

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,  
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,  
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.6>

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ДЕРЕВЬЯМИ ХВОЙНЫХ И  
ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД В ЗОНАХ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Научная статья

Черкасова Н.Г.<sup>1,\*</sup>, Машура Ю.К.<sup>2</sup>, Овчинникова А.Е.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-7993-2449;

<sup>1,2,3</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск,  
Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (5hat[at]bk.ru)

**Аннотация**

В статье приводятся результаты исследований условий накопления радионуклидов хвойными и лиственными деревьями за период 2023-2024гг. на примере г. Железногорска Красноярского края. Данное исследование является важным шагом к пониманию масштабов и характера антропогенного воздействия на территории лесонасаждений и селитебных зон. В условиях активного развития ядерной промышленности вопросы экологической безопасности и защиты окружающей среды становятся особенно важными. Город Железногорск представляет собой уникальный объект для изучения влияния радиоактивных выбросов на окружающую природу. Деревья, играющие важную роль в поддержании экологического баланса, являются индикаторами состояния окружающей среды и реагируют на изменения условий произрастания, включая радиационное загрязнение. Воздействие радиоактивного загрязнения может значительно изменить физиологическое состояние деревьев, повлиять на их рост и биохимический состав. Эти изменения отражаются на общей устойчивости и восстановительной способности лесных экосистем. Объектом исследований являются хвойные и лиственные древесные породы в зонах потенциального радиационного загрязнения г. Железногорска. Предметом исследований является определение уровня содержания радионуклидов в хвойных и лиственных породах. Исследования проводились в холодный и теплый периоды года. В качестве опытных образцов использовались: кора, древесина, ветви, хвоя (зелёные листья), травянистая растительность, а также почва. В ходе научной исследовательской работы применялся радиохимический анализ.

**Ключевые слова:** хвойные породы, лиственные породы, миграция, лесные ресурсы, радионуклиды.

STUDY OF CONDITIONS OF RADIONUCLIDE ACCUMULATION BY CONIFEROUS AND DECIDUOUS TREES  
IN ZONES OF POTENTIAL RADIATION CONTAMINATION

Research article

Cherkasova N.G.<sup>1,\*</sup>, Mashura Y.K.<sup>2</sup>, Ovchinnikova A.Y.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0001-7993-2449;

<sup>1,2,3</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation

\* Corresponding author (5hat[at]bk.ru)

**Abstract**

The article presents the results of research on the conditions of radionuclide accumulation by coniferous and deciduous trees for the period 2023-2024 on the example of Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Krai. This research is an important step towards understanding the scale and nature of anthropogenic impact on the territory of forest plantations and residential areas. In the conditions of active development of nuclear industry, the issues of environmental safety and environmental protection become especially important. Zheleznogorsk is a unique object for studying the impact of radioactive emissions on the environment. Trees, which play an important role in maintaining the ecological balance, are indicators of the state of the environment and react to changes in growing conditions, including radiation contamination. Exposure to radioactive contamination can significantly alter the physiological state of trees, affecting their growth and biochemical composition. These changes affect the overall sustainability and regenerative capacity of forest ecosystems. The object of research is coniferous and deciduous tree species in zones of potential radiation contamination of Zheleznogorsk. The subject of research is the determination of radionuclide content level in coniferous and deciduous species. The studies were carried out in cold and warm periods of the year. As test samples were used: bark, wood, branches, needles (green leaves), herbaceous vegetation, as well as soil. In the course of scientific research work, radiochemical analysis was applied.

**Keywords:** coniferous species, deciduous species, migration, forest resources, radionuclides.

**Введение**

Радиационное обследование лесов и мониторинг радиационной обстановки на территории Красноярского края являются важными мерами для обеспечения экологической безопасности и защиты здоровья населения. Эти мероприятия включают в себя систематическое наблюдение и оценку уровней радиоактивного загрязнения в лесных экосистемах. Картирование радиационного загрязнения включает сбор и анализ данных о пространственном распределении радионуклидов на территории лесов. Этот процесс помогает выявить зоны с повышенной радиоактивностью и принять необходимые меры для их изоляции или дезактивации.

