

---

# РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

## RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

---

УДК 630\*182.4(630\*176.322.6):539.163(546.36+546.42)

### КРАТКОСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ И $^{90}\text{Sr}$ ЭЛЕМЕНТОВ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ВЫСОКОВОЗРАСТНЫХ ДУБРОВ В ЗОНЕ ЭВАКУАЦИИ (ОТЧУЖДЕНИЯ) ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Д. К. ГАРБАРУК<sup>1)</sup>, А. Н. ВОРОНЕЦКАЯ<sup>1)</sup>, С. В. ШУМАК<sup>1)</sup>, Л. М. ТУРЧИН<sup>1)</sup>, А. В. УГЛЯНЕЦ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
ул. Терешковой, 7, 247618, г. Хойники, Беларусь

---

#### Образец цитирования:

Гарбарук ДК, Воронцовская АН, Шумак СВ, Турчин ЛМ, Углынец АВ. Краткосрочные изменения загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  элементов биогеоценозов высоковозрастных дубрав в зоне эвакуации (отчуждения) Чернобыльской АЭС. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2025;3:51–66.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-51-66>

#### For citation:

Garbaruk DK, Voronetskaya AN, Shumak SV, Turchin LM, Uglyanets AV. Short-term contamination changes of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in ecosystems elements of high-age oak forests in the Chernobyl nuclear power plant exclusion zone. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2025;3:51–66. Russian.  
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2025-3-51-66>

---

#### Авторы:

**Дмитрий Константинович Гарбарук** – заведующий отделом экологии растительных комплексов.  
**Алеся Николаевна Воронцовская** – младший научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов.  
**Светлана Васильевна Шумак** – аспирант; младший научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов.  
**Лариса Михайловна Турчин** – научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов.  
**Анатолий Владимирович Углынец** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; ведущий научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов.

#### Authors:

**Dmitriy K. Garbaruk**, head of the department of ecology of vegetative complexes.  
[dima.garbaruk.77@mail.ru](mailto:dima.garbaruk.77@mail.ru)  
**Alesya N. Voronetskaya**, junior researcher at the department of ecology of vegetative complexes.  
[voronetskaya2015@mail.ru](mailto:voronetskaya2015@mail.ru)  
**Svetlana V. Shumak**, postgraduate student; junior researcher at the department of ecology of vegetative complexes.  
[shumaksvetlana@mail.ru](mailto:shumaksvetlana@mail.ru)  
**Larisa M. Turchin**, researcher at the department of ecology of vegetative complexes.  
[lara.turchin@bk.ru](mailto:lara.turchin@bk.ru)  
**Anatoliy V. Uglyanets**, PhD (agriculture), docent; leading researcher at the department of ecology of vegetative complexes.  
[uhlianets@mail.ru](mailto:uhlianets@mail.ru)

Исследованиями в дубравах кисличной, снытевой и прируслово-пойменной в зоне эвакуации (отчуждения) Чернобыльской атомной электростанции установлено, что на современном этапе последствий радиационной аварии на общем фоне смягчения радиационной обстановки наблюдаются существенные различия в направлениях и темпах краткосрочных изменений (2018–2024 гг.) показателей загрязнения почв и структурных компонентов основных ярусов насаждений  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Амбиент мощности дозы гамма-излучения и загрязнение почвы обоими радионуклидами снизился во всех типах дубрав, за исключением дубравы прируслово-пойменной, в почвах которой увеличилось содержание  $^{90}\text{Sr}$ . Текущие изменения параметров загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  органов и тканей деревьев дуба, растений подроста и подлеска, частей фитомассы фоновых видов живого напочвенного покрова были разновекторными и разновеликими и зависели от вида растения, типа леса, года наблюдения. Ранжированные ряды коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты деревьев дуба и органы подроста и подлеска различались по типам леса и годам наблюдений. Для деревьев дуба минимальным был переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в древесину, максимальным – переход  $^{137}\text{Cs}$  в желуди и листья. В 2024 г. ранжированный ряд коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  был общим для всех типов леса – «древесина < кора < корни < ветви < желуди < листья». Наиболее частым распределением органов подроста и подлеска по величинам коэффициентов перехода в них  $^{137}\text{Cs}$  был ряд «стволики < корни < листья»,  $^{90}\text{Sr}$  – «стволики < листья < корни». Выявлено повышение удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в надземной и подземной фитомассе ландыша майского в ряду типов леса «дубрава прируслово-пойменная < дубрава кисличная < дубрава снытевая».

**Ключевые слова:** Чернобыльская атомная электростанция; зона отчуждения; дубрава; почва; элемент фитоценоза;  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ; удельная активность; коэффициент перехода.

## SHORT-TERM CONTAMINATION CHANGES OF $^{137}\text{Cs}$ AND $^{90}\text{Sr}$ IN ECOSYSTEMS ELEMENTS OF HIGH-AGE OAK FORESTS IN THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT EXCLUSION ZONE

D. K. GARBARUK<sup>a</sup>, A. N. VORONETSKAYA<sup>a</sup>, S. V. SHUMAK<sup>a</sup>, L. M. TURCHIN<sup>a</sup>, A. V. UGLYANETS<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Polesye State Radiation-Ecological Reserve,  
7 Tserashkovaj Street, 247618 Khoyniki, Belarus  
Corresponding author: D. K. Garbaruk (dima.garbaruk.77@mail.ru)

Studies in wood sorrel, goutweed and riverbed–floodplain oak forests in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant, it was established that at the current stage of the consequences of the radiation disaster against the general background of mitigation of the radiation situation, there are significant differences in the directions and rates of short-term changes (2018–2024) in the indicators of contamination of soils and structural components of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  of the main tiers of plantations. The ambient dose rate of gamma radiation and soil contamination with both radionuclides decreased in all types of oak forests, except for the soil of the riverbed–floodplain oak forest, where the  $^{90}\text{Sr}$  content increased. Current changes in the parameters of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  contamination of oak tree organs and tissues, undergrowth and understorey plants, parts of phytomass of background species of living ground cover were of different vectors and magnitudes and depended on the plant species, forest type and year of observation. The ranked series of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transition coefficients into components of oak trees and organs of undergrowth and understorey differed by forest types and years of observation. For oak trees, the transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  to wood was minimal, while the transfer of  $^{137}\text{Cs}$  to acorns and leaves was maximal. In 2024, the ranked series of  $^{137}\text{Cs}$  transition coefficients was common for all forest types – «wood < bark < roots < branches < acorns < leaves». The most frequent distribution of undergrowth and understorey organs according to the values of  $^{137}\text{Cs}$  transition coefficients in them was the series «trunks < roots < leaves»,  $^{90}\text{Sr}$  – «trunks < leaves < roots». An increase in the specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the aboveground and underground phytomass of May lily was revealed in the series of forest types «riverbed–floodplain oak forest < wood sorrel oak forest < goutweed oak forest».

**Keywords:** Chernobyl Nuclear Power Plant; exclusion zone; oak forest; soil; elements of phytocenosis;  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ ; specific activity; transition coefficient.

### Введение

Леса наиболее надежно блокируют миграцию радиоактивных веществ и являются барьером для их пространственного перемещения [1–4]. Поэтому в лесных экосистемах с высокими уровнями радиоактивного загрязнения необходимо постоянное слежение за радиационной обстановкой в целях перманентной ее оценки и разработки прогнозов по динамике содержания радионуклидов [5]. Система радиационно-экологического мониторинга в лесных биогеоценозах на различных этапах последствий аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) обоснована в работе [6]. Его осуществление в лесах зоны отчуждения (ЗО) ЧАЭС, самых загрязненных радиоактивными веществами в Беларуси<sup>1</sup> входит в число

<sup>1</sup>35 лет после Чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: Национальный доклад Республики Беларусь. Минск: ИВЦ Минфина; 2020. 152 с.

приоритетных задач функционирующего в ее границах Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (заповедник).

Мониторинговые радиологические исследования древостоев основных лесобразующих пород в ЗО были начаты на следующий год после аварии на ЧАЭС и осуществлялись до 2006 г. [3]. С 2006 г. сотрудники заповедника начали формировать сеть системно-факторного радиационно-экологического мониторинга лесных биогеоценозов на основе типов лесорастительных условий (ТЛУ) [7], которая в силу обстоятельств не была завершена [8]. Однако оба эти направления не включали оценку загрязнения радионуклидами насаждений дубовой лесной формации.

Современный радиационно-экологический мониторинг лесных экосистем в ЗО ЧАЭС на формационно-типологической основе, предусматривающий закладку постоянных пунктов наблюдения (ППН) в трех ключевых типах леса каждой их основных лесных формаций (сосновой, березовой, черноольховой и дубовой) с периодичностью наблюдений 5 лет, осуществляется научным персоналом заповедника с 2014 г. [8]. В 2018 г. было заложено по одному ППН в дубравах кисличной, снытевой и прируслово-пойменной, занимающих соответственно 28,8, 10,8 и 10,8 % от площади формации. Исходные сведения о содержании основных дозообразующих радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) в элементах дубрав приведены в работах [9; 10]. Повторный съем данных в них был выполнен в 2024 г. Полученные материалы являются основой для оценки текущей радиационной ситуации в насаждениях дуба.

Цель работы: определить параметры текущих краткосрочных изменений загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  структурных компонентов основных элементов биогеоценозов в дубравах ЗО ЧАЭС.

### Материалы, методы и объекты исследования

Предмет исследований – текущее изменение радиационной обстановки и уровней загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  структурных компонентов деревьев дуба (древесина, кора, корни, ветви, листья, желуди), органов преобладающих пород подроста и подлеска (стволики, корни, листья), надземной и подземной фитомассы фоновых видов живого напочвенного покрова (ЖНП) на ППН в дубравах кисличной, снытевой и прируслово-пойменной. Эти типы леса суммарно занимают 50,4 % площади дубовой лесной формации ЗО ЧАЭС.

Закладку ППН выполнили в соответствии с ТКП 240-2010 (02080)<sup>2</sup> и ТКП 498-2013 (02080)<sup>3</sup>, таксацию древостоев и определение таксационных показателей – в соответствии с методами, описанными в источниках [11; 12] с использованием справочника [13]. Таксационная характеристика древостоев дуба на оба срока наблюдений дана в табл. 1. Увеличение густоты древостоя в дубраве прируслово-пойменной обусловлено выходом некоторого количества растений березы из подроста в древесный ярус [14].

