

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ  
И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 630\*114.351:539.163(546.36+546.42)

ЗАПАСЫ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК И СОДЕРЖАНИЕ  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$   
В ЧЕРНООЛЬХОВЫХ ЛЕСАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ  
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ© 2022 г. Д. К. Гарбарук<sup>а, \*</sup>, А. В. Углянец<sup>а</sup>, С. В. Шумак<sup>а</sup><sup>а</sup>Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,  
ул. Терешковой, 7, Хойники, 247618 Республика Беларусь

\*e-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Поступила в редакцию 03.03.2022 г.

После доработки 05.07.2022 г.

Принята к публикации 06.07.2022 г.

В белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС черноольховые леса произрастают на торфянистых оглеенных почвах низинного типа. В черноольшаниках снытевых, крапивных, папоротниковых и осоковых морфолого-генетические показатели лесных подстилок по типам леса варьируют в пределах 26–86%. Мощность лесных подстилок изменяется в среднем от 3.3 до 3.9 см и в целом по формации составляет  $3.7 \pm 0.1$  см, запасы – 2.4–2.8 ( $2.7 \pm 0.1$  кг/м<sup>2</sup>), плотность сложения – 0.06–0.08 ( $0.07 \pm 0.001$  г/см<sup>3</sup>). Вероятно, незначимые различия средних показателей этих характеристик между типами леса – следствие засушливых явлений в период 1989–2020 гг., которые обеспечили выравнивание условий увлажнения почв и интенсивности разложения подстилок. Мозаичность выпадения радионуклидов обусловила широкое варьирование поверхностного загрязнения почв  $^{137}\text{Cs}$  (174–5617 кБк/м<sup>2</sup>) и  $^{90}\text{Sr}$  (17–348 кБк/м<sup>2</sup>). В черноольшаниках снытевом, папоротниковом и осоковом средние значения плотности загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  близки (1004–1314 кБк/м<sup>2</sup>),  $^{90}\text{Sr}$  – на порядок ниже (106–142 кБк/м<sup>2</sup>). В лесной подстилке этих типов леса средние величины удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  не имеют существенных различий между собой (24.1–29.9 кБк/кг), а удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  по мере увеличения почвенного увлажнения снижается от 4.8 до 2.7 кБк/кг. Запасы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных подстилках широко изменяются по типам леса (18.4–85.6 и 3.4–13.5 кБк/м<sup>2</sup>) и коррелируют с запасами лесной подстилки и поверхностным загрязнением почв. В подстилке всех черноольшаников зоны отчуждения содержится  $10.6 \times 10^{12}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$  и  $1.4 \times 10^{12}$  Бк  $^{90}\text{Sr}$ .

**Ключевые слова:** плотность сложения, радионуклиды, мозаичность выпадения, удельная активность

**DOI:** 10.31857/S0032180X22100318

## ВВЕДЕНИЕ

В белорусском секторе зоны отчуждения (ЗО) Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), в границах которой функционирует Полесский радиационно-экологический заповедник, сосредоточено 30% выпавшего в Беларуси  $^{137}\text{Cs}$  и 73%  $^{90}\text{Sr}$ , которые неравномерно и мозаично распределены по территории, а в его заповедной зоне плотность поверхностного загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  достигает 16465 кБк/м<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 2701 кБк/м<sup>2</sup> [1]. Суммарные запасы их активности в биомассе черноольховых лесов заповедной зоны составляют около  $102.0 \times 10^{12}$  Бк  $^{137}\text{Cs}$  и  $10.4 \times 10^{12}$  Бк  $^{90}\text{Sr}$  [10].

Черноольховые леса по состоянию на 2020 г. занимают 14783 га, или 10.6% лесопокрытой площади заповедника. В типологической структуре формации преобладают черноольшаники снытевый (15.2%), локализованный в типе лесорастительных условий Д<sub>3</sub> [38], крапивный (11.2%) –

в Д<sub>4</sub>, таволговый (16.8%) и папоротниковый (34.2%) – в С<sub>4</sub>, и осоковый (16.9%) – в С<sub>5</sub>. На насаждения ольхи черной старше 60 лет приходится 33.1% площади. Из них более 80% находятся в заповедной зоне, в которой на протяжении 35 лет отсутствовало антропогенное влияние на развитие лесных фитоценозов по причине высокого радиоактивного загрязнения территории.

К настоящему времени в загрязненных радионуклидами лесных биогеоценозах Беларуси сформировался замкнутый биологический круговорот радиоактивных веществ. На гидроморфных почвах в него вовлечено 6–12%  $^{137}\text{Cs}$  [1]. Часть радионуклидов аккумулирована в лесных подстилках.