Древостой хвойных и лиственных пород, распространенных в лесах вокруг Железногорска, выполняет функцию барьера, защищающего окружающую среду от распространения радионуклидов. Однако существующие данные часто трудно сопоставить даже для территорий с одинаковыми формами радиоактивных выпадений и сходными лесорастительными условиями. Это связано с множеством факторов, влияющих на поступление радионуклидов в растения, таких как тип леса, климатические условия, почвенный покров и т.д. Разнообразие лесов ставит перед лесной радиоэкологией задачи определения специфических особенностей миграции радионуклидов в различных зонах. Поэтому актуальными остаются вопросы изучения пространственной неоднородности накопления радионуклидов и выявления структур индикаторов, наиболее адекватно отражающих загрязнение древостоя. Учет показателей пространственной неоднородности накопления радионуклидов важен и в практических целях, к которым относится прогнозирование и оценка степени загрязнения лесной продукции. Лесная радиоэкология стремится всесторонне исследовать закономерности миграции радиоактивных веществ в лесах, а также определить влияние ионизирующего излучения на лесные биогеоценозы [1].

Информация о переносе радионуклидов имеет важное значение для:

- исследований специфики накопления радионуклидов в лесной растительности, что является основой для разработки методов безопасного использования продукции лесного хозяйства с повышенным содержанием радионуклидов;

- расчета доз облучения различных компонентов лесных экосистем, необходимого для точного прогноза радиационного воздействия на лесные биогеоценозы.

Выделение задачи изучения миграции радионуклидов в лесах, как самостоятельной и важной проблемы радиоэкологии леса, обусловлено рядом ключевых причин. Лесные экосистемы функционируют как аккумуляторы радионуклидов, предотвращая их распространение по земной поверхности. Информация о распределении и миграции искусственных радионуклидов служит основой для разработки рекомендаций по управлению лесным хозяйством в районах с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения [2].

Особенность поставленной задачи заключается в том, что перемещение искусственных радионуклидов в природных ландшафтах носит ярко выраженный нестационарный характер. Это отличает их от естественных стабильных радионуклидов, распределение которых обычно близко к стационарному и изменяется медленно. В отличие от естественных стабильных и радиоактивных нуклидов, искусственные радионуклиды, после их поступления в биосферу, характеризуются сильной пространственной неоднородностью и быстрыми изменениями во времени. Анализируя возможные последствия облучения леса от этих источников, необходимо учитывать, что лесной биогеоценоз является одним из наиболее чувствительных к ионизирующей радиации среди всех биогеоценозов. В этом контексте изучение миграции радионуклидов, как источников излучений, представляет значительный интерес для прогнозирования потенциальных радиобиологических и радиоэкологических последствий загрязнения лесных экосистем радиоактивными веществами [1].

В изучаемом районе преобладают такие хвойные породы, как сосна обыкновенная, ель сибирская, лиственница, а преобладающие лиственные породы – берёза, осина, ива, тополь, распределенные по зонам пригодных для них условий произрастания.

На потенциально опасных территориях возможного радиационного загрязнения, в настоящее время, наблюдаются различные геологические выемки, канавы, следы бурения скважин.

Хвойные породы деревьев обладают уникальными физиологическими – биохимическими особенностями, которые позволяют им адаптироваться к различным экологическим условиям. Сосна обыкновенная и ель обыкновенная обладают высокой приспособленностью к почвенно-климатическим условиям, сравнительно быстрым ростом, хорошо выраженной способностью к формированию высокопродуктивных, чистых по составу, древостоев [3], [4]. Для понимания природы распределения радионуклидов в лиственных породах необходимо учитывать их сложное строение.

Радиоэкологическая классификация смешанного леса является системой классификации, основанной на изучении влияния радиоактивного загрязнения на лесные экосистемы. На рассматриваемой территории можно выделить несколько типов лесов, исходя из преобладающих видов деревьев: сосновые леса; еловые леса; смешанные хвойные леса; березовые и осиновые леса; смешанные леса [5].