Таблица 1

Изменение таксационных показателей древостоев дуба

Table 1

Changes in taxation indices of oak stands

| Дубрава              | Год наблюдения | Состав древостоя | Возраст дуба, лет | Средние |       | Бонитет | Густота, шт./га | Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га | Полнота | Запас, м <sup>3</sup> /га |
|----------------------|----------------|------------------|-------------------|---------|-------|---------|-----------------|--------------------------------------------|---------|---------------------------|
|                      |                |                  |                   | Н, м    | Д, см |         |                 |                                            |         |                           |
| Кисличная            | 2018           | 7Д2Олч1Г+Б,Кл    | 110               | 24,3    | 58,9  | II      | 600             | 25,6                                       | 0,8     | 258                       |
|                      | 2024           | 7Д2Олч1Г+Б,Кл    | 116               | 26,1    | 58,7  | II      | 592             | 23,3                                       | 0,7     | 225                       |
| Снытевая             | 2018           | 6Д3Г1Кл+Олч      | 112               | 23,3    | 50,9  | III     | 540             | 27,6                                       | 0,9     | 252                       |
|                      | 2024           | 6Д3Г1Кл+Олч      | 118               | 23,6    | 51,8  | III     | 484             | 25,6                                       | 0,8     | 231                       |
| Прируслово-пойменная | 2018           | 9Д1Тч+Б,Олч,Гш   | 77                | 13,9    | 34,7  | IV      | 324             | 20,2                                       | 0,8     | 156                       |
|                      | 2024           | 9Д1Б+Олч,Тч,Гш   | 83                | 13,7    | 32,0  | V       | 336             | 18,1                                       | 0,7     | 139                       |

Радиологические исследования на ППН. Замер амбиента мощности эквивалентной дозы гамма-излучения (МД) выполняли дозиметром-радиометром МКС-АТ6130 (Беларусь) на высоте 1 м от поверхности почвы в 9 контрольных точках. На них же отбирали образцы верхних слоев почвы с лесной подстилкой

<sup>2</sup>ТКП 240-2010 (02080). Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения. Утвержден и введен постановлением Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь от 22 февраля 2010 г. № 5. Минск: Минлесхоз, 2010. 18 с.

<sup>3</sup>ТКП 498-2013 (02080). Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения. Утвержден и введен Постановлением Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь от 3 октября 2013 г. № 12. Минск: Минлесхоз, 2013. 28 с.

и ЖНП на общую глубину 20 см стандартным пробоотборником диаметром 4 см в соответствии с ТКП 499-2013 (02080)<sup>4</sup>. Пробы древесины дуба отбирали с помощью возрастного бурава Мога (Швеция), пробы коры – цилиндрическим пробоотборником диаметром 40 мм на высоте 1,3 м у 20–30 растущих деревьев дуба I–III классов роста и развития (по Крафту). Отбор образцов скелетных боковых корней выполняли путем раскопок их лопатой на расстоянии до 1,5 м от стволов деревьев, тонких (1–3-летних) ветвей, листьев и желудей – при помощи сучкореза штангового. Для получения проб наиболее распространенных видов подроста и подлеска полностью выкапывали необходимое количество средних растений каждого вида с последующим разделением их на фракции: стволики с корой, листья и корни (скелетные и обрастающие). Надземную фитомассу фоновых видов ЖНП получали путем их срезания секаторами на уровне поверхности почвы, подземную – методом раскопок. Биологические образцы отбирались равномерно по всему ППН, или в местах их произрастания.

Подготовку образцов для анализа осуществляли в соответствии с ТКП 251-2010 (02080)<sup>5</sup>. Биологические образцы измельчали секаторами и мельницей ножевой РМ-120 (Россия) до порошкообразной массы.

Определение удельной активности ( $A_y$ )  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах почвы и биологических образцах растений, высушенных до воздушно-сухого состояния, выполнено в лаборатории спектрометрии и радиохимии заповедника инструментально на гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (Беларусь).

Плотность загрязнения почвы (ПЗ)  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  рассчитывали в соответствии с ТКП 240-2010 (02080)<sup>2</sup>. Для сопоставления уровней накопления радионуклидов в компонентах фитоценозов при различной ПЗ рассчитывали коэффициенты перехода ( $K_n$ ) радионуклидов из почвы в растения, как частное от их  $A_y$  (Бк/кг) к ПЗ (кБк/м<sup>2</sup>).

Обработку материалов производили при помощи стандартных пакетов прикладных программ *Microsoft Excel 2010*.

### Результаты исследования и их обсуждение

**Мощность дозы и загрязнение почв.** На современном этапе последствий аварии на ЧАЭС активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных экосистемах ЗО ЧАЭС за счет естественного распада уменьшилась более чем наполовину от выпавшего в 1986 г. их количества. В исследованных дубравах МД на высоте 1 м в 2018 г. составляла 0,21–0,67 мкЗв/ч, в 2024 г. – 0,17–0,54 мкЗв/ч,  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в почве – 1294–3408 и 1172–2198 Бк/кг, ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  – 246–649 и 233–534 кБк/м<sup>2</sup>,  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в почве – 108–886 и 140–352 Бк/кг, ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  – 20,5–168,7 и 27,8–85,6 кБк/м<sup>2</sup> (табл. 2). Различия в загрязнении почв обусловлены мозаичностью выпадения радионуклидов, влажностью почв, природой самих радионуклидов [2; 3; 15; 16]. За 6 лет произошло выравнивание  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в почвах дубрав кисличной и прируслово-пойменной.

Таблица 2

Показатели радиационной обстановки в дубравах

Table 2

Indicators of radiation situation in oak forests

| Дубрава                                      |                   | Прируслово-пойменная |            | Кисличная  |            | Снытевая   |            |
|----------------------------------------------|-------------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Год                                          |                   | 2018                 | 2024       | 2018       | 2024       | 2018       | 2024       |
| МД на высоте 1 м, мкЗв/ч                     |                   | 0,21                 | 0,17       | 0,34       | 0,32       | 0,67       | 0,54       |
| $A_y$ , Бк/кг                                | $^{137}\text{Cs}$ | 1294 ± 259           | 1172 ± 234 | 2137 ± 427 | 1173 ± 311 | 3408 ± 682 | 2198 ± 582 |
|                                              | $^{90}\text{Sr}$  | 108 ± 48             | 140 ± 46   | 289 ± 69   | 225 ± 66   | 886 ± 190  | 352 ± 107  |
| ПЗ, кБк/м <sup>2</sup>                       | $^{137}\text{Cs}$ | 245,7                | 233,1      | 458,3      | 291,9      | 648,8      | 534,5      |
|                                              | $^{90}\text{Sr}$  | 20,5                 | 27,8       | 62,0       | 56,0       | 168,7      | 85,6       |
| $A_y$ $^{137}\text{Cs}/A_y$ $^{90}\text{Sr}$ |                   | 12,0                 | 8,4        | 7,4        | 5,2        | 3,8        | 6,2        |

Примечание. Здесь и далее в таблицах «±» обозначает погрешность лабораторных измерений.

Показатели МД и загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в оба срока наблюдений повышались в типологическом ряду «дубрава прируслово-пойменная – дубрава кисличная – дубрава снытевая» фактически по градиентам возрастания индексов влажности и трофности эдафотопов ( $A_2B_2 – D_2 – D_3$ ). Полагаем, что приведенное

<sup>4</sup>ТКП 499-2013 (02080). Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения. Утвержден и введен постановлением Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь от 3 октября 2013 г. № 12. Минск: Минлесхоз, 2013. 28 с.

<sup>5</sup>ТКП 251-2010 (02080). Радиационный контроль. Отбор и подготовка проб лесной продукции. Порядок проведения. Утвержден и введен постановлением Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь от 28 июня 2010 г. № 14. Минск: Минлесхоз, 2010. 26 с.

распределение является случайным, так как фактически загрязнение дубовых лесов изначально определено мозаичностью выпадения радионуклидов [17].

Отношение  $A_y^{137}\text{Cs}/A_y^{90}\text{Sr}$  в почве в 2018 г. увеличивалось в ряду дубрава снытевая < дубрава кисличная < дубрава прируслово-пойменная с 3,8 до 12 раз. К 2024 г. этот диапазон сузился до 5,2–8,4 раза. При этом в дубраве прируслово-пойменной отношение  $A_y^{137}\text{Cs}/A_y^{90}\text{Sr}$  снизилось в 1,4, в кисличной – в 1,3, а в снытевой – выросло в 1,6 раза (табл. 2). Приведенные данные указывают на отличие динамики текущего содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в почвах разных типов леса.

За анализируемый период уменьшение МД по типам леса составило от 5,9 до 19,4 % при скорости ее снижения в отдельных насаждениях 1,0 и 3,2 %/год (табл. 3). Это выходит за пределы среднегодовых темпов падения данного показателя в сосняках ЗО ЧАЭС в 1996–2016 гг. (2,8–3,0 %/год) [18] и в среднем близко к скорости снижения МД в лесах дальнего следа радиоактивных выпадений через 30 лет после аварии на ЧАЭС (2,2 %/год)<sup>6</sup>.

Таблица 3

Текущие изменения показателей радиационной обстановки в дубравах  
(числитель – абсолютное, знаменатель – относительное, %)

Table 3

Current changes of radiation situation indicators in oak forests (numerator – absolute, denominator – relative, %)

| Дубрава                | Прируслово-пойменная |               | Кисличная     |                 | Снытевая      |                |
|------------------------|----------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
| Изменения за           | период               | год           | период        | год             | период        | год            |
| МД, мкЗв/ч             | –0,04 / –19,0        | –0,01 / –3,2  | –0,13 / –19,4 | –0,02 / –3,2    | –0,02 / –5,9  | –0,003 / –1,0  |
| $A_y$ , Бк/кг          | $^{137}\text{Cs}$    | –122,0 / –9,4 | –20,3 / –1,6  | –1210,0 / –35,5 | –201,7 / –5,9 | –964,0 / –45,1 |
|                        | $^{90}\text{Sr}$     | +32,0 / +29,6 | +5,3 / +4,9   | –534,0 / –60,3  | –89,0 / –10,0 | –64,0 / –22,1  |
| ПЗ, кБк/м <sup>2</sup> | $^{137}\text{Cs}$    | –12,6 / –5,1  | –2,1 / –0,9   | –114,3 / –17,6  | –19,1 / –2,9  | –166,4 / –36,3 |
|                        | $^{90}\text{Sr}$     | +7,3 / +35,6  | +1,2 / +5,9   | –83,1 / –49,3   | –13,9 / –8,2  | –6,0 / –9,7    |

Уменьшение  $A_y^{137}\text{Cs}$  в почве происходило со скоростью 1,6–7,5 %/год, ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  – 0,9–6,1 %/год. Суммарное снижение значений этих показателей за 6 лет оказалось очень высоким и составило соответственно 9,4–45,1 и 5,1–36,3 %.

Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в почве и ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  в суходольных дубравах за 6 лет уменьшились. Более быстрые темпы их падения в дубраве кисличной в сравнении с дубравой снытевой означают, что скорость очищения верхних 20-сантиметровых слоев почв от данного радионуклида возрастает с понижением индекса влажности эдафотопов. Это противоречит установленному ранее факту, что в дубравах с приближением уровней грунтовых вод к дневной поверхности содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в верхних слоях почв снижается [19].

