

А. Н. КИЗЕЕВ, С. А. СЮРИН

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ В РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТАХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,  
a.kizeev@s-znc.ru*

*В работе представлены результаты исследований распределения  $^{137}\text{Cs}$  в растительных компонентах лесных биогеоценозов Мурманской области, дана оценка их радиэкологического состояния. Отмечена необходимость продолжения исследований долгоживущих техногенных радионуклидов и других стойких токсических веществ в районах, входящих в Арктическую зону Российской Федерации.*

*Ключевые слова: Мурманская область, лесные биогеоценозы, растительные компоненты,  $^{137}\text{Cs}$ , распределение.*

Мурманская область - опорный узел Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), индустриально развитый регион. Здесь сконцентрированы мощные атомные ледоколы, субмарины, Кольская АЭС (КАЭС) и множество других предприятий, представляющих потенциальную радиационную опасность [2, 15], в процессе эксплуатации которых образуются жидкие и твердые радиоактивные отходы и отработанное ядерное топливо [12].

Регион богат лесами и представляет собой хороший полигон для лесной радиоэкологии. Лесные биогеоценозы (особенно в арктических областях) крайне чувствительны к антропогенному воздействию и могут накапливать радиоактивные вещества в больших количествах, по сравнению с другими экосистемами. Радиочувствительность хвойных лесов в целом достаточно близка к таковой у млекопитающих (в том числе и человека) – самых чувствительных живых организмов. При аэральном поступлении радионуклидов леса становятся биогеохимическим барьером и концентратом радиоактивных веществ [1, 18].

КАЭС – первая атомная станция в Заполярье, построенная в 1973-1984 годах. На сегодняшний день в эксплуатации станции находятся 4 энергоблока с водо-водяными реакторами под давлением ВВЭР-440, общей мощностью 1760 МВт [4, 5]. Промплощадка КАЭС окружена лесами. Можно предположить, что в растительных компонентах в районе ее расположения происходит интенсивное накопление долгоживущих техногенных радионуклидов – стойких токсических веществ (СТВ), способных длительное время сохраняться в окружающей среде и оказывать влияние на здоровье человека [13]. В связи с этим обстоятельством, особую актуальность приобретают радиэкологические исследования лесных биогеоценозов, в частности, растительного покрова. Известно [16], что для окружающей среды наибольшее экологическое значение имеют изотопы, обладающие высоким выходом в ядерных реакциях и имеющие сравнительно большие периоды полураспада. К таким наиболее экологически важным нуклидам техногенного происхождения относится  $^{137}\text{Cs}$ , период полураспада которого составляет 30,17 лет. Интерес к изучению воздействия КАЭС на окружающую природную среду актуален с точки зрения радиационной безопасности населения Мурманской области.

Изучение распределения  $^{137}\text{Cs}$  в растительных компонентах проводилось нами в однотипных лесных биогеоценозах, на стационарных мониторинговых площадках, находящихся: в пределах санитарно-защитных зон (СЗЗ) КАЭС и СЗЗ хранилища сухих слабоактивных отходов; в зоне наблюдения (ЗН), на расстоянии 10 км от атомной станции; на границе ЗН (ГЗН), на расстоянии 15 км от атомной станции; в фоновых условиях (Фон), на расстоянии 30 км от

КАЭС. Плотность загрязнения почв (корнеобитаемый 30-см слой) исследуемого района по  $^{137}\text{Cs}$  в среднем варьировала от 530 до 2459 Бк/м<sup>2</sup>, что не превышало нормативного уровня в 1 Ки/км<sup>2</sup> и позволяет отнести район исследований к территориям с относительно благоприятной экологической ситуацией [7]. Обнаруженные нами максимальные значения плотности почв были близки к уровням радиоактивного загрязнения почвенного покрова в северной Скандинавии, составляющим около 2000 Бк/м<sup>2</sup>, что может объясняться глобальными выпадениями радиоцезия [3]. Подробное почвенно-геоботаническое описание площадок и их географические координаты приведены в предыдущих публикациях [4, 5, 6, 11].

В качестве объектов изучения были выбраны компоненты растительных ярусов: древесного, представленного в основном, сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb. ); кустарничкового, представленного черникой обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) и голубикой (*Vaccinium uliginosum* L.); а также мохово-лишайникового, представленного лишайниками рода *Cladonia* (ягель) и зелеными мхами (*Pleurozium schereberi* (Brid) Mitt. и *Hylocomnium splendens* Hedw. ). Пробоотбор проводили в течение вегетационного периода года (июнь-сентябрь), в соответствии с общими требованиями к радиологическому отбору проб [16].