### **Методы и принципы исследования**

Для оценки влияния деятельности предприятий атомной промышленности г. Железногорска на древостой хвойных и лиственных пород применялся радиохимический анализ, в том числе гамма-спектрометрический метод. Радиохимический анализ применялся для точного измерения удельной активности стронция-90. Процесс включал несколько этапов и представлял собой комплекс методов для определения как качественного состава, так и количественного содержания радионуклидов в исследуемых образцах. Для измерения удельной активности цезия-137 использовался гамма-спектрометрический метод. Этот метод основывается на получении спектра импульсов от детектора, который регистрирует излучение исследуемого образца. После получения спектрограммы определялась активность радионуклида в пробе [6]. Исследование выполнялось на основе ландшафтно-биогеохимического подхода, который реализуется в рамках системы «почва – растение».

Для отбора образцов древостоя хвойных и лиственных пород выбирались здоровые и представительные деревья, без видимых признаков болезней или повреждений. При отборе образцов были выбраны деревья примерно одинакового возраста, что позволило провести более точные сравнительные исследования. В качестве образцов была собрана зеленая масса ели, сосны, лиственницы, берёзы, ивы, тополя, а также кора тех же пород. Отбиралось по три образца деревьев как хвойных, так и лиственных пород, при этом, образцы отбирались в июне – в период наиболее активной вегетации, и в январе. В каждый период года пробы отбирались с интервалом 2 недели.

Отбор проб коры:

- пробы коры отбирались по окружности ствола на высоте 1,5 м от земли;
- кора срезалась в виде стружки толщиной 0,5-3 мм (с пропорциональным содержанием луба и мертвой корки);
- пробы коры очищались от посторонних примесей.

Далее проводился дозиметрический контроль отобранных образцов при помощи МКС – 15Д, после чего кора помещалась в полиэтиленовые пакеты. В подготовленные пакеты помещали бирку с соответствующей информацией о времени забора и проверки образцов, их массе, а также наносилась надпись «образец прошел радиационный контроль».

Подготовка проб коры для анализа:

- кора предварительно высушивалась на воздухе при комнатной температуре;
- высушенная кора измельчалась на мельнице до фракции не более 0,5 см;
- измельченная кора взвешивалась на лабораторных весах с последующим отбором проб массой 100 г.

Образцы проб зелёной массы деревьев добывались при помощи секатора, затем также помещались в подготовленный полиэтиленовый пакет, содержащий соответствующую информационную бирку.

Анализ содержания цезия-137 и стронция-90 в хвойных и лиственных породах проводился радиохимическим методом в лаборатории радиационного контроля, по стандартной методике [7].

### Основные результаты и обсуждение

При атмосферном выпадении радионуклиды первично задерживаются зелёной массой и корой древесных растений, далее постепенно перемещаются под полог леса в результате действия ветра и дождя. Одновременно с процессом самоочищения крон деревьев происходит перенос цезия-137 и стронция-90 в формирующуюся древесину. С течением времени, после достижения радионуклидами горизонтов «лесная подстилка-почва», в которых сосредоточены корни деревьев, становится значимым процесс корневого накопления радионуклидов древесными растениями. В результате корневого поступления радионуклидов, часть радиоактивных веществ накапливается в листьях и хвое и в результате опада возвращается на поверхность лесной подстилки.

В исследуемых хвойных древесных породах наблюдается неравномерное распределение. Концентрация радиоактивных элементов изменяется в зависимости от структурной части древостоя и условий произрастания. Вместе с тем, показатель варьирования содержания цезия-137 в структурных частях сосны и ели колеблется в пределах от 15 до 40%, в то время как показатель варьирования стронция-90 колеблется значительно больше [8].

Результаты анализа позволяют сказать, что стронций-90 является больше биологически доступным, так как установлено, что повышенная аккумуляция радионуклидов в растениях сопровождается ростом величины коэффициента варьирования. Для всех структурных частей сосны и ели коэффициент варьирования удельной активности стронция-90 значительно больше. Наибольшее содержание зольных элементов, стронция-90 и цезия-137, отмечается в коре (см. табл. 1). Кора сосны и ели обладает более высоким содержанием зольных веществ по сравнению с их древесиной, что приводит к большей удельной активности стронция-90 и цезия-137 на единицу сухой массы.