Выявленный рост  $A_y^{90}\text{Sr}$  в почве и ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  в дубраве прируслово-пойменной, с одной стороны, довольно существенный (табл. 3), с другой – разница между значениями  $A_y^{90}\text{Sr}$  в 2018 и 2024 гг. находится в пределах погрешностей измерения (табл. 2). Повышение содержания радионуклидов в 20-сантиметровых слоях лесных почв в отдельные годы явление ординарное. Так, всплески увеличения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в почвах сосняков обусловлены его вертикальной миграцией и перераспределением между компонентами почвенно-подстилочного комплекса [20]. Этот процесс волнообразный и связан с циклическим взаимообменом  $^{137}\text{Cs}$  в системе «подстилка ↔ почва» под влиянием погодных-климатических условий, определяющих сезонное изменение влажности данных компонентов [21].

Полагаем, что в числе возможных причин увеличения показателей загрязнения 20-сантиметровых слоев почвы  $^{90}\text{Sr}$  в дубраве прируслово-пойменной в 2024 г. стало затопление и подтопление пониженных участков насаждений высокими паводковыми водами весной 2023 г., обеспечившие в условиях многолетнего отсутствия весенних затоплений, подъем радионуклида в верхние слои почв и способствовавшие повышению его концентрации в почвенно-подстилочном комплексе.

**Содержание радионуклидов в элементах фитоценозов.** В древостое величины концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  различаются по структурным компонентам деревьев, типам леса и годам наблюдения (табл. 4). Это обусловлено спецификой поглощения и последующего перераспределения  $^{137}\text{Cs}$  или  $^{90}\text{Sr}$  конкретными органами и тканями деревьев под влиянием погодных-климатических, почвенно-грунтовых и иных экологических факторов, уровнями загрязнения почв этими радионуклидами и расстоянием до ЧАЭС [1–4; 15–17; 22–24].

<sup>6</sup>30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Национальный доклад Республики Беларусь. Минск: Институт радиологии; 2016. 116 с.

Таблица 4

Показатели удельной активности <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в компонентах деревьев дуба, Бк/кг

Table 4

Specific activity values of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in oak tree components, Bq/kg

| Дубрава                          |           | Прируслово-пойменная |             | Кисличная    |              | Снытевая     |              |
|----------------------------------|-----------|----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Год                              |           | 2018                 | 2024        | 2018         | 2024         | 2018         | 2024         |
| A <sub>y</sub> <sup>137</sup> Cs | кора      | 1067 ± 220           | 1062 ± 217  | 13721 ± 307  | 1014 ± 272   | 2398 ± 480   | 1723 ± 457   |
|                                  | древесина | 586 ± 127            | 720 ± 156   | 796 ± 199    | 508 ± 166    | 1038 ± 257   | 883 ± 245    |
|                                  | ветки     | 1676 ± 335           | 1272 ± 254  | 3915 ± 783   | 1488 ± 397   | 10194 ± 2039 | 4603 ± 1218  |
|                                  | листья    | 3788 ± 758           | 5895 ± 1179 | 17570 ± 3514 | 8279 ± 219   | 42466 ± 8493 | 16233 ± 4292 |
|                                  | корни     | 2066 ± 413           | 1168 ± 234  | 5024 ± 1005  | 3824 ± 1014  | 6043 ± 1209  | 5490 ± 1453  |
|                                  | желуди    | –                    | 4032 ± 807  | –            | 10389 ± 2751 | –            | 14076 ± 3723 |
| A <sub>y</sub> <sup>90</sup> Sr  | кора      | 2927 ± 585           | 2279 ± 456  | 1196 ± 262   | 885 ± 236    | 2086 ± 422   | 1216 ± 122   |
|                                  | древесина | 174 ± 49             | 207 ± 61    | 340 ± 82     | 232 ± 71     | 231 ± 64     | 85 ± 30      |
|                                  | ветки     | 943 ± 212            | 680 ± 139   | 3074 ± 615   | 1443 ± 384   | 2075 ± 415   | 1230 ± 327   |
|                                  | листья    | 689 ± 164            | 277 ± 68    | 1375 ± 314   | 791 ± 214    | 1746 ± 367   | 970 ± 260    |
|                                  | корни     | 1322 ± 264           | 1098 ± 220  | 561 ± 137    | 867 ± 233    | 1271 ± 262   | 1848 ± 490   |
|                                  | желуди    | –                    | 225 ± 92    | –            | 260 ± 113    | –            | 171 ± 83     |

За 6-летний период наблюдений содержание <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr вопреки ожиданиям снизилось не во всех структурных компонентах деревьев дуба. В дубраве кисличной повысилось количество <sup>90</sup>Sr в корнях, в дубраве прируслово-пойменной – <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в древесине, а также <sup>137</sup>Cs в листьях (табл. 5).

Таблица 5

Текущее изменение удельной активности <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в компонентах деревьев дуба  
(числитель – абсолютное, знаменатель – относительное, %)

Table 5

Current change of specific activity of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in components of oak trees (numerator – absolute, denominator – relative, %)

| Дубрава                                    |           | Прируслово-пойменная |               | Кисличная      |                 | Снытевая       |                 |
|--------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Изменения за                               |           | период               | год           | период         | год             | период         | год             |
| A <sub>y</sub> <sup>137</sup> Cs,<br>Бк/кг | кора      | –5 / –0,5            | –0,8 / –0,1   | –12707 / –92,6 | –2117,8 / –15,4 | –675 / –28,1   | –112,5 / –4,7   |
|                                            | древесина | +134 / +22,9         | +22,3 / +3,8  | –288 / –36,2   | –48,0 / –6,0    | –155 / –14,9   | –25,83 / –2,5   |
|                                            | ветки     | –404 / –24,1         | –67,3 / –4,0  | –2427 / –62,0  | –404,5 / –10,3  | –5591 / –54,8  | –931,8 / –9,1   |
|                                            | листья    | +2107 / +55,6        | +351,2 / +9,3 | –9291 / –52,9  | –1548,5 / –8,8  | –26233 / –61,8 | –4372,2 / –10,3 |
|                                            | корни     | –898 / –43,5         | –149,7 / –7,2 | –1200 / –23,9  | –200,0 / –4,0   | –553 / –9,2    | –92,2 / –1,5    |
| A <sub>y</sub> <sup>90</sup> Sr,<br>Бк/кг  | кора      | –648 / –22,1         | –108,0 / –3,7 | –311 / –26,0   | –51,8 / –4,3    | –870 / –41,7   | –145,0 / –7,0   |
|                                            | древесина | +33 / +19,0          | +5,5 / +3,2   | –108 / –31,8   | –18,0 / –5,3    | –146 / –63,2   | –24,3 / –10,5   |
|                                            | ветки     | –263 / –27,9         | –43,8 / –4,6  | –1631 / –53,1  | –271,8 / –8,8   | –845 / –40,7   | –140,8 / –6,8   |
|                                            | листья    | –412 / –59,8         | –68,7 / –10,0 | –584 / –42,5   | –97,3 / –7,1    | –776 / –44,4   | –129,3 / –7,4   |
|                                            | корни     | –224 / –16,9         | –37,3 / –2,8  | +306 / +54,5   | +51,0 / +9,1    | –577 / –45,4   | –96,2 / –7,6    |

Скорость и направленность краткосрочных изменений A<sub>y</sub> <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в компонентах деревьев дуба в разных типах леса неодинаковы. Темпы изменения концентрации <sup>137</sup>Cs в коре, древесине и ветках повышаются в ряду дубрава прируслово-пойменная – дубрава снытевая – дубрава кисличная; в корнях – в направлении дубрава снытевая – дубрава кисличная – дубрава прируслово-пойменная, то есть по

градиенту уменьшения индекса почвенного увлажнения; в листьях – дубрава прируслово-пойменная – дубрава кисличная – дубрава снытевая – в направлении увеличения этого индекса и ПЗ  $^{137}\text{Cs}$ . В ежегодно возобновляющихся листьях накопление радионуклидов зависит от уровня загрязнения и влажности почв, погодных и иных условий [2]. Темпы и направления изменений  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  по типам леса у всех компонентов дуба разные.

На периодическое повышение  $A_y$  и  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в компонентах фитомассы сосны, прежде всего в физиологически активных ассимиляционных органах и побегах, указывается в работе [25]. В связи с различной динамикой сезонной концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в органах и тканях [22] и несовпадением дат отбора биологического материала в 2018 и 2024 гг. (табл. 1) допускаем некоторые отклонения полученных данных фактором отбора.

В компонентах фитомассы сосны на автоморфных почвах в 1991–2014 гг. наблюдались циклические подъемы и падения  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  [25]. В ЗО ЧАЭС за 6 лет произошли разнонаправленные и разновеликие изменения  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты деревьев дуба. В дубравах кисличной и снытевой  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в кору, листья, ветви снизились, в корни – увеличились, в древесину – не изменились. В дубаве прируслово-пойменной в древесину, кору и листья они увеличились, а в ветви и корни уменьшились. В дубравах кисличной и прируслово-пойменной  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  во все компоненты деревьев понизились, а в дубаве снытевой – повысились, кроме древесины (рис. 1).

В целом превалирует тенденция очищения органов и тканей дуба от радионуклидов, прежде всего от  $^{137}\text{Cs}$ . Заметим, что переход радионуклидов в компоненты растений очень сильно зависит от влажности почвы, с повышением которой  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$ , как правило, резко возрастают, а  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$ , в зависимости от компонента, снижаются (чаще всего), или незначительно возрастают [2].

Ранжированные ряды  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты деревьев дуба различаются по типам леса и годам наблюдений. Общим для обоих радионуклидов и всех типов леса являются минимальные их величины в древесине, а для  $^{137}\text{Cs}$  – максимальные их значения в желудях и листьях (табл. 6). Заметим, что в 2024 г.  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в желуды составляли в дубаве прируслово-пойменной – 17,3, кисличной – 35,6, снытевой –  $26,3 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  – 8,1, 4,6 и  $2,0 \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ , соответственно.

Таблица 6

Ранжированные ряды коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты деревьев дуба

Table 6

Ranked series of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transition coefficients in to components of oak trees

| Дубрава              | Год  | $K_n$ $^{137}\text{Cs}$                            | $K_n$ $^{90}\text{Sr}$                             |
|----------------------|------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Кисличная            | 2018 | древесина < ветви < корни < кора < листья          | древесина < корни < кора < листья < ветви          |
|                      | 2024 | древесина < кора < ветки < корни < листья < желуды | древесина < желуды < листья < корни < кора < ветки |
| Снытевая             | 2018 | древесина < кора < корни < ветви < листья          | древесина < корни < листья < кора < ветви          |
|                      | 2024 | древесина < кора < ветви < корни < желуды < листья | древесина < желуды < листья < кора < ветви < корни |
| Прируслово-пойменная | 2018 | древесина < кора < ветви < корни < листья          | древесина < листья < ветви < корни < кора          |
|                      | 2024 | древесина < кора < корни < ветви < желуды < листья | древесина < желуды < листья < ветви < корни < кора |

В 2018 г. все ранжированные ряды  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты деревьев дуба различались между собой по типам леса. В 2024 г. наблюдалось почти универсальное распределение органов и тканей по уровням перехода  $^{137}\text{Cs}$  – древесина < кора < ветви < корни < желуды < листья, за исключением звена «... < листья < желуды» в дубаве кисличной. В том же году для ранжированных рядов  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  общим для всех типов дубрав было их начальное звено – «древесина < желуды < листья < ...», вторая часть ряда в каждом типе леса была индивидуальной.