Радиоэкологические исследования осуществляли в соответствии с нормативными документами по радиационной безопасности окружающей среды и человека [10]. Удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг) в пробах определяли с помощью сцинтилляционного спектрометрического комплекса «Мультирад» с гамма-детектором NaI(Tl) 63x63 и программным обеспечением «Прогресс» по стандартной методике [9].

Проведенные исследования показали, что содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растительных компонентах лесных биогеоценозов обусловлено плотностью загрязнения почв. Количество радиоцезия в растительном покрове варьировало на разных мониторинговых точках (таблица 1 Таблица 1).

В ассимиляционных органах древесных растений содержание  $^{137}\text{Cs}$  в среднем находилось в пределах от  $13 \pm 2,4$  до  $27 \pm 3,8$  Бк/кг (для сосны обыкновенной) и от  $10 \pm 2,1$  до  $16 \pm 3,2$  Бк/кг (для ели сибирской). В древесных ветвях содержание  $^{137}\text{Cs}$  в среднем составляло от  $11 \pm 4,9$  до  $21 \pm 3,0$  Бк/кг (для сосны обыкновенной) и от  $11 \pm 2,5$  до  $16 \pm 3,2$  Бк/кг (для ели сибирской).

В ассимиляционных органах ягодных кустарничков содержание  $^{137}\text{Cs}$  в среднем находилось от  $29 \pm 2,5$  до  $120 \pm 15,6$  Бк/кг (для черники обыкновенной) и от  $27 \pm 6,1$  до  $58 \pm 8,5$  Бк/кг (для голубики). В ветвях ягодных кустарничков количество  $^{137}\text{Cs}$  в среднем составляло от  $40 \pm 6,3$  до  $90 \pm 8,7$  Бк/кг (для черники обыкновенной) и от  $20 \pm 3,4$  до  $43 \pm 3,2$  Бк/кг (для голубики).

В мохово-лишайниковом ярусе содержание  $^{137}\text{Cs}$  в среднем находилось от  $160 \pm 15,0$  до  $174 \pm 14,4$  Бк/кг (для ягеля) и от  $44 \pm 7,8$  до  $85 \pm 7,2$  Бк/кг (для зеленых мхов).

Поступление радиоцезия в растительные компоненты изучаемых лесных биогеоценозов могло быть обусловлено его глобальными выпадениями. Как известно [8, 15], территория Арктики длительное время загрязнялась техногенными радионуклидами от выпадений радиоактивных веществ, образовавшихся в результате испытаний ядерного оружия, произведенных США, СССР и Великобританией в период с 1945 по 1962 годы, а позже – Китаем и Францией. Всего в мире было произведено более 1,5 тысячи ядерных взрывов, более 90 % из которых – в Северном полушарии Земли. В загрязнение арктических районов (включая Мурманскую область) помимо глобальных выпадений, внесли свой вклад и аварии на атомных электростанциях, среди которых Чернобыльская (1986 г.) стала самой крупной экологической катастрофой, как по уровню радиоактивных выбросов, так и по площади загрязнения земной поверхности. Вклад КАЭС в загрязнение окружающей среды радиоцезием был незначительным [5]. Максимальные величины содержания  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах изучаемых растений не превышали установленного допустимого уровня для лекарственных растений, составляющего 400 Бк/кг, согласно [14].

**Таблица 1 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в растительных компонентах лесных биогеоценозов, Бк/кг**

Зона вокруг КАЭС	Древесный ярус		Кустарничковый ярус		Мохово-лишайниковый ярус	
	Сосна обыкновенная	Ель сибирская	Черника обыкновенная	Голубика	Ягель	Зеленые мхи
СЗЗ	13 ± 2,4* 11 ± 4,9	н/д**	29 ± 2,5 40 ± 6,3	49 ± 7,4 43 ± 3,2	174 ± 14,4	55 ± 3,5
ЗН	18 ± 5,0 13 ± 3,1	10 ± 2,1 11 ± 2,5	80 ± 4,9 45 ± 2,2	58 ± 8,5 27 ± 3,7	160 ± 15,0	44 ± 7,8
ГЗН	25 ± 2,3 16 ± 7,3	11 ± 1,7 12 ± 2,3	73 ± 3,2 60 ± 2,6	50 ± 6,3 25 ± 2,9	162 ± 12,9	46 ± 4,9
Фон	27 ± 3,8 21 ± 3,0	15 ± 2,5 16 ± 3,2	120 ± 15,6 90 ± 8,7	27 ± 6,1 20 ± 3,4	166 ± 14,8	85 ± 7,2

Примечание. \* - содержание  $^{137}\text{Cs}$ : над чертой – в ассимиляционных органах, под чертой – в ветвях; \*\* н/д – нет данных.