Таблица 1 - Содержание стронция-90, цезия-137 и зольности в структурных частях деревьев хвойных пород

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.6.1>

Структурная часть дерева	Зольность, %	Стронций-90	Цезий-137
сосна			
Древесина	0,7	7,1	2,0
Кора	2,8	17,3	3,9
Хвоя	6,1	29,4	5,1
ель			
Древесина	0,5	3,9	1,2
Кора	2,9	6,9	2,0
Хвоя	6,0	13,4	3,9

По полученным данным определяется ярко выраженная взаимосвязь между показателями содержания золы и радионуклидов, как по отдельным породам, так и между структурными частями дерева в пределах одной породы. Наивысшая концентрация неорганических веществ отмечается в хвое, тогда как наименьшая – в древесине. Основными компонентами золы являются кальций, калий и магний, причем кальций составляет до 50% и более всех элементов золы. По содержанию стронция-90 и цезия-137 выявлена тенденция к большему накоплению указанных радионуклидов сосной, нежели елью, преимущественно корой и хвоей. Однако следует отметить, что филиал «Железногорский» имеет больше содержания долгоживущих радионуклидов из-за их стратегии глубокого геологического захоронения, но содержание радионуклидов незначительно отличаются [9].

По результатам исследований были построены графики изменения содержания радионуклидов в сосне и ели в течение года (см. рис. 1, 2).

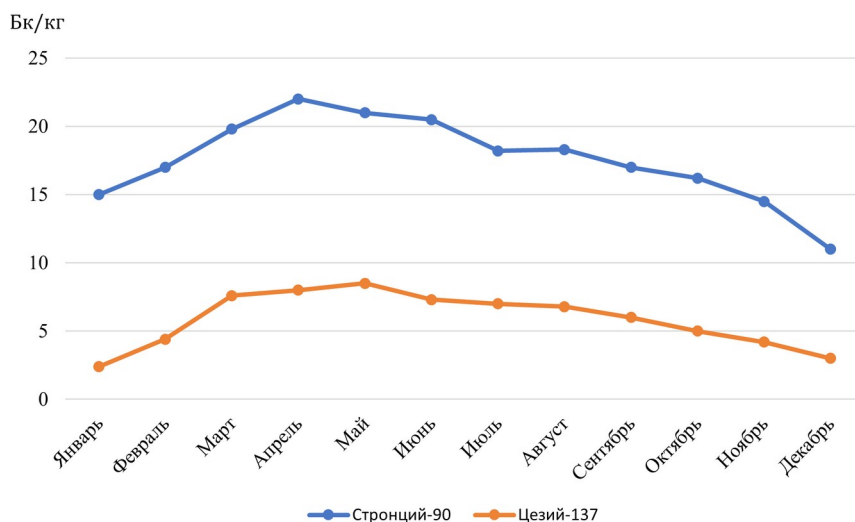


Рисунок 1 - Содержание цезия-137 и стронция-90 в коре сосны, произрастающей вблизи р. Енисей  
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.6.2>

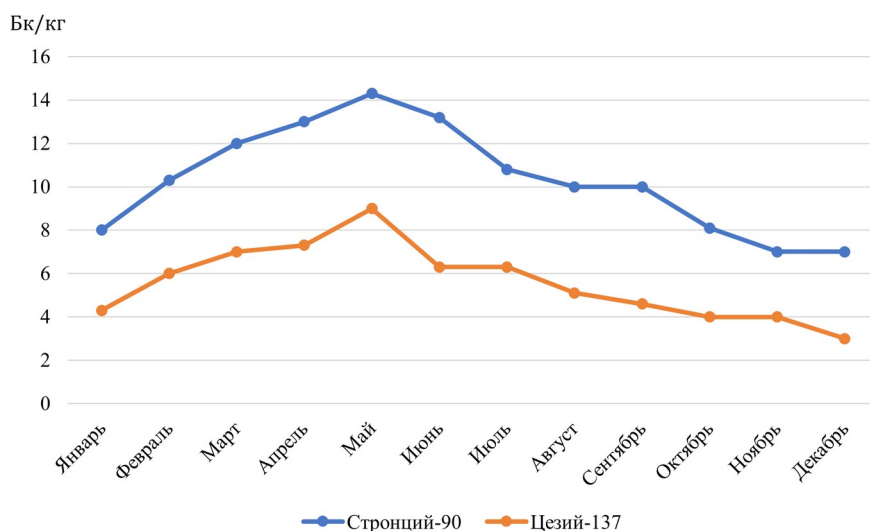


Рисунок 2 - Содержание цезия-137 и стронция-90 в коре ели, произрастающей вблизи р. Енисей  
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.6.3>