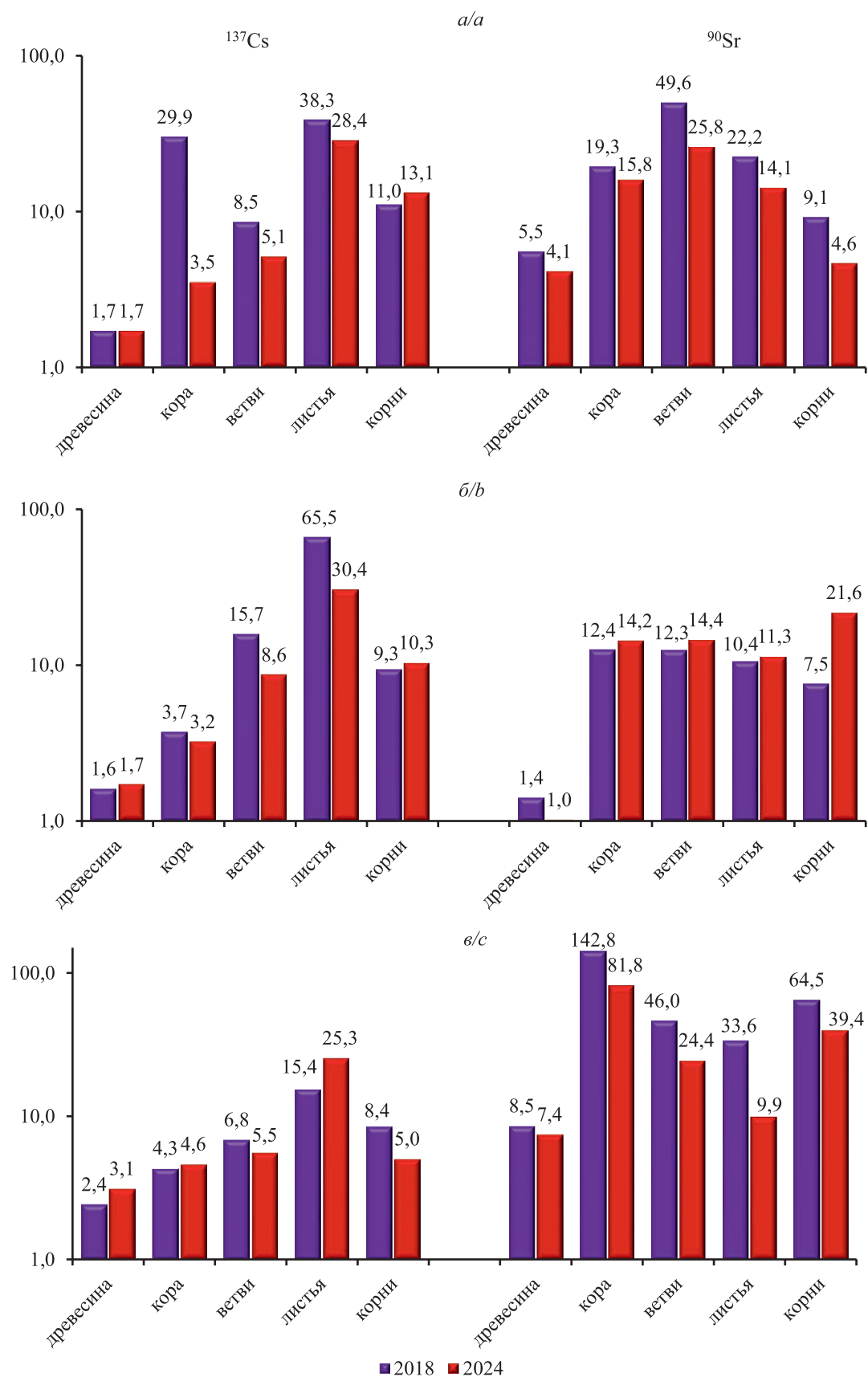


Рис. 1. Текущие изменения коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты дуба в дубравах кисличной (а), снытевой (б) и прируслово-пойменной (в),  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$

Fig. 1. Current changes of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  transition coefficients into oak components in wood sorrel (a), goutweed (b) and riverbed-floodplain (c) oak forests,  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2 \text{ kg}^{-1}$

Иные распределения  $K_p$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в структурных компонентах дуба помещены в работе [2]. Приведенные ряды различаются территориально и во времени, что зависит от целого комплекса факторов – физико-химической формы выпадений радионуклидов, типа и влажности почвы, типа фитоценоза, возраста древостоя, погоднo-климатических условий и других факторов. Общим для них является минимальные величины загрязнения древесины дуба, максимальные – его наружной коры. Этим, а также особенностями видового накопления радионуклидов [2; 15; 16], объясняются различия ранжированных рядов  $A_y$  и  $K_p$ .  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в органах и тканях не только дуба, но и видов подроста, подлеска и ЖНП, приведенных ниже.

Подрост, подлесок. Текущие изменения  $K_p^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в органы и ткани подроста и подлеска были неоднозначными. В дубраве кисличной  $K_p^{137}\text{Cs}$  в компоненты подроста и подлеска за 6 лет увеличились у большинства видов, за исключением корней и стволиков ясеня, в которых произошло их снижение. В то же время  $K_p^{90}\text{Sr}$  уменьшились в большей части органов данного ценоэлемента, кроме листьев клена и ясеня и всех компонентов подлеска крушины ломкой – в них переход радионуклида повысился (рис. 2).

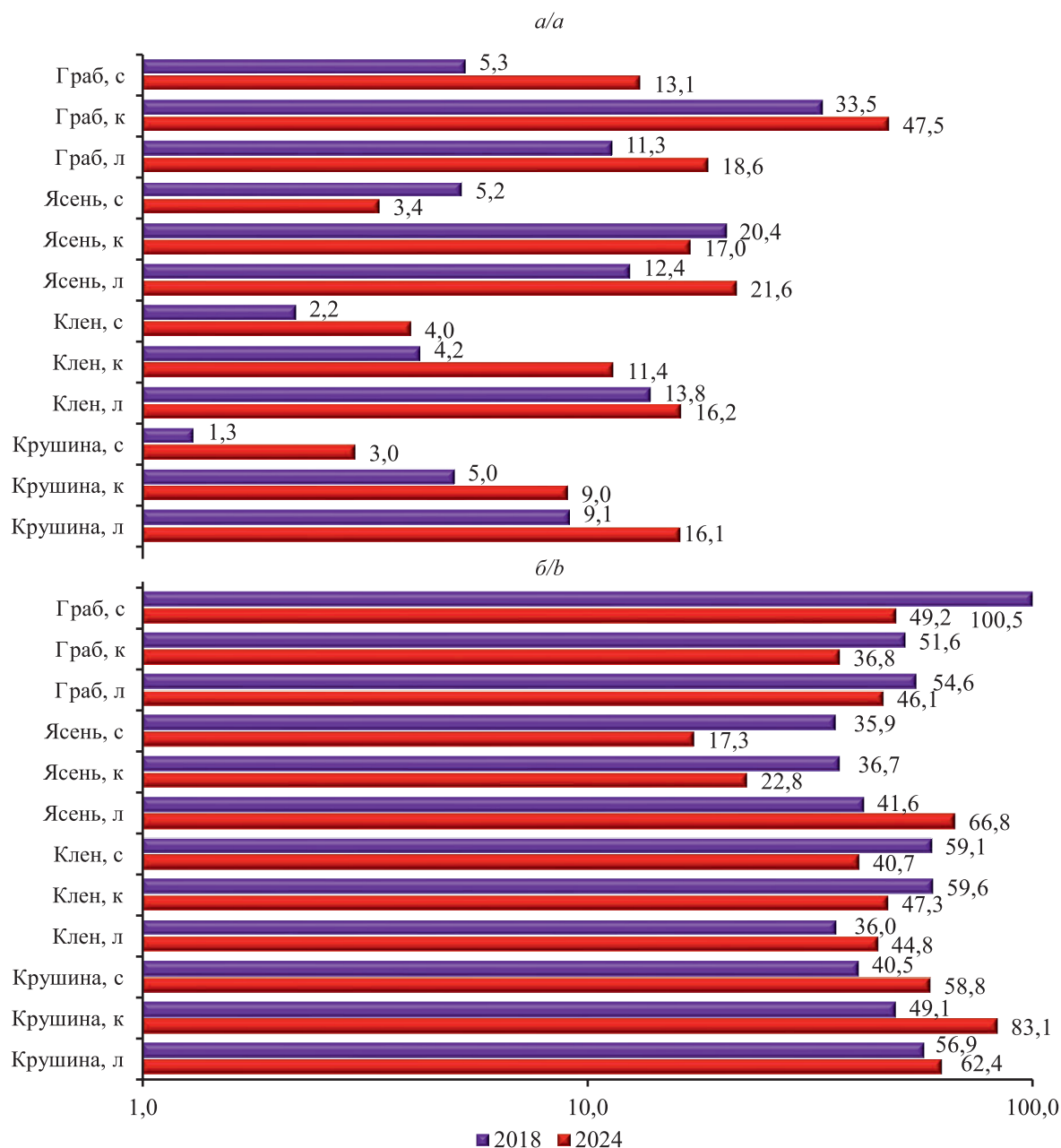


Рис. 2. Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  (а) и  $^{90}\text{Sr}$  (б) в компоненты подроста и подлеска в дубраве кисличной,  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$  (здесь и далее: с – стволы; к – корни; л – листья)

Fig. 2. Transition coefficients of  $^{137}\text{Cs}$  (a) and  $^{90}\text{Sr}$  (b) into components of undergrowth and understorey in wood sorrel oak forest,  $n \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$  (Here and further: c – trunks, κ – roots, and л – leaves)

В дубраве снытевой  $K_n^{137}\text{Cs}$  понизились во всех органах граба, клена и ясеня, а также возросли у вяза и лещины. Произошел рост  $K_n^{90}\text{Sr}$  во все компоненты вяза, клена, ясеня, лещины и листья граба и снижение в корнях и стволиках граба (рис. 3). В дубраве прируслово-пойменной  $K_n^{137}\text{Cs}$  увеличились во все компоненты дуба, осины, крушины ломкой и березы (кроме корней) и снизились в корнях березы и всех органах ивы серой. Во всех компонентах всех видов подроста и подлеска  $K_n^{90}\text{Sr}$  снизились (рис. 4).