В ассимиляционных органах древесных растений содержание радиоцезия было до 1,5 раз выше, чем в ветвях. При этом хвоя сосны обыкновенной содержала  $^{137}\text{Cs}$  до 2 раз больше, чем хвоя ели. Листья кустарничков содержали радиоцезия до 2 раз больше, чем ветви, хотя иногда наблюдалась обратная картина. Побеги черники обыкновенной содержали  $^{137}\text{Cs}$  от 1. 5 до 4,5 раз больше, чем побеги голубики. Содержание радиоцезия в ягеле было максимальным среди всех изучаемых растений и до 3,5 раз выше, чем в зеленых мхах.

Как видно из вышеприведенной таблицы, в кустарничковом и в мохово-лишайниковом ярусах  $^{137}\text{Cs}$  содержалось больше, чем в древесном ярусе. Повышенное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в побегах черники обыкновенной и голубики обуславливалось его корневым поглощением из органогенных почвенных горизонтов, в которых, согласно ранее проведенным нашим исследованиям, содержание радиоцезия заметно возрастало [11]. Лишайники и мохообразные обладают рядом антомо-физиологических особенностей, приводящих к значительному аккумулярованию в них радионуклидов [17]. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в ягеле и в зеленых мхах было связано преимущественно с аэральным поступлением данного радионуклида. Мхи и лишайники, имеющие большую удельную поверхность, эффективно собирают выпадающие из атмосферы радионуклиды. Поскольку лишайники (в частности, ягель) служат кормом для северных оленей, то они являются одним из главных каналов, по которым радионуклиды могут попадать к человеку [3]. Более низкая концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в компонентах сосны обыкновенной и ели сибирской обуславливалась тем, что зона поглощения корней деревьев находится на достаточно большой глубине, где содержание рассматриваемого радионуклида меньше.

Таким образом, была получена новая информация о содержании одного из ведущих техногенных радионуклидов –  $^{137}\text{Cs}$  – в растительных компонентах лесных биогеоценозов в импактной зоне КАЭС. Установлены потенциальные источники поступления радиоцезия в растения. Отмечены особенности распределения  $^{137}\text{Cs}$  в древесном, кустарничковом и мохово-лишайниковом ярусах.

В то же время необходимо продолжение радиоэкологических исследований районов АЗРФ, тем более что в настоящее время здесь ведется многоступенчатая работа по утилизации и переработке радиационно-опасных отходов. Одним из критериев защиты человека и биоты в арктических областях России является сохранение естественного радиационного фона и экологического баланса радионуклидов. Пространство для изучения лесных биогеоценозов при этом расширяется. Необходимо комплексное изучение северных почв, характеризующихся невысокой обеспеченностью питательными элементами, вследствие чего даже в условиях низкого содержания в почвах радиоактивных элементов, уровни, обусловленные их глобальными

выпадениями, а также доступность для растений будут достаточно высокими. Исследование особенностей накопления растениями радиоактивных изотопов (даже в малых количествах) также становится чрезвычайно важной задачей, поскольку экосистемы, развитые на бедных почвах, являются крайне уязвимыми для возможного загрязнения их как радионуклидами, так и другими СТВ, опасными для здоровья населения в Российской Арктике.

