.11 до 0.34 Бк/кг. Удельная активность радионуклидов ^{235}U не отмечается в данных образцах, а радионуклид ^{238}U присутствует в количестве от 0.18 до 2.06 Бк/кг.

С учетом короткого периода полураспада ^7Be (53.22 сут) [17] и сильной связи содержания ^7Be с осадками [18, 19] сбор материала и измерения проводили в летний период. Максимальное зна-

чение ^7Be в хвое сосны на исследуемой территории составляет 91.2 Бк/кг, что в сравнении с данными литературы [20–22] не превышает значений в растительных объектах.

Из радионуклидов техногенного происхождения на исследуемой территории обнаружен цезий ^{137}Cs , содержание его в наших образцах, вероятно, обусловлено глобальным загрязнением (последствиями испытаний ядерного оружия и аварии на Чернобыльской АЭС и т.д.). Максимальная удельная активность ^{137}Cs отмечается в выборке Теберда 0.68 Бк/кг, что в разы превышает содержание в образцах остальных выборок, но гораздо ниже, чем в хвое сосны в зоне техногенного воз-

Таблица 2. Удельная активность радионуклидов в образцах хвои сосны обыкновенной
Table 2. Specific activity of radionuclides in samples of pine needles

Образец хвои	Радионуклид					
	^7Be	^{40}K	^{232}Th	^{235}U	^{238}U	^{137}Cs
	Удельная активность, Бк/кг					
Архыз	94.3 ± 2.5	94.8 ± 3.1	0.34 ± 0.05	н/о	0.49 ± 0.07	0.27 ± 0.05
Джамагат	52.0 ± 1.6	76.9 ± 2.2	0.11 ± 0.04	н/о	0.18 ± 0.05	0.04 ± 0.02
Гоначхир	67.6 ± 2.1	103.6 ± 3.1	0.15 ± 0.05	н/о	1.17 ± 0.11	0.25 ± 0.04
Теберда	170.5 ± 2.5	95.4 ± 4.3	0.27 ± 0.11	н/о	2.06 ± 0.19	0.68 ± 0.09