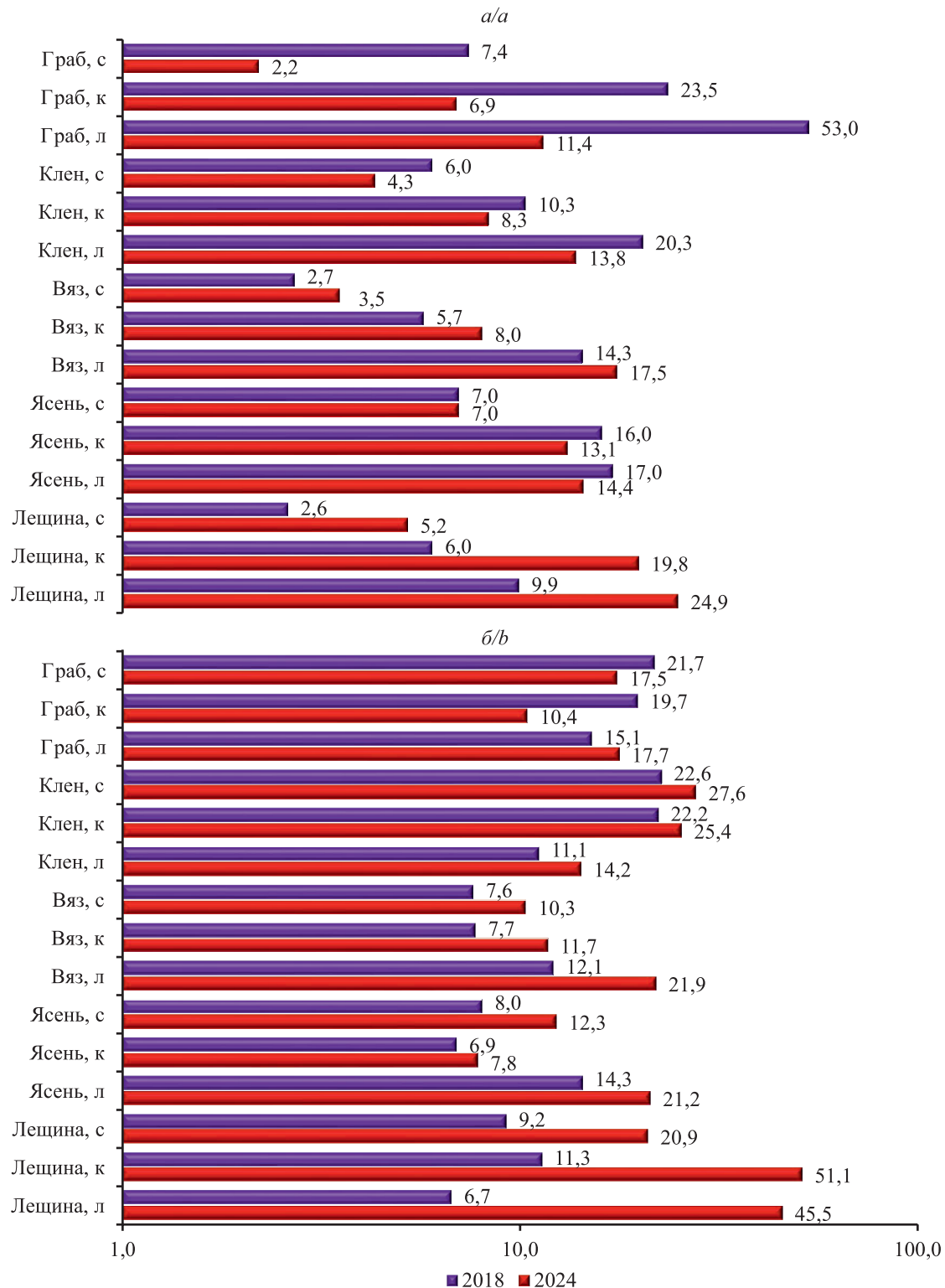


Рис. 3. Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  (а) и  $^{90}\text{Sr}$  (б) в компоненты подроста и подлеска в дубраве снытевой,  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$

Fig. 3. Transition coefficients of  $^{137}\text{Cs}$  (a) and  $^{90}\text{Sr}$  (b) into components of undergrowth and understory in goutweed oak forest,  $n \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$

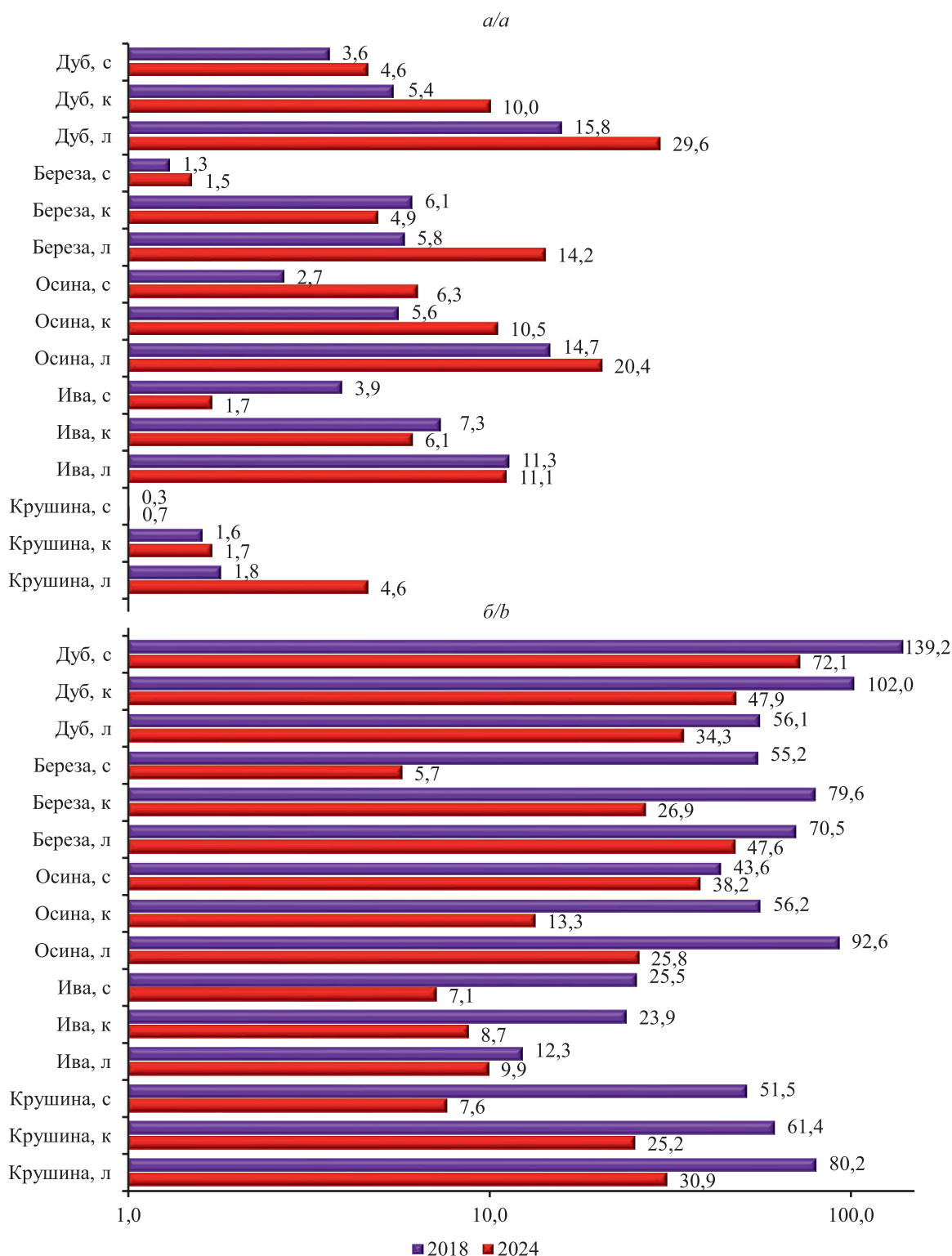


Рис. 4. Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  (а) и  $^{90}\text{Sr}$  (б) в компоненты подроста и подлеса в дубраве прируслово-пойменной,  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$

Fig. 4. Transition coefficients of  $^{137}\text{Cs}$  (a) and  $^{90}\text{Sr}$  (b) into components of undergrowth and understorey in riverbed-floodplain oak forest,  $n \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$

Ранжирование органов растений подроста и подсека по уровням перехода в них  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  показало определенные различия построенных рядов в зависимости от радионуклида, типа леса, вида растения и срока наблюдения (табл. 7). При этом для большинства древесных и кустарниковых пород в разных типах леса и в разные годы в 86,7 % случаев (26 наблюдений из 30) прослеживается снижение  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в ряду «стволи-

ки < корни < листья». В дубраве снытевой данный ряд в оба срока наблюдений был универсальным. Для граба в 2018 и 2024 гг., ясеня и березы в 2018 г. в дубравах кисличной и прируслово-пойменной (4 наблюдения, или 13,3 % случаев) накопление этого радионуклида уменьшалось в ряду «стволики < листья < корни».

Таблица 7

Ранжированные ряды коэффициентов перехода <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в компоненты подроста и подлеска

Table 7

Ranked series of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr transition coefficients into components of undergrowth and understory

| <sup>137</sup> Cs                                    |                           | <sup>90</sup> Sr                                       |                           |
|------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------|
| Дубрава кисличная                                    |                           |                                                        |                           |
| Вид растения,<br>год наблюдения                      | Ряд                       | Вид растения,<br>год наблюдения                        | Ряд                       |
| Граб – 2018, 2024; ясень – 2018                      | Стволики < листья < корни | Клен, крушина – 2024                                   | Стволики < листья < корни |
| Клен, крушина, лещина – 2018, 2024; ясень – 2024     | Стволики < корни < листья | Ясень – 2018, 2024; крушина – 2018; лещина – 2024      | Стволики < корни < листья |
| –                                                    | –                         | Граб – 2018,2024                                       | Корни < листья < стволики |
| –                                                    | –                         | Клен – 2018                                            | Листья < стволики < корни |
| –                                                    | –                         | Лещина – 2018                                          | Корни < стволики < листья |
| Дубрава снытевая                                     |                           |                                                        |                           |
| Граб, вяз, клен, ясень, лещина – 2018, 2024          | Стволики < корни < листья | Вяз – 2018, 2024                                       | Стволики < корни < листья |
| –                                                    | –                         | Клен – 2018, 2024; граб – 2018                         | Листья < корни < стволики |
| –                                                    | –                         | Ясень – 2018, 2024; граб – 2024                        | Корни < стволики < листья |
|                                                      |                           | Лещина – 2018                                          | Листья < стволики < корни |
| –                                                    | –                         | Лещина – 2024                                          | Стволики < листья < корни |
| Дубрава прируслово-пойменная                         |                           |                                                        |                           |
| Дуб, крушина, осина, ива – 2018, 2024; береза – 2024 | Стволики < корни < листья | Крушина – 2018, 2024; осина – 2018; ива, береза – 2024 | Стволики < корни < листья |
| Береза – 2018                                        | Стволики < листья < корни | Береза – 2024                                          | Стволики < листья < корни |
| –                                                    | –                         | Дуб – 2018                                             | Листья < стволики < корни |
| –                                                    | –                         | Ива – 2018; дуб – 2024                                 | Листья < корни < стволики |
| –                                                    | –                         | Осина – 2024                                           | Корни < листья < стволики |