### Список литературы

- 1 Алексахин, Р. М. Слово о лесной радиоэкологии / Р. М. Алексахин // XXXVIII Радио-экологические чтения, посвященные действительному члену ВАСХНИЛ В. М. Ключковскому, Обнинск, 15 дек. 2009 г. – Обнинск : ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2010. – С. 7–15.
- 2 Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2020 году. – Мурманск, 2021. – 176 с.
- 3 Загрязнение Арктики: доклад о состоянии окружающей среды Арктики. АМАР. Программа арктического мониторинга и оценки. – Санкт-Петербург, 1998. – 186 с.
- 4 Кизеев, А. Н. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{40}\text{K}$  в почвенно-растительном покрове в районе расположения Кольской атомной электростанции / А. Н. Кизеев // Глобальный научный потенциал. – 2016. - №. 5. – С. 56–59.
- 5 Кизеев, А. Н. Оценка состояния лесных фитоценозов в 30-км зоне Кольской АЭС по наземным и спутниковым данным / А. Н. Кизеев, К. Ю. Силкин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14. – № 1. – С. 125–135.
- 6 Удельная активность естественных радионуклидов и цезия-137 в наземных экосистемах Кольского Севера / А. Н. Кизеев [и др.] // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : сборник научных трудов по материалам 3-й Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов : ООО «Амирит», 2021. – С. 235–238.
- 7 Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М. : Минприроды РФ, 1992. – 12 с.
- 8 Матишов, Д. Г. Радиационная экологическая океанология / Д. Г. Матишов, Г. Г. Матишов. – Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 2001. – 417 с.
- 9 Методика измерения активностей радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс», Менделеево: ГНМЦ «ВНИИФТРИ», 2003. – 30 с.
- 10 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2. 6. 1. 758-99. – М. : Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
- 11 Содержание и распределение  $^{137}\text{Cs}$  в подзолах в районе расположения Кольской атомной электростанции / М. Б. Попова [и др.] // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 891–900.
- 12 Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 году. Ежегодник. – Обнинск, 2021. – 330 с.
- 13 Салтыкова, М. М. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения Арктического региона: обзор литературы / М. М. Салтыкова, И. П. Бобровницкий, А. В. Балакаева // Экология человека, 2020. – №. 4. – С. 48–55.
- 14 СанПин 2. 3. 2. 1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М., 2011 (в ред. от 06. 07. 2011 г.). – 56 с.
- 15 Хвостова, М. С. Вопросы радиоэкологии Арктического региона России / М. С. Хвостова // Российская Арктика. 2019. – №. 4. – С. 58–71
- 16 Черных, Н. А. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере / Н. А. Черных, С. Н. Сидоренко. – М. : Изд-во РУДН, 2003. – 430 с.
- 17 Щеглов, А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: По материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А. И. Щеглов. – М. : Наука, 2000. – 268 с.

18 Щеглов, А. И. Биогеохимия  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных экосистемах / А. И. Щеглов, О. Б. Цветнова // XXXVIII Радиоэкологические чтения, посвященные действительному члену ВАСХНИЛ В. М. Ключковскому, Обнинск, 15 дек. 2009 г. – Обнинск : ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2010. – С. 26–48.

A. N. Kizeev, S. A. Syurin

## FEATURES OF DISTRIBUTION OF $^{137}\text{Cs}$ IN PLANT COMPONENTS OF FOREST BIOGEOCENOSSES OF THE MURMANSK REGION

Northwest Public Health Research Center,  
St. Petersburg, Russia,  
a. kizeev@s-znc.ru

*Abstract. The paper presents the results of studies of the distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the plant components of forest biogeocenoses of the Murmansk region, an assessment of their radioecological state is given. The necessity of continuing research of long-lived technogenic radionuclides and other persistent toxic substances in the areas included in the Arctic zone of the Russian Federation is noted.*

*Keywords: Murmansk region, forest biogeocenoses, plant components,  $^{137}\text{Cs}$ , distribution.*

УДК 628. 394(476. 2)

Е. Н. КОВАЛЁВ, О. В. КОВАЛЕВА

## СБРОС ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА ПЕРИОД 2000–2020 ГОДЫ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,  
г. Гомель, Республика Беларусь,  
sanalovaleva@mail.ru

*В статье представлен анализ динамики поступления сточных вод в природные водные объекты на территории 21 района, городов областного подчинения и в целом Гомельской области за 21-летний интервал времени. Отмечено снижение объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты области, несмотря на повышение показателя за последние 5 лет. Выявлены районы с наименьшим и наибольшим вкладом в образование объемов сточных вод области.*

*Ключевые слова: сточные воды, загрязняющие вещества, водные объекты метод.*

В состав Гомельской области включает 21 район с общей численностью населения 1375,9 тыс. человек, 1 город областного подчинения – Гомель [1]. Целью настоящей работы явился анализ многолетней динамики объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты на территории области.

Изучение данных Государственного водного кадастра [2] за период с 2000 по 2020 гг. позволило выявить тенденцию к снижению объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты Гомельской области на 1,96–47,8 %, несмотря на повышение показателя на 19,84–25,3 % за последние 5 лет по отношению к 2015 г. (рисунок 1).