По степени загрязнения древесных пород можно сделать следующее заключение: сосна наиболее восприимчива к воздействию радионуклидов, чем ель. Связано это с тем, что сосна обладает высокой способностью аккумулировать цезий-137 и стронций-90 в хвое и коре, что уменьшает их концентрацию в окружающей среде.

По результатам исследования можно сделать вывод, что содержание цезия-137 и стронция-90 в древесине, коре и ветвях деревьев меняется в течение года. В коре хвойных, растущих по берегу р. Енисей, наибольшее содержание радионуклидов отмечается весной, и концентрация цезия-137 постепенно снижается к осени. Это может быть связано с более поздним началом сокодвижения из-за влажности почвы. В холодные месяцы микробиологическая активность почвы снижается, что делает цезий-137 и стронций-90 менее доступными для растений.

Наблюдения за годовым изменением удельной активности цезия-137 и стронция-90 показали, что динамика определяется физиологией древесных растений, связанной с фазами их сезонного развития. Полученные графики демонстрируют вариабельность содержания цезия-137 и стронция-90 в деревьях в течение года.

По результатам исследований выявлено, что сосна по сравнению с елью способна накапливать большее количество радионуклидов.

В исследуемых лиственных породах кальций является необходимым компонентом протоплазмы, входит в состав ядер и микросом, участвует в связывании нуклеотидов. Соединения кальция с пектиновыми веществами формируют срединные пластинки клеток. Поскольку стронций-90 является химическим аналогом кальция, его содержание связано с содержанием кальция и зольных веществ в структурных частях древесных пород. Наибольшее содержание зольных веществ в березе, тополе и иве наблюдается в коре и листьях [10].

Данные об удельной активности цезия-137 и стронция-90 в коре и древесине нормировали по плотности загрязнения. Расчёты удельной активности радионуклида в дереве (Бк/кг) по отношению к удельной активности радионуклида в почве (Бк/кг) позволили определить интенсивность переноса радионуклидов из почвы в деревья.

По результатам исследования выявлено, что берёза по сравнению с ивой и тополем способна накапливать большее количество радионуклидов.

Зависимость удельной активности коры и древесины лиственных пород по цезию-137 и стронцию-90 от условий места произрастания рассмотрена на примере берёзы.

Концентрация радиоактивных элементов изменяется в зависимости от структурной части древостоя и условий произрастания (см. табл. 2).

Таблица 2 - Изменение удельной активности цезия-137 и стронция-90 в коре и древесине берёзы

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.6.4>

Тип почвы	Древесина				Кора			
	цезий-137, (Бк/кг)/(Ки/км)		стронций-90, (Бк/кг)/(Ки/км)		цезий-137, (Бк/кг)/(Ки/км)		стронций-90, (Бк/кг)/(Ки/км)	
	min	max	min	max	min	max	min	max
слабо дерново - подзолистая	0,3	5,8	1,4	13	0,4	3,7	3,4	47,8
дерново - подзолистая	0,3	2,3	0,8	7,5	0,2	2,7	3	5

Минимальные значения удельной активности цезия-137 и стронция-90 связаны с возможностью пересыхания верхнего, загрязненного слоя почвы.

Однако не только степень увлажнения почвы влияет на указанные выше показатели. На выбранном для исследований участке преобладает дерново-слабоподзолистая кислая почва, обладающая низкой емкостью катионного обмена в подзолистом горизонте. Это способствует адсорбции радионуклидов в верхних горизонтах и их вымыванию в нижние слои почвы.

Изменение содержания цезия-137 и стронция-90 в разные периоды года в пробах коры берёзы, отобранных вблизи р. Енисей (см. рис. 3).