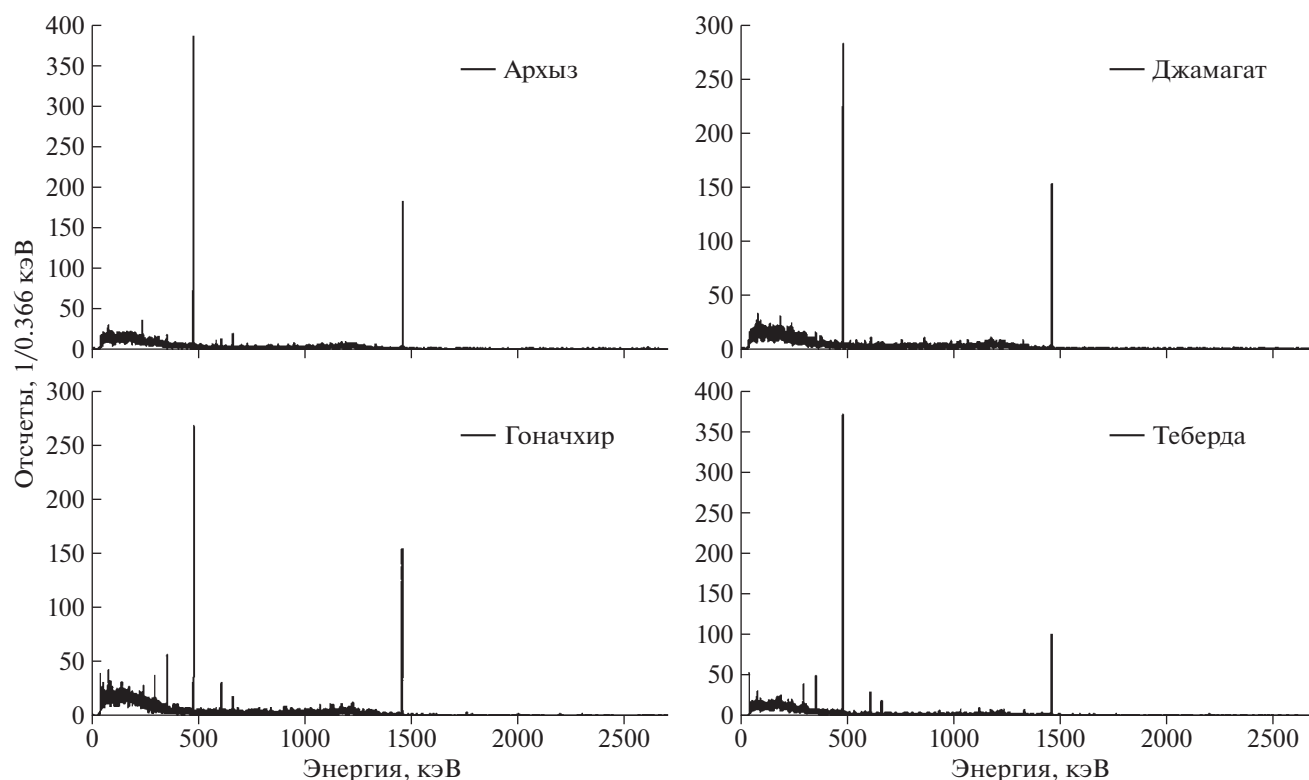


Рис. 4. Формы спектров, измеренных на гамма-спектрометрах, с образцами хвои.

Fig. 4. Spectra of the samples of needles.

действия [3, 20, 23]. Следует отметить, что цезий не был отмечен нами для сосны в соседней республике [16], но присутствует в значительных количествах в криоконитах Центрального Кавказа [24], что дает основание для дальнейших исследований на Кавказе.

Таким образом, наиболее “чистыми” образцами обладает выборка Джамагат, где отмечается наименьшее количество указанных выше изотопов. И наоборот, наибольшей радиоактивностью отличается выборка Теберда. На рис. 4 хорошо видны пики, соответствующие γ -линиям от космогенного радиоизотопа ^7Be и примордиального радиоизотопа ^{40}K с энергиями 477.6 и 1460.8 кэВ соответственно.

С целью изучения изменчивости содержания радионуклидов с высотным градиентом местности выборки Джамагат и Архыз были объединены в один высотный уровень (1820 м над уровнем моря). Полученные результаты корреляционного анализа свидетельствуют о наличии связи содержания радионуклидов с высотным градиентом местности, за исключением ^{232}Th ($r = 0.12$ при $p = 0.005$) (рис. 5).

Наблюдается тенденция уменьшения содержания радионуклидов ^7Be ($r = -0.62$ при $p = 0.005$), ^{40}K ($r = -0.71$ при $p = 0.005$), ^{238}U ($r = -0.95$ при $p = 0.005$), ^{137}Cs ($r = -0.63$ при $p = 0.005$) в образцах хвои сосны с высотой мест произрастания, что не согласуется с данными Т.А. Асваровой, полученными для других видов растений в горах [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования содержания радионуклидов в ассимиляционном аппарате сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на территории Западного Кавказа (в пределах Карачаево-Черкесской Республики), обнаружены изотопы как природного (космогенного и террогенного), так и техногенного происхождения. В хвое сосны выявлено содержание радионуклидов бериллия (^7Be), калия (^{40}K), тория (^{232}Th), урана (^{238}U) и цезия (^{137}Cs). Наибольшей удельной активностью хвои отличаются выборки Теберда и Гоначхир. Выявлена корреляция содержания радионуклидов в образцах хвои сосны обыкновенной с высотой мест произрастания, наиболее тесная связь выявлена между содержа-