Намного сложнее обстоит ситуация со <sup>90</sup>Sr. В каждом из трех типов дубрав установлено по 5 разных ранжированных рядов распределения компонентов подроста и подлеска по уровням К<sub>п</sub> <sup>90</sup>Sr. В дубраве кисличной наиболее часто (в 40 % случаев) ряд имеет вид «стволики < корни < листья», характерный для распределения К<sub>п</sub> <sup>137</sup>Cs. Из остальных 4 вариантов отметим ряд «стволики < листья < корни» (20 % случаев), также свойственный для К<sub>п</sub> <sup>137</sup>Cs. В дубраве снытевой на вариант «стволики < корни < листья» приходится 20 % распределений, на вариант «стволики < листья < корни» – 10 %. Наиболее распространенный ряд в этом типе леса «корни < стволики < листья». В дубраве прируслово-пойменной ряд «стволики < корни < листья» включает половину распределений, «стволики < листья < корни» – 10 %. Во всех типах леса на две даты наблюдений из 30 ранжированных рядов на вариант распределения К<sub>п</sub> <sup>90</sup>Sr «стволики < корни < листья» выпадает 11 (36,7 %) наблюдений, на вариант «стволики < листья < корни» – 4 (13,3 %), на остальные 3 варианта приходится от 1 до 3 наблюдений.

Таким образом, К<sub>п</sub> <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в органы подроста и подлеска наиболее часто (в 61,7 % случаев) ранжируются по варианту «стволики < корни < листья».

Живой напочвенный покров. В 2018 г. К<sub>п</sub> <sup>137</sup>Cs в надземную фитомассу были выше, чем в подземную у ландыша майского в дубравах кисличной и злаково-пойменной, а у ландыша майского и сныти обыкновенной в дубраве снытевой – ниже в сравнении с подземной частью. У купены лекарственной в дубраве снытевой они были близкими. В 2024 г. К<sub>п</sub> <sup>137</sup>Cs в подземные части растений были выше, чем в надземные у ландыша майского во всех трех типах леса и у купены лекарственной в дубраве снытевой. У сныти обыкновенной в дубраве снытевой накопление радионуклида было большим в надземной фитомассе. У молинии голубой в дубраве злаково-пойменной в оба срока наблюдения К<sub>п</sub> <sup>137</sup>Cs в обе части растения были близкими (рис. 5).

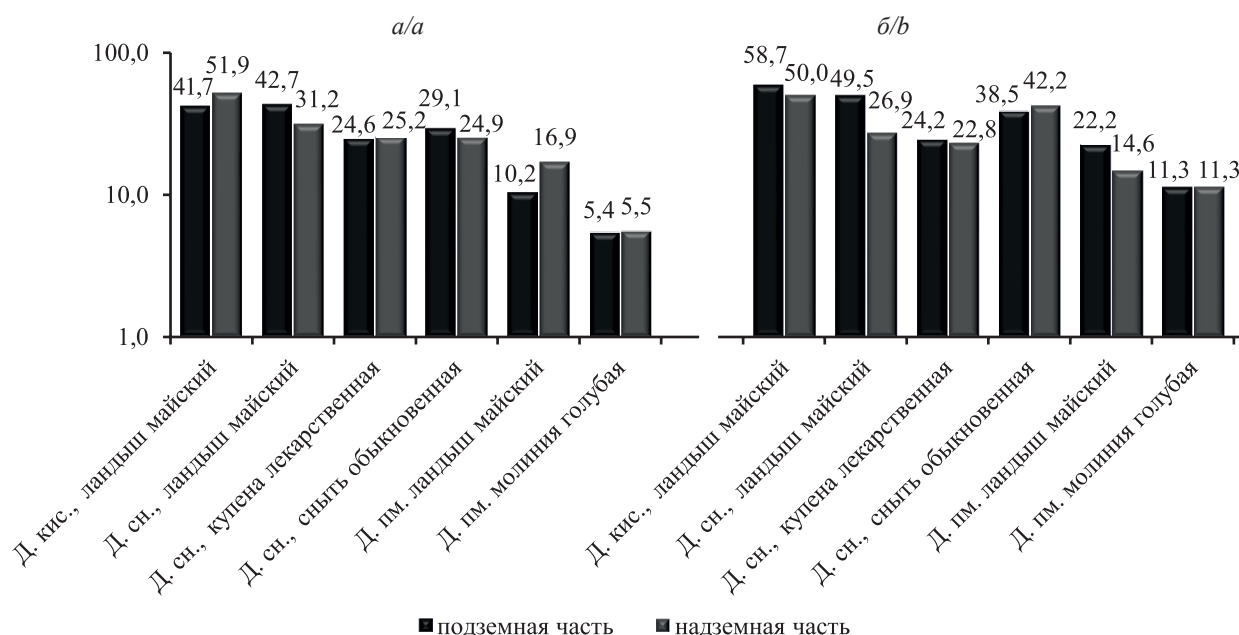


Рис. 5. Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в фитомассу фоновых видов живого напочвенного покрова,  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ : а – 2018 г., б – 2024 г.

Fig. 5. Transition coefficients of  $^{137}\text{Cs}$  into phytomass of background living ground cover species,  $n \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ : а – 2018, б – 2024

В 2024 г. в сравнении с 2018 г.  $K_{\text{п}}$   $^{137}\text{Cs}$  в надземную фитомассу снизились у ландыша майского во всех типах дубрав и купены лекарственной в дубраве снытевой, увеличились – у сныти обыкновенной и молинии голубой. Переход радионуклида в подземную фитомассу вырос у ландыша майского во всех типах дубрав, у молинии голубой и фактически не изменился у купены лекарственной (рис. 5).

В 2018 г.  $K_{\text{п}}$   $^{90}\text{Sr}$  в подземную фитомассу у всех отобранных растений ЖНП, кроме молинии голубой, были в 1,2–3,4 выше в сравнении с надземной, а в 2024 г. они в 1,4–3,1 раза уступали надземной, за исключением молинии голубой. Для последней характерно превышение  $K_{\text{п}}$   $^{90}\text{Sr}$  в надземную фитомассу в 2018 г. и в подземную – в 2024 г. Во временном аспекте к 2024 г.  $K_{\text{п}}$   $^{90}\text{Sr}$  в надземные части растений выросли в 2,1–6,4 раза, кроме молинии голубой (уменьшились в 3,8 раз), а в подземные – снизились в 1,1–2,6 раза, у молинии голубой рост в 1,6 раза (рис. 6).

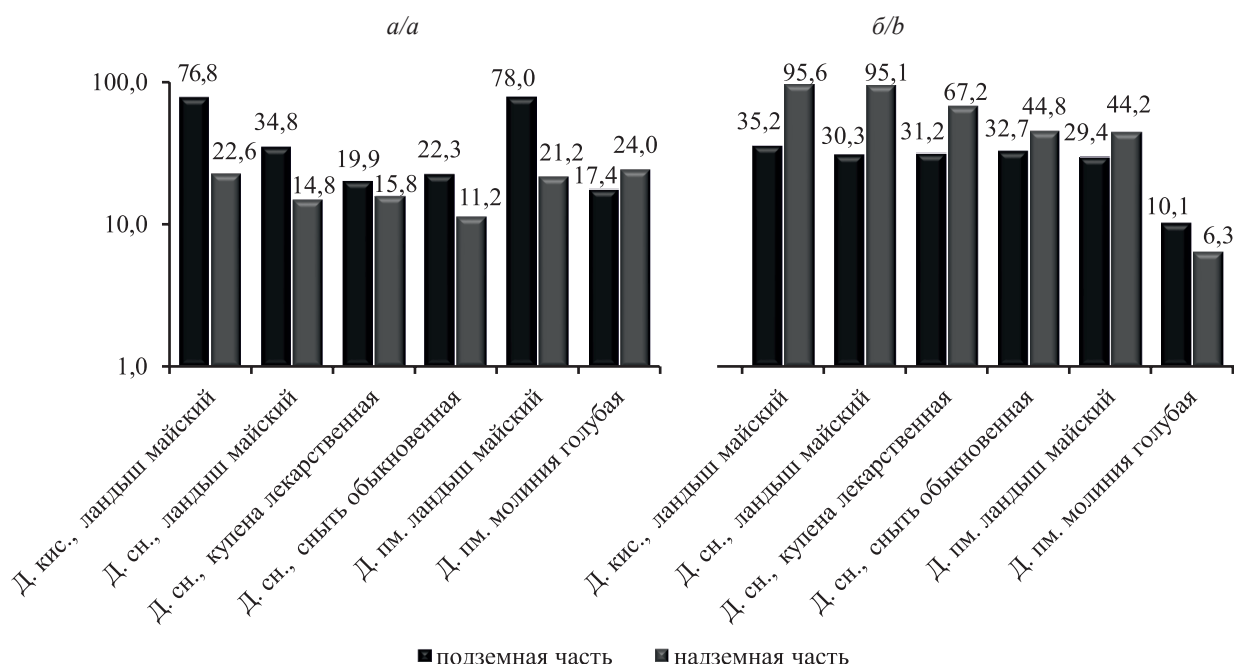


Рис. 6. Коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в фитомассу фоновых видов живого напочвенного покрова,  $n \times 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ : а – 2018 г., б – 2024 г.

Fig. 6. Transition coefficients of  $^{90}\text{Sr}$  into phytomass of background living ground cover species,  $n \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ : а – 2018, б – 2024

Ранжированные ряды  $A_y$  и  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в частях фитомассы ландыша майского весьма неоднозначны (табл. 8).

Таблица 8

Ранжированные ряды типов леса по показателям загрязнения фитомассы ландыша майского  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$

Table 8

Ranked series of forest types according to the contamination of May lily of the valley phytomass with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$

| Фитомасса | Год  | $^{137}\text{Cs}$    |                      | $^{90}\text{Sr}$     |                      |
|-----------|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           |      | $A_y$                | $K_n$                | $A_y$                | $K_n$                |
| Надземная | 2018 | кис. < пр.-пм < сн.  | пр.-пм. < кис. < сн. | пр.-пм. < кис. < сн. | сн. < кис. < пр.-пм. |
|           | 2024 | пр.-пм. < сн. < кис. | пр.-пм. < сн. < кис. | пр.-пм. < кис. < сн. | пр.-пм. < сн. < кис. |
| Подземная | 2018 | кис. < сн. < пр.-пм. | пр.-пм. < сн. < кис. | пр.-пм. < кис. < сн. | сн. < пр.-пм. < кис. |
|           | 2024 | пр.-пм. < кис. < сн. | пр.-пм. < сн. < кис. | пр.-пм. < кис. < сн. | пр.-пм. < сн. < кис. |

Примечание: кис. – дубрава кисличная, сн. – дубрава снытевая, пр.-пм. – дубрава прируслово-пойменная.