Лесная подстилка (ЛП) – биогеогоризонт, в определенной степени особый компонент лесного биогеоценоза, задерживающий в себе минеральные элементы [17], включая радионуклиды. В радиоактивно загрязненных лесах она является

Таблица 1. Средние таксационные показатели черноольшаников

Тип леса/тип лесорастительных условий	Количество ВПП, шт.	Возраст, лет	Средние		Бонитет	Густота, шт./га	Сумма площади сечения, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднее изменение запаса, м <sup>3</sup> /га
			высота, м	диаметр, см						
Черноольшаник снытевый/Д <sub>3</sub>	7	62	24.2	26.9	I	710	35.4	1.0	405	6.5
Черноольшаник крапивный/Д <sub>4</sub>	3	51	27.5	30.3	Ia	740	47.6	1.2	595	11.7
Черноольшаник папоротниковый/С <sub>4</sub>	9	65	26.2	29.6	I	580	37.4	1.0	475	7.3
Черноольшаник осоковый/С <sub>5</sub>	7	69	22.8	29.0	II	540	32.1	0.9	340	4.9

Примечание. ВПП – временные пробные площади.

биогеохимическим барьером для их вертикального перемещения [37], временно удерживая их в своей толще и пролонгируя переход в минеральную часть почвы [16]. К осени 1986 г. в ЛП содержалось 80.5–87.3% выпавших на леса радиоактивных веществ. В 1992 г. в 30-километровой зоне ЧАЭС Украины ею удерживалось 58.3–90.5% <sup>137</sup>Cs от суммарной плотности загрязнения, в 1995 г. – до 70% радиоактивных выпадений [37]. В ЛП березняка черничного в белорусском секторе ЗО ЧАЭС содержалось 7.0% <sup>137</sup>Cs и 8.3% <sup>90</sup>Sr от совокупного в фитоценозе [25].

Наименьшей способностью удерживать радионуклиды обладают ЛП черноольховых лесов на гидроморфных почвах [1, 15, 29, 37]. В Беларуси в конце 1980-х гг. запас радионуклидов в них составлял около 30% от общего количества в почве, в начале 1990-х гг. – менее 10% [29], а через 30–35 лет после аварии на ЧАЭС содержание <sup>137</sup>Cs в ЛП черноольшаников снизилось до 5.9% [1].

Способность ЛП удерживать радионуклиды определяется ее мощностью, запасом, составом и возрастом древостоя, а также видовым составом и обилием нижних ярусов растительности, условиями увлажнения, микробиологической активностью и другими факторами [16, 20, 29, 37]. Сведения о толщине ЛП в черноольшаниках Беларуси встречаются во многих публикациях [9, 32, 39], но работ, посвященных непосредственно изучению их характеристик для условий Полесья, не выявлено. Поэтому, наряду с оценкой современных запасов <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr в ЛП черноольшаников ЗО ЧАЭС, актуальным вопросом является определение характеристик самих подстилок.

Цель исследования – установить современные характеристики ЛП в черноольшаниках белорусского сектора ЗО ЧАЭС, оценить в них запасы <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr, выявить существующие между ними связи и влияющие факторы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования ЛП и содержания в ней <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr проводили в белорусском секторе ЗО ЧАЭС с 15 сентября по 5 октября 2020 г. на временных пробных площадях, заложенных в черноольшаниках снытевых (7), крапивных (3), папоротниковых (9) и осоковых (7), произрастающих в заповедной зоне Полесского заповедника, ограниченной изолинией плотности поверхностного загрязнения почвы <sup>137</sup>Cs более 40 Ки/км<sup>2</sup> (1480 кБк/м<sup>2</sup>). Закладку пробных площадей выполняли в соответствии с источником [27] и методами, описанными в работе [19]. При определении таксационных показателей древостоев использовали справочник [21].

Древостои ольхи черной 51–80-летнего возраста, высокополнотные (0.78–1.28), чистые или с 10–20% примесью березы и дуба и с единичным участием в составе осины, граба, ясеня, клена, липы, вяза и других пород, по запасам стволовой древесины (290–660 м<sup>3</sup>/га) близки к нормальным насаждениям ольхи черной в Беларуси. Средняя по типам леса таксационная характеристика приведена в табл. 1, детальная – в работе [35].

Материалы анализировали по типам леса, характеризующимся различными условиями местопроизрастания. Согласно лесотипологическим таблицам [38], каждому типу леса соответствует конкретный тип лесорастительных условий, или эдафотоп, обозначаемый индексами трофности и влажности. В исследованных черноольшаниках трофотоп С указывает на относительно плодородные почвы, Д – на наиболее плодородные; индекс влажности 3 соответствует влажным почвам, 4 – сырým, 5 – мокрым.