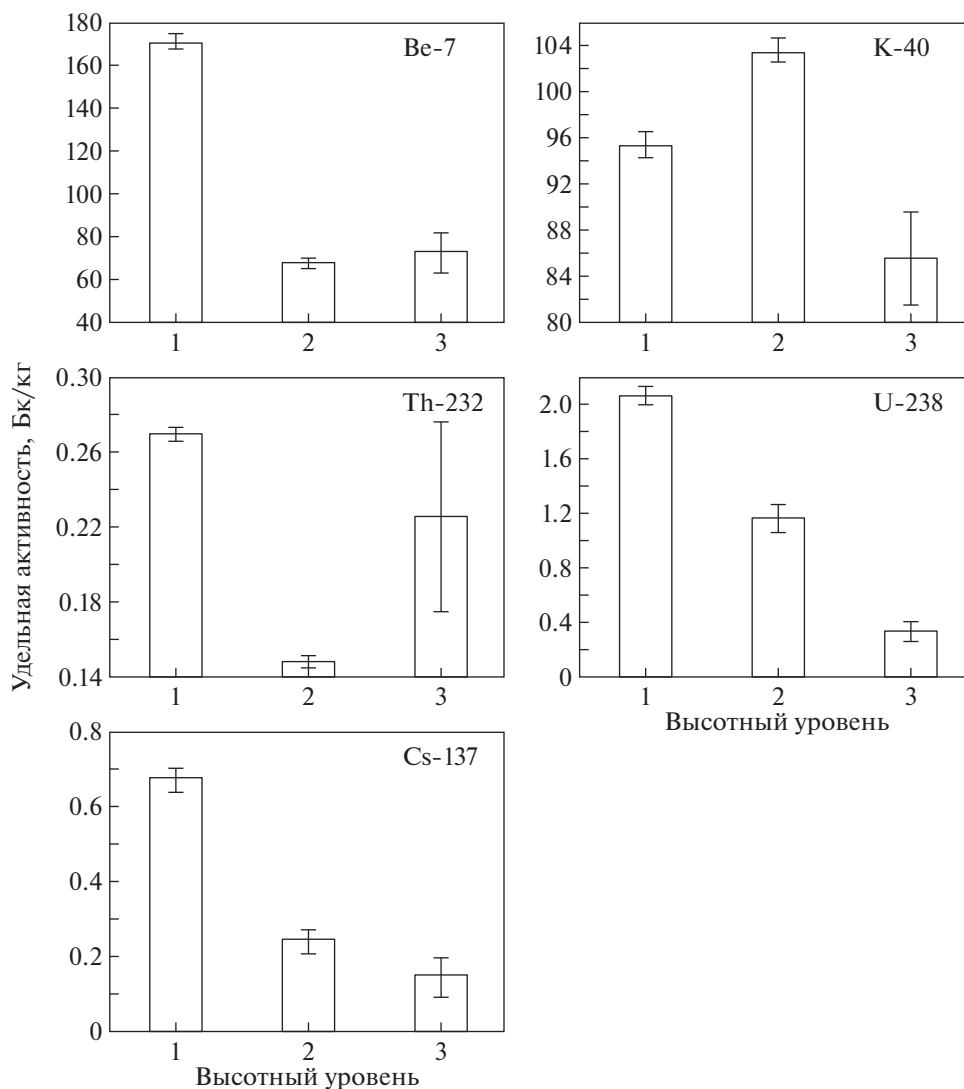


Рис. 5. Содержание радионуклидов в хвое в высотном градиенте Западного Кавказа: 1 – 1330 м; 2 – 1670 м; 3 – 1820 м.
Fig. 5. Radionuclide content in coniferous pine needles in the altitudinal gradient of the Western Caucasus: 1 – 1330 м; 2 – 1670 м; 3 – 1820 м.

нием изотопов ^{238}U ($r = -0.95$). Однако, несмотря на высокие значения содержания радионуклидов в хвое сосны в некоторых выборках (Теберда, Гончакхир), данные радиоэкологические показатели не выходят за пределы природного фона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крючков В.В., Сыроид Н.А. Северотаежные биогеоценозы в условиях аэротехногенного воздействия. Общие проблемы биогеоценологии. М.: АН СССР, 1986. С. 13–15. [Kryuchkov V.V., Syroid N.A. Severotaezhnye biogeocenozy v usloviyah aerotekhnogennoho vozdeystviya. Obshchie problemy biogeocenologii. M.: AN SSSR, 1986. s. 13–15. (In Russ.)]
2. Козубов Г.М., Таскаев А.И., Ладанова Н.В. Радиобиологические исследования сосновых лесов в районе аварии на Чернобыльской АЭС. Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1987. 52 с. [Kozubov G.M., Taskaev A.I., Ladanova N.V. Radiobiologicheskie issledovaniya sosnovykh lesov v rajone аварии na Chernobyl'skoj AES. Syktyvkar: Komi NC UrO AN SSSR, 1987. 52 s] (In Russ.)]
3. Мельник Н.А., Кизеев А.Н. Радиоэкологические исследования хвойных пород деревьев // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9. № 3. С. 429–433. [Mel'nik N.A., Kizeev A.N. Radioekologicheskie issledovaniya hvojnykh porod derev'ev // Vestnik MGTU. 2006. T. 9. № 3. S. 429–433. (In Russ.)]
4. Sparrow A.H., Woodwell G.M. Prediction of the sensitivity of plants to chronic gamma irradiation // Radiat. Botany. 1962. V. 2. P. 9–26.
5. Кальченко В.А., Спириин Д.А. Генетические эффекты в популяциях сосны обыкновенной, произрастающих в условиях хронического облучения малыми