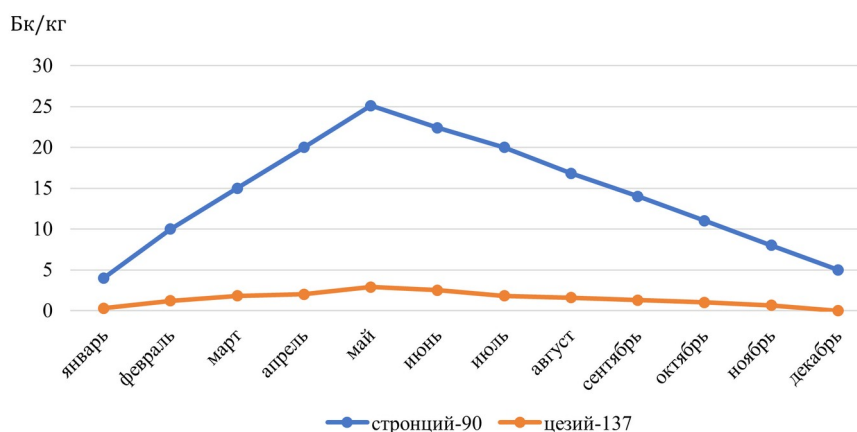


Рисунок 3 - Содержание цезия-137 и стронция-90 в коре берёзы

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.49.6.5>

По результатам исследования можно сделать вывод, что содержание цезия-137 и стронция-90 в коре меняется в течение года пикообразно. В коре берёзы, растущей по берегу р. Енисей, наибольшее содержание радионуклидов отмечается весной, и концентрация цезия-137 постепенно снижается к осени. Это может быть связано с началом интенсивного сокодвижения.

#### Заключение

Сосна и берёза обладают уникальными физиолого-биохимическими особенностями, которые делают их эффективным средством для использования в качестве защитных насаждений от радиационного загрязнения. Высокая

репродуктивная и аккумулирующая способности, быстрый рост, способность адаптироваться к различным природно-климатическим условиям делают сосну и берёзу незаменимыми элементами в системах биологической защиты и реабилитации загрязнённых территорий.

Смешанные сосново-берёзовые насаждения могут служить физическим барьером, задерживающим перенос радиоактивных частиц ветром и водой, тем самым предотвращая их распространение на более широкие территории. Наличие подобных насаждений приводит к предотвращению эрозии и вымывания радионуклидов в водоемы. Это особенно важно в зонах с высоким уровнем грунтовых вод и вблизи водоемов.

Полученные результаты исследований важны для разработки эффективных стратегий мониторинга и управления радиационной обстановкой в лесных экосистемах города Железногорска.

### Благодарности

Авторы выражают особую благодарность Буторову Павлу Владимировичу, начальнику отдела радиационной, промышленной, пожарной безопасности и охраны труда филиала «Железногорский» ФГУП «НО РАО», заслуженному ликвидатору аварии на ЧАЭС за значимые замечания и практические рекомендации при проведении исследований.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Acknowledgement