Выявлено универсальное распределение роста  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в обеих частях фитомассы ландыша майского и в оба срока наблюдений, а также  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в подземной фитомассе его в 2024 г. по нарастанию индексов влажности и трофности эдафотопов – «дубрава прируслово-пойменная < дубрава кисличная < дубрава снытевая». Наиболее характерным для  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  (кроме одного случая) и  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  (в половине случаев) было распределение «дубрава прируслово-пойменная < дубрава снытевая < дубрава кисличная».

Заключение

За краткосрочный период (2018–2024 гг.) радиационная обстановка в высоковозрастных дубравах 30 ЧАЭС значительно улучшилась почти по всем параметрам, за исключением дубравы прируслово-пойменной, где произошел рост содержания  $^{90}\text{Sr}$  в 20-сантиметровом слое почвы. Темпы снижения МД составили 1,0–3,2,  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  – 1,6–7,6, ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  – 0,9–6,1 %/год. В суходольных дубравах  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  снижалась со скоростью 3,7–10,0, ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  – 1,6–8,2 %/год. В дубраве прируслово-пойменной темпы их увеличения составили 4,9 и 5,9 %/год соответственно. Наиболее вероятной причиной роста загрязнения верхней 20-сантиметровой почвенной толщи стал высокий паводок в 2023 г.

Текущие изменения показателей загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  органов и тканей деревьев дуба, растений подроста и подлеска, частей фитомассы фоновых видов ЖНП были разнонаправленными и разновеликими и зависели от вида растения и его структурного компонента, типа леса, года наблюдения. В большинстве компонентов деревьев дуба содержание  $^{137}\text{Cs}$  снижалось, а их темпы возрастали по мере ускорения очищения верхних 20-сантиметровых слоев почв от данного радионуклида; в отдельных компонентах – в направлениях увеличения или снижения индекса влажности почвы. Векторы и темпы изменений  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в компонентах дуба были разными.

Ранжированные ряды  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компоненты деревьев дуба и органы подроста и подлеска различаются по типам леса и срокам наблюдений. Общим для них являются минимальные значения  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в древесине и максимальные  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  в желудях и листьях. В 2024 г. во всех типах леса общим был ранжированный ряд  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  (древесина < кора < корни < ветви < желуди < листья) и часть ряда  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  (древесина < желуди < листья). Для органов подроста и подлеска наиболее часто встречающимися были ряды  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  «стволики < корни < листья» и  $K_n$   $^{90}\text{Sr}$  – «стволики < листья < корни».

Для ландыша майского выявлено общее увеличение  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в обеих частях фитомассы и в оба срока наблюдений и  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в подземной фитомассе в 2024 г. в ряду типов леса «дубрава прируслово-пойменная < дубрава кисличная < дубрава снытевая», соответствующее повышению индексов влажности и трофности эдафотопов. Для  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  (75 % значений) и  $^{90}\text{Sr}$  (50 % значений) в части фитомассы ландыша майского наиболее характерным было увеличение их величин в лесотипологическом ряду «дубрава прируслово-пойменная < дубрава снытевая < дубрава кисличная».

Библиографические ссылки

1. Ипатьев ВА, Багинский ВФ, Булавик ИМ, Дворник АМ, Волчков ВЕ, Гончаренко ГГ, Поджаров ВК, Булко НИ, Бордок ИВ, Волович ПИ, Гедых ВБ, Гримашевич ВВ, Диденко ЛГ, Есимчик ЛД, Жученко ТА, Кейзер ГИ, Ковалевич АИ, Кожевников АМ, Колодий ПВ, Копытков ВВ, Крушев ЛТ, Марченко ЯИ, Митин НВ, Падутов АЕ, Падутов ВЕ, Переволоцкий АН, Пикулик ММ, Сидор АИ, Силян АЕ, Степанчик ВВ, Тарасенко ВП, Трухоневец ВВ, Усень ВВ, Фомина ВИ, Хотылева ЛВ, Чунихин ЛА, Шевчук ВЕ, Яцына АА. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. Гомель: Речицкая укрупненная типография; 1999. 454 с.

2. Щеглов АИ. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. Москва: Наука; 2000. 268 с.
3. Переволоцкий АН. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных биогеоценозах. Гомель: Институт радиологии; 2006. 255 с.
4. Краснов ВП, Орлов ОО, Бузун ВО, Ландін ВП, Шелест ЗМ. Прикладна радіоекологія лісу. Житомир: Полісся; 2007. 680 с.
5. Якушев БИ, Мартинович БС, Сак ММ, Голушко РМ, Матусов ГД. Система радиоэкологического мониторинга лесов. В: *Мониторинг и оценка состояния растительного покрова. Материалы международной научно-практической конференции, г. Минск, 28–31 октября 2003 г.* Минск: Право и экономика; 2003. с. 20–21.
6. Переволоцкий АН, Переволоцкая ТВ. Обоснование ведения системы радиоэкологического мониторинга в лесных биогеоценозах на различных этапах после аварийных радиоактивных выпадений. *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2012;52(3):312–316.
7. Рошин ВЕ, Матусов ГД. Системно-факторный радиационно-экологический мониторинг лесных биоценозов ППРЭЗ. В: *Радиация и Чернобыль: наука и практика. Материалы Международной научной конференции, г. Гомель, 13–14 октября 2011 г.* Минск: Институт радиологии; 2011. с. 150–152.
8. Гарбарук ДК, Углынец АВ, Шумак СВ. Радиационно-экологический мониторинг лесных экосистем зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. В: *Моніторинг і оцінка стану рослинного свету = Мониторинг и оценка состояния растительного мира = Vegetation Monitoring and Assessment. Матэрыялы VI Міжнароднай навуковай канферэнцыі, г. Мінск – аг. Ляскавічы, 9–13 кастрычніка 2023 г.* Мінск: ІВЦ Мінфіна; 2023. с. 191–193.
9. Углынец АВ, Гарбарук ДК. Накопление  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  компонентами древостоя, подроста и подлеска в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. *Проблемы лесоведения и лесоводства.* 2019;79:236–247.
10. Гарбарук ДК, Углынец АВ. Загрязнение живого напочвенного покрова  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. В: *Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию г. Бреста, г. Брест, 12–14 сентября 2019 г.* Брест: БрГУ; 2019;1:205–208.
11. Ковязин ВФ, Мартынов АН, Мельников ЕС, Аникин АС, Минаев ВН, Беляева НВ. Основы лесного хозяйства и таксация леса. Санкт-Петербург: Лань; 2010. 384 с.
12. Мирошников ВС, Труль ОА, Ермаков ВЕ, Дольский ЛВ, Костенко АГ. *Справочник таксатора.* Минск: Ураджай; 1980. 360 с.
13. Кузьменков МВ, Кулагин АП, Таркан АВ, Бузуновский РС. *Таксационно-лесоустроительный справочник.* Минск: Лесное и охотничье хозяйство; 2019. 335 с.
14. Гарбарук ДК, Углынец АВ, Шумак СВ, Воронцовская АН, Турчин ЛМ. Изменения в основных ценозоэлементах дубрав зоны отчуждения Чернобыльской АЭС (белорусский сектор). *Ботаника (исследования).* 2025;55:69–76.
15. Парфенов ВИ, Якушев БИ, Мартинович БС, Заболотный АИ, Дмитриева СА, Кабашникова ГИ, Кауров ИА, Моисеенко ИФ, Рахтеенко ЛИ, Савельев ВВ, Будкевич ТА, Ермакова ОО, Федоров ВН, Болотских ТН, Казей АП, Кузьмич ОТ, Пискунов ВС, Сак ММ, Голушко РМ, Жмойдяк РН. *Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси (в связи с аварией на Чернобыльской АЭС).* Минск: Навука і тэхніка; 1995. 582 с.
16. Булавик ИМ, Переволоцкий АН, Гайдуль АЗ. Влияние различных факторов на накопление  $^{137}\text{Cs}$  древесными растениями. *10 лет Полесскому государственному радиационно-экологическому заповеднику.* Гомель: [и. н.]; 1998. с. 59–70.
17. Углынец АВ, Гарбарук ДК. Оценка загрязнения древесины и коры дуба  $^{137}\text{Cs}$  в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2022;4:33–45. DOI: 10.46646/2521-683X/2022-4-33-45.
18. Гарбарук ДК, Углынец АВ, Кудин МВ. Изменение радиационной обстановки в сосняках мшистых в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2021;61(5):524–535. DOI: 10.31857/S0869803121050064.
19. Переволоцкая ТВ, Булавик ИМ, Переволоцкий АН. О влиянии подтопления на распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесном биогеоценозе. *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2009;49(3):291–301.
20. Булко НИ, Шабалева МА, Митин НВ, Толкачева НВ, Козлов АК. Особенности длительных процессов миграции чернобыльского  $^{137}\text{Cs}$  в автоморфных и гидроморфных почвах сосновых фитоценозов в дальней зоне аварии на ЧАЭС. *Проблемы лесоведения и лесоводства.* 2015;75:391–404.
21. Булко НИ, Толкачева НВ, Потапенко АМ, Козлов АК, Машков ИА, Митин НВ, Шабалева МА, Серенкова ВА, Бутыковец ВВ. Поведение  $^{137}\text{Cs}$  в лесных почвах (факторы, динамика, прогноз). В: *Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Института леса НАН Беларуси, г. Гомель, 13–15 ноября 2020 г.* Гомель: Институт леса НАН Беларуси; 2020. с. 314–319.
22. Щеглов АИ, Цветнова ОБ. Основные закономерности сезонной и многолетней динамик накопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в древесине. *Радиационная биология. Радиоэкология.* 2004;44(1):113–117.
23. Забродский ВН, Углынец АВ, Калинин ВН, Блинова НВ, Кудин МВ. Влияние типа леса и типа лесорастительных условий на переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в древесину сосны в зоне отчуждения ЧАЭС по данным радиационного обследования лесосек. В: *Современные проблемы радиобиологии – 2021. Материалы Международной научной конференции, г. Гомель, 23–24 сентября 2021 г.* Минск: ИВЦ Минфина; 2021. с. 68–72.
24. Углынец АВ, Гарбарук ДК. Современное загрязнение стволов дуба  $^{90}\text{Sr}$  в ближней зоне радиоактивных выпадений чернобыльского следа. *Проблемы лесоведения и лесоводства.* 2023;83:282–293.
25. Булко НИ, Шабалева МА, Митин НВ, Толкачева НВ, Козлов АК. Динамика длительных процессов поступления  $^{137}\text{Cs}$  в компоненты фитомассы сосны обыкновенной из автоморфных почв в дальней зоне аварии на ЧАЭС. *Проблемы лесоведения и лесоводства.* 2016;76:371–379.