- дозами // Генетика. 1989. Т. 25. № 6. С. 1059–1064. [Kal'chenko V.A., Spirin D.A. Geneticheskie efekty v populyaciyah sosny obyknovЕННОj, proizrastayushchih v usloviyah hronicheskogo obлучeniya malymi dozami // Genetika. 1989. T. 25. № 6. S. 1059–1064. (In Russ.)]
6. Кальченко В.А., Абрамов В.И., Рубанович А.В., Шевченко В.А. Цитогенетические эффекты в популяциях растений, произрастающих на Восточно-Уральском радиоактивном следе // Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т. 42. № 6. С. 745–749. [Kal'chenko V.A., Abramov V.I., Rubanovich A.V., Shevchenko V.A. Cytogenetic effects in plant population from the east Ural radioactive track // Radiation biology. Radioecology. 2002. V. 42. № 6. P. 745–749. (In Russ.)]
 7. Козубов Г.М., Таскаев А.И. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы. М.: НПЦ “Дизайн. Информация. Картография”, 2002. 256 с. [Kozubov G.M., Taskaev A.I. Radiobiologicheskie issledovaniya hvojnyh v rajone S Chernobyl'skoj katastrofy. M.: NPC “Dizajn. Informaciya. Kartografiya”, 2002. 256 s. (In Russ.)]
 8. Макаренко Е.С., Удалова А.А., Гераскин С.А. Морфометрические показатели хвои сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия // Лесоведение. 2016. № 5. С. 355–364. [Makarenko E.S., Oudalova A.A., Geras'kin S.A. Morphometric indices of Scots pine needle under chronic radiation exposure // Contemporary Problems of Ecology. 2017. V. 10. № 7. С. 761–769. (In Russ.)]
 9. Макаренко Е.С. Исследование морфологических параметров и генетического полиморфизма в природных популяциях сосны обыкновенной в условиях хронического радиационного воздействия: Автореф. Дис. ... канд. биол. наук. Обнинск, 2018. 25 с. [Makarenko E.S. Issledovanie morfologicheskikh parametrov i geneticheskogo polimorfizma v prirodnyh populyacijah sosny obyknovЕННОj v usloviyah hronicheskogo radiacionnogo vozdejstviya. Avtoref. dissertacii kandidata biologicheskikh nauk special'nost' “Radiobiologiya”, Obninsk, 2018. 25 s. (In Russ.)]
 10. Анамян В.Л. К вопросу о естественной радиоактивности почв Армении // Микроэлементы и естественная радиоактивность почв. Ростов-на-Дону, 1962. С. 56–63. [Ananyan V.L. K voprosu o estestvennoj radioaktivnosti pochv Armenii // Mikroelementy i estestvennaya radioaktivnost' pochv. Rostov-na-Donu. 1962. S. 56–63. (In Russ.)]
 11. Брендаков В.Ф., Иохельсон С.Б., Чуркин В.Н. Содержание радия, тория и калия в верхнем слое почв Кавказа // Почвоведение. 1967. № 1. С. 41–47. [Brendakov V.F., Iohel'son S.B., Churkin V.N. Soderzhanie radiya, toriya i kaliya v verhnem sloe pochv Kavkaza // Pochvovedenie. 1967. № 1. S. 41–47. (In Russ.)]
 12. Асварова Т.А. Содержание урана и тория в доминирующих видах растений Центрального Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2008. № 2. С. 39–44. [Asvarova T.A. The contents of uranium and thorium in the dominating kinds of plants of the Central Caucasus // South of Russia: Ecology, Development Journal. 2008. № 2. P. 39–44. (In Russ.)]
 13. Асварова Т.А., Абдулаева А.С., Магомедов М.А. Естественные радионуклиды в породах и почвах высокогорных районов Большого Кавказа // Почвоведение. 2012. № 6. С. 695–707. [Asvarova T.A., Abdulaeva A.S., Magomedov M.A. Natural radionuclides in rocks and soils of the high-mountain regions of the Great Caucasus Eurasian // Soil Sci. 2012. V. 45. № 6. P. 625–637. (In Russ.)]
 14. Helmsaari H.-S. Spatial and age-related variation in nutrient concentrations of *Pinus sylvestris* needles // Silva Fennica. 1992. V. 26. № 3. P. 145–153.
 15. Мельник Н.А. Радиационный мониторинг естественных радионуклидов в северных широтах. Север-2003: проблемы и решения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. С. 77–89. [Mel'nik N.A. Radiacionnyj monitoring estestvennyh radionuklidov v severnyh shirotah. Sever-2003: problemy i resheniya. Apatity: Izd-vo KNC RAN, 2004. S. 77–89. (In Russ.)]
 16. Темботова Ф.А., Ганганшев А.М., Моллаева М.З., Казалов В.В. Предварительные результаты радиоэкологических исследований хвойных пород на примере сосны обыкновенной // VIII науч.-практ. конф. “Горные экосистемы и их компоненты”. Нальчик, 2021. С. 55–56. [Tembotova F.A., Gangapshiev A.M., Mollaeva M.Z., Kazalov V.V. Predvaritel'nye rezul'taty radioekologicheskikh issledovanij hvojnyh porod na primere sosny obyknovЕННОj // Mat. Konf. “Gornye ekosistemy i ih komponenty”. Nal'chik, 2021. S. 55–56. (In Russ.)]
 17. Audi G., Wapstra A.H., Thibault C. The AME2003 atomic mass evaluation (II). Tables, graphs, and references // Nucl. Phys. A. 2003. V. 729. P. 337–676.
 18. Буряева Е.А., Малышевский В.С., Ратушный В.И. Космогенный бериллий-7 в земной атмосфере // Глобальная ядерная безопасность. 2020. № 4. (37). С. 17–29. [Buraeva E.A., Malyshevskij V.S., Ratushnyj V.I. Kosmogennyj berillij-7 v zemnoj atmosphere // Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2020. № 4 (37). S. 17–29. (In Russ.)]
 19. Zhang F., Yang M., Zhang B. Activity concentration of beryllium-7 in plants on a loess plateau, China // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2011. V. 289. P. 353–359. <https://doi.org/10.1007/s10967-011-1078-y>
 20. Кизеев А.Н., Жиров В.К., Никанов А.Н. Влияние промышленных эмиссий предприятий Кольского полуострова на ассимиляционный аппарат сосны // Экология человека. 2009. № 1. С. 9–13. [Kizeev A.N., Zhiron V.K., Nikanov A.N. Vliyanie promyshlennyh emissij predpriyatij Kol'skogo poluoostrova na assimilyacionnyj apparat sosny // Ekologiya cheloveka. 2009. № 1. S. 9–13. (In Russ.)]
 21. Pöschl M., Brunclík T., Hanák J. Seasonal and inter-annual variation of Beryllium-7 deposition in birch-tree leaves and grass in the northeast upland area of the Czech Republic // J. Environ. Radioact. 2010. V. 101. P. 744–750.
 22. Li X., Zhang F., He Y., Delang C.O., Yang M. Variations of ⁷Be concentration in plants and significance for ⁷Be in soil on the Loess Plateau China: Based on three-year monitoring data // Plant Soil. 2022. P. 725–741.
 23. Куртмулаева В.Э., Карпенко Е.И., Нуштаев С.Н. Результаты комплексного радиоэкологического