The authors express their special gratitude to Butorov Pavel Vladimirovich, Head of the Department of Radiation, Industrial, Fire and Labour Safety of the Zheleznogorsk Branch of FGUE "SB RAS", honoured liquidator of the Chernobyl accident for significant comments and practical recommendations during the research.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Миграция радионуклидов в лесных экосистемах. — URL: <https://studfile.net/preview/16702044/page:25/> (дата обращения: 13.07.2024).
2. Аккумуляция радионуклидов растениями лесных фитоценозов. — URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=20992> (дата обращения: 13.07.2024).
3. Фомина Н.В. Лесные культуры / Н.В. Фомина; Краснояр. гос. аграр. ун-т. — Красноярск, 2022. — 275 с.
4. Молчанов А.Г. Физиологические исследования древесных растений / А.Г. Молчанов // Лесхоз. информ.: электрон. сетевой журн. — 2019. — № 4. — С. 23–31. — DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.02.
5. Об утверждении Особенностей осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов: № 283 от 8 июня 2017 г.: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ: [Зарегистрировано в Минюсте России 18 августа 2017 г. N 47860]. — URL: <https://normativ.kontur.ru/dntId=298983&ysclid=lxkky445> (дата обращения: 13.07.2024).
6. Монахов Д.В. Практикум по радиэкологии: учебное пособие: по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование», 06.03.02 «Почвоведение» / Д.В. Монахов, Д.Н. Липатов, А.И. Щеглов; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. — Москва: МАКС Пресс, 2019. — 92 с.
7. Методика определения содержания стронция – 90 в почвах и растениях радиохимическим методом. — URL: <https://707.su/mg4y> (дата обращения: 17.07.2024).
8. Стронций-90, стабильный стронций и кальций в почвах и продуктах питания растительного происхождения. — URL: <https://707.su/4iO9> (дата обращения: 02.06.2024).
9. Экологические отчеты: сайт. — URL: <https://707.su/OavO> (дата обращения: 2.06.2024)
10. Бажина Е.В. Особенности плодоношения березы повислой в красноярской лесостепи: учебное пособие / Е.В. Бажина, Л.Н. Скрипальщикова, А.П. Барченков. — Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2018. — 112 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Migratsiya radionuklidov v lesnyh ekosistemah [Migration of radionuclides in forest ecosystems]. — URL: <https://studfile.net/preview/16702044/page:25/> (accessed: 07.13.2024). [in Russian]
2. Akkumulirovanie radionuklidov rasteniyami lesnyh fitocenozov [Accumulation of radionuclides by plants of forest phytocenoses]. — URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=20992> (accessed: 07.13.2024). [in Russian]
3. Fomina N.V. Lesnye kul'tury [Forest cultures] [Electronic resource] / N.V. Fomina; Krasnoyarsk State Agrarian University. — Krasnoyarsk, 2022. — 275 p. [in Russian]
4. Molchanov A.G. Fiziologicheskie issledovaniya drevesnyh rastenij [Physiological studies of woody plants] / A.G. Molchanov // Lesohoz. inform.: elektron. setevoy zhurn. [Forest. Inform.: Electron. Network Journal]. — 2019. — № 4. — P. 23–31. — DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.02. [in Russian]
5. Ob utverzhenii Osobennostej osushchestvleniya profilakticheskikh i reabilitatsionnykh meropriyatij v zonah radioaktivnogo zagryazneniya lesov [On approval of the Specifics of the implementation of preventive and rehabilitation measures in areas of radioactive contamination of forests]: No. 283 dated June 8, 2017: The order of the Ministry of Natural

Resources and Ecology of the Russian Federation: [Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on August 18, 2017 N 47860]. — URL: <https://normativ.kontur.ru/dntId=298983&ysclid=lxkky445> (accessed: 07.13.2024). [in Russian]

6. Monakhov D.V. Praktikum po radioekologii: uchebnoe posobie [Workshop on radioecology]: textbook: in the areas of training 05.03.06 "Ecology and nature management", 06.03.02 "Soil Science" / D.V. Monakhov, D.N. Lipatov, A.I. Shcheglov; Lomonosov Moscow State University. — Moscow: MAKS Press, 2019. — 92 p. [in Russian]

7. Metodika opredeleniya sodержaniya stronciya – 90 v pochvah i rasteniyah radiohimicheskim metodom [Method of determination of strontium – 90 content in soils and plants by radiochemical method]. — URL: <https://707.su/mg4y> (accessed: 07.17.2024) . [in Russian]

8. Stroncij-90, stabil'nyj stroncij i kal'cij v pochvah i produktah pitaniya rastitel'nogo proiskhozhdeniya xStrontium-90, stable strontium and calcium in soils and food products of plant origin]. — URL: <https://707.su/4iO9> (accessed: 02.06.2024). [in Russian]

9. Ekologicheskie otchety [Environmental reports]: website. — URL: <https://707.su/OavO> (accessed: 2.06.2024) [in Russian]

10. Bazhina E.V. Osobennosti plodonosheniya berezy povisloj v krasnoyarskoj lesostepi: uchebnoe posobie [Features of the fruiting of the hanging birch in the Krasnoyarsk forest-steppe: a textbook] / E.V. Bazhina, L.N. Skripalshchikova, A.P. Barchenkov. — Krasnoyarsk: V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS, 2018. — 112 p. [in Russian]