## References

1. Ipat'ev VA, Baginskii VF, Bulavik IM, Dvornik AM, Volchkov VE, Goncharenko GG, Podzharov VK, Bulko NI, Bordok IV, Volovich PI, Gedykh VB, Grimashevich VV, Didenko LG, Esimchik LD, Zhuchenko TA, Keizer GI, Kovalevich AI, Kozhevnikov AM, Kolodii PV, Kopytkov VV, Krushev LT, Marchenko YaI, Mitin NV, Padutov AE, Padutov VE, Perevolotskii AN, Pikulik MM, Sidor AI, Silin AE, Stepanchik VV, Tarasenko VP, Trukhonovets VV, Usenya VV, Fomina VI, Khotyleva LV, Chunikhin LA, Shevchuk VE, Yatsyna AA. *Les. Chelovek. Chernobyl'. Lesnye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoi AES: sostoyanie, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti reabilitatsii* [Forest. Human. Chernobyl. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl NPP: condition, prediction, response of the population, ways of rehabilitation]. Gomel': Rechitskaya ukрупnennaya tipografiya, 1999. 454 p. Russian.
2. Shcheglov AI. *Biogekhimiya tekhnogennykh radionuklidov v lesnykh ekosistemakh: po materialam 10-letnikh issledovaniy v zone vliyaniya avarii na ChAES* [Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems: by the materials of 10-year research in the area effected by the Chernobyl accident]. Moscow: Nauka; 2000. 268 p. Russian.

3. Perevolotskii AN. *Raspredelenie  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v lesnykh biogeotsenozakh* [Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in forest biogeocenoses]. Gomel': Institut radiologii; 2006. 255 p. Russian.
4. Krasnov VP, Orlov OO, Buzun VO, Landin VP, Shelest ZM. *Prikladna radioekologiya lisu* [Applied radioecology of the forest]. Zhitomir: Polissya; 2007. 680 p. Russian.
5. Yakushev BI, Martinovich BS, Sak MM, Golushko RM, Matusov GD. *Sistema radioekologicheskogo monitoringa lesov* [System of the radioecological monitoring of forests]. In: *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo pokrova* [Monitoring and estimation of vegetative cover]. Minsk: Pravo i ekonomika; 2003. p. 20–21. Russian.
6. Perevolotskii AN, Perevolotskaya TV. *Obosnovanie vedeniya sistemy radioekologicheskogo monitoringa v lesnykh biogeotsenozakh na razlichnykh etapakh posle avariynykh radioaktivnykh vypadenii* [Substantiation of radio-ecological monitoring of forest ecosystems at various stages after the accident fallout]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2012;52(3):312–316. Russian.
7. Roshchin VE, Matusov GD. *Sistemno-faktornyi radiatsionno-ekologicheskii monitoring lesnykh biotsenozov PGREZ* [System-factor radiation-ecological monitoring of forest biocenoses of PSRER]. In: *Radiatsiya i Chernobyl': nauka i praktika* [Radiation and Chernobyl: science and practice]. Minsk: Institut radiologii; 2011. p. 150–152. Russian.
8. Garbaruk DK, Uglyanets AV, Shumak SV. *Radiatsionno-ekologicheskii monitoring lesnykh ekosistem zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoi AES* [Radiation-ecological monitoring of forest ecosystems of the Chernobyl NPP exclusion zone]. In: *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira* [Vegetation Monitoring and Assessment]. Minsk: IVTs Minfina; 2023. p. 191–193. Russian.
9. Uglyanets AV, Garbaruk DK. *Nakoplenie  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  komponentami drevostoya, podrosta i podleska v dubravakh zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoi AES* [ $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  accumulation of stand, regrowth and undergrowth components in oak forests of the Chernobyl NPP exclusion zone]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*. 2019;79. p. 236–247. Russian.
10. Garbaruk DK, Uglyanets AV. *Zagryaznenie zhivogo napochvennogo pokrova  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v dubravakh zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoi AES* [Contamination of living ground cover with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in oak forests of the Chernobyl NPP exclusion zone]. In: *Aktual'nye problemy nauk o Zemle: issledovaniya transgranichnykh regionov* [Current issues sciences of Earth: studies of transboundary regions]. Brest: BrGU; 2019;1:205–208. Russian.
11. Kovyazin VF, Martynov AN, Mel'nikov ES, Anikin AS, Minaev VN, Belyaeva NV. *Osnovy lesnogo khozyaistva i taksatsiya lesa* [Fundamentals of forestry and forest inventory]. Saint Petersburg: Lan'; 2010. 384 p. Russian.
12. Miroshnikov VS, Trull' OA, Ermakov VE, Dol'skii LV, Kostenko AG. *Spravochnik taksatora* [Taxator's Handbook]. Minsk: Uradzhai; 1980. 360 p. Russian.
13. Kuz'menkov MV, Kulagin AP, Tarkan AV, Buzunovskii RS. *Taksatsionno-lesoustroitel'nyy spravochnik* [Taxation and forest inventory guide]. Minsk: Lesnoye i okhotnich'ye khozyaistvo; 2019. 335 p. Russian.
14. Garbaruk DK, Uglyanets AV, Shumak SV, Voronetskaya AN, Turchin LM. *Izmeneniya v osnovnykh tsenoelementakh dubrav zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoi AES (belorusskii sektor)* [Changes in the main cenoelements oak forests of the Chernobyl nuclear power plant exclusion zone (belarusian sector)]. *Botanika (issledovaniya)*. 2025;55:69–76. Russian.
15. Parfenov VI, Yakushev BI, Martinovich BS, Zabolotnyi AI, Dmitrieva SA, Kabashnikova GI, Kaurov IA, Moiseenko IF, Rakhteenko LI, Savel'ev VV, Budkevich TA, Ermakova OO, Fedorov VN, Bolotskikh TN, Kazei AP, Kuz'mich OT, Piskunov VS, Sak MM, Golushko RM, Zhmoidyak RN. *Radioaktivnoe zagryaznenie rastitel'nosti Belarusi (v svyazi s avariei na Chernobyl'skoi AES)* [Radioactive contamination of vegetation in Belarus (in connection with the Chernobyl NPP accident)]. Minsk: Navuka i tekhnika; 1995. 582 p. Russian.
16. Bulavik IM, Perevolotskii AN, Gaidul' AZ. *Vliyanie razlichnykh faktorov na nakoplenie  $^{137}\text{Cs}$  drevesnymi rasteniyami* [Influence of various factors on  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by woody plants]. *10 let Polesskomu gosudarstvennomu radiatsionno-ekologicheskomu zapovedniku*. Gomel': [publisher unknown]; 1998. p. 59–70. Russian.
17. Uglyanets AV, Garbaruk DK. *Otsenka zagryazneniya drevesiny i kory duba  $^{137}\text{Cs}$  v zone otchuzhdeniya Chernobyl'skoi atomnoi elektrostantsii* [Assessment of oak wood and bark contamination by  $^{137}\text{Cs}$  in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya*. 2022;4:33–45. Russian. DOI: 10.46646/2521-683X/2022-4-33-45.
18. Garbaruk DK, Uglyanets AV, Kudin MV. *Izmenenie radiatsionnoi obstanovki v sosnyakakh mshistykh v zone otchuzhdeniya Chernobyl'skoi AES* [Changes in the Radiation Situation in the Mossy Pine Forests of the Chernobyl NPP Exclusion Zone]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2021;61(5):524–535. Russian. DOI: 10.31857/S0869803121050064.
19. Perevolotskaya TV, Bulavik IM, Perevolotskii AN. *O vliyaniy podtopleniya na raspredelenie  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v lesnom biogeotsenozе* [On the effect of partial flooding on  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in forest biogeocenosis]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2009;49(3):291–301. Russian.
20. Bulko NI, Shabaleva MA, Mitin NV, Tolkacheva NV, Kozlov AK. *Osobennosti dlitel'nykh protsessov migratsii chernobyl'skogo  $^{137}\text{Cs}$  v avtomorfnykh i gidromorfnykh pochvakh sosnykh fitotsenozov v dal'nei zone avarii na ChAES* [Features of long processes migration of chernobyl  $^{137}\text{Cs}$  in automorphic and gidromorphic soils of pine phytocenoses in the distant zone accident to the NPP]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*. 2015;75:391–404. Russian.
21. Bulko NI, Tolkacheva NV, Potapenko AM, Kozlov AK, Mashkov IA, Mitin NV, Shabaleva MA, Serenkova VA, Butkovets VV. *Povedenie  $^{137}\text{Cs}$  v lesnykh pochvakh (faktory, dinamika, prognoz)* [Behavior of  $^{137}\text{Cs}$  in forest soils (factors, dynamics, forecast)]. In: *Lesnye ekosistemy: sovremennye vyzovy, sostoyanie, produktivnost' i ustoychivost'* [Forest ecosystems: current challenges, status, productivity and sustainability]. Gomel': Institut lesa NAN Belarusi; 2020. p. 314–319. Russian.
22. Shcheglov AI, Tsvetnova OB. *Osnovnye zakonomernosti sezonnoi i mnogoletnei dinamiki nakopleniya  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v drevesine* [Basic features of seasonal and multiyear dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in wood]. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2004;44(1):113–117. Russian.
23. Zabrodskii VN, Uglyanets AV, Kalinin VN, Blinova NV, Kudin MV. *Vliyanie tipa lesa i tipa lesorastitel'nykh uslovii na perekhod  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{90}\text{Sr}$  v drevesinu sosny v zone otchuzhdeniya ChAES po dannym radiatsionnogo obsledovaniya lesosek* [Influence of forest type and type of forest conditions on the transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  to pine wood in the Chernobyl NPP exclusion zone according to the results of the radiation examination of cutting areas]. In: *Sovremennye problemy radiobiologii – 2021* [Contemporary issues of radiobiology – 2021]. Minsk: IVTs Minfina; 2021. p. 68–72. Russian.
24. Uglyanets AV, Garbaruk DK. *Sovremennoe zagryaznenie stvolov duba  $^{90}\text{Sr}$  v blizhnei zone radioaktivnykh vypadenii chernobyl'skogo sleda* [Oak trunks modern contamination with  $^{90}\text{Sr}$  in the near zone of radioactive fallout of the chernobyl trace]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*. 2023;83:282–293. Russian.
25. Bulko NI, Shabaleva MA, Mitin NV, Tolkacheva NV, Kozlov AK. *Dinamika dlitel'nykh protsessov postupleniya  $^{137}\text{Cs}$  v komponenty fitomassy sosny obyknovЕННОй iz avtomorfnykh pochv v dal'nei zone avarii na ChAES* [Long-term dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  intake in components of scotch pine phytomass on automorphic soils in the far zone of chernobyl accident]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*. 2016;76:371–379. Russian.

Статья поступила в редколлегию 23.06.2025.  
Received by editorial board 23.06.2025.