обследования региона размещения Ленинградской АЭС // IV науч.-практ. конф. “Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики”. Калининград, 2017. С. 149–151. [Kurtmulaeva V.E., Karpenko E.I., Nushtaev S.N. Rezul'taty kompleksnogo radioekologicheskogo obsledovaniya regiona razmeshcheniya Leningradskoj AES // IV nauchno-prakt. konf. “Ekologicheskaya i radia-

cionnaya bezopasnost' ob"ektov atomnoj energetiki”. Kaliningrad, 2017. S. 149–151 (In Russ.)]

24. Abakumov E., Gangapshev A., Tembotov R., Gezhaev A. Radionuclide activity in cryoconite from glaciers of the Central Caucasus, Russia // Solid Earth Sciences. 2022. V. 7. № 4. P. 268–275. . <https://doi.org/10.1016/j.sesci.2022.08.001>

Radionuclide Content in Needles of *Pinus sylvestris* L. in Conditions of the Karachay-Cherkessia Republic (Western Caucasus)

M. Z. Mollaeva^{a, #}, F. A. Tembotova^a, A. M. Gangapshev^b, V. V. Kazalov^b, and A. M. Gezhaev^b

^a*Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of Russian Academy of Sciences, Nalchik, Russia*

^b*Institute of Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: monika.011@yandex.ru*

This study presents original data on the content of radionuclides of natural (cosmogenic and terrorogenic) and man-made origin in the assimilation apparatus of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), which grows in the Western Caucasus (within the Karachay-Cherkessia Republic). The content of radioisotopes of beryllium (^7Be), potassium (^{40}K), thorium (^{232}Th), uranium (^{238}U) and cesium (^{137}Cs) was revealed in pine needles. Close correlation of radionuclide content in pine needles samples ^7Be , ^{238}U , ^{137}Cs with the height of growing places was revealed.

Keywords: natural radionuclides, ^7Be , ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{137}Cs , gamma-spectrometer, *Pinus sylvestris* L., Western Caucasus