Основными фоновыми и индикаторными видами живого напочвенного покрова в порядке уменьшения ими проективного покрытия почвы являются: в черноольшанике снытевом – *Galeobdolon luteum* Huds., *Stellaria holostea* L., *Aegopodium*

*podagraria* L., *Asarum europaeum* L., *Geum rivale* L., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *Carex acuta* L., *C. pallescens* L., *Paris quadrifolia* L.; в крапивном — *Urtica dioica* L., *Impatiens glandulifera* Royle, *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *D. filix-mas* (L.) Schott, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Galium palustre* L., *Carex elongata* L., *Aegopodium podagraria* L.; в папоротниковом — *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *Carex elongata* L., *C. canescens* L., *Urtica dioica* L., *Impatiens noli-tangere* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Galium palustre* L., *Lycopus europaeus* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.; в осоковом — *Carex elongata* L., *C. pseudocyperus* L., *C. vesicaria* L., *C. canescens* L., *C. acutiformis* Ehrh., *C. acutiformis* Ehrh., *Urtica dioica* L., *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Lycopus europaeus* L., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

Почвы под насаждениями ольхи черной торфяно-болотные низинные, со среднемощным (до 50 см) слоем сильноразложившегося кислого органического материала, сменяемым глеевым горизонтом, начиная с глубины 30 см, в условиях преимущественно грунтового увлажнения (Dystric Rheic Sapric Histosols) [23, 30].

Согласно классификации [4], исследуемые ЛП черноольшаников ЗО ЧАЭС относятся к торфянистому типу.

Определение мощности и запаса ЛП на пробных площадях выполняли методом отбора образцов на учетных площадках при помощи шаблона размером 0.5 × 0.5 м. Количество площадок определяли исходя из того, что запас и мощность ЛП в пределах насаждения зависят от степени однородности участка, его микрорельефа, особенностей лесных насаждений и подвержены сильным колебаниям [2, 11, 17, 31, 34], а для определения запаса ЛП в определенном типе леса широколиственно-еловых лесов с 20%-ной точностью необходим отбор 43 проб при вероятности 0.95 и 31 пробы — при вероятности 0.90 [17]. Отбор образцов ЛП в черноольшаниках проводили на каждой пробной площадке в 15-кратной повторности при равномерном размещении учетных площадок. В снытевом и осоковом типах леса заложено по 105 учетных площадок, в папоротниковом — 135, в крапивном — 45.

Поскольку точность определения толщины ЛП в сосняках при 40–50 замерах составляет 7–12% [3], то в ольшаниках ЗО ЧАЭС ее измеряли на каждой из четырех сторон учетных площадок и определяли среднее значение. В итоге на каждой временной пробной площадке произведено по 60, а по типам леса — по 180–540 замеров, чем обеспечивалась высокая точность средней толщины ЛП.

На каждой площадке определяли массу образцов ЛП при естественной влажности, которые

в пределах пробной площади объединяли, перемешивали и отбирали среднюю пробу.

Влажность измельченных средних проб ЛП определяли методом высушивания до постоянной массы при 100–105°C в соответствии с ГОСТ 28268-89 “Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений”. Затем рассчитывали их абсолютно сухой вес, запас абсолютно сухой массы и плотность сложения ЛП на учетных площадках и в среднем на пробной площадке [22]. Далее рассчитывали средние показатели мощности, запаса и плотности сложения ЛП и отдельные статистические показатели для каждого типа леса и формации в целом.

Средние пробы ЛП на пробной площадке делили на три равные части, в каждой определяли удельную активность ( $A_y$ )  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315 (Беларусь). Величины  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  на временных пробных площадях в образцах рассчитывали как среднее из трех измерений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Мощность лесной подстилки.** В лесах Беларуси толщина ЛП колеблется в пределах от 1 до 5 см, иногда достигая 10 см и более, в том числе в черноольшаниках — до 4–5 см [32]. В 1960-х гг. в черноольшанике снытевом она составляла 3.0 см, в крапивном — 2.2 см, в папоротниковом — 3.3 см, в осоковом — 3.2 см [39]. В диапазоне 2–3 см находилась ее мощность на мелиорированных почвах в аналогичных типах леса на сопредельной с ЗО ЧАЭС территории [9]. В Припятском заповеднике, расположенном в 130 км северо-западнее ЗО ЧАЭС, в черноольшанике крапивном она составляла 4 см, в осоковом — 3 см, в березняке долгомошном — 3 см [5]. Близкими величинами характеризовалась толщина ЛП в березняках снытевом (3 см) и папоротниковом (2–4 см) Беларуси [40]. В загрязненных радионуклидами лесах Брянской и Калужской областей России, расположенных восточнее ЧАЭС и на 0.5°–3° севернее ее широты, средняя мощность ЛП изменяется в диапазоне 4–5 см, в том числе в черноольшаниках — 2–4 см [37].

Установлено (табл. 2), что в ЗО ЧАЭС средняя толщина ЛП в насаждениях четырех типов леса ольхи черной составляет  $3.7 \pm 0.08$  см при среднем коэффициенте вариации (36.6%) и очень высокой (3.6%) точности.

Средняя мощность ЛП по типам леса изменяется в узком диапазоне (3.3–3.9 см) при значительной разбежке коэффициентов вариации (25.9–59.0%) и высокой точности (2.9–5.8%). Максимальная ее изменчивость и наименьшая точность отмечаются в черноольшанике осоко-

Таблица 2. Характеристика лесной подстилки по типам леса

Статистики	Черноольшаник				Все насаждения
	сныгевый	крапивный	папоротниковый	осоковый	
<i>n</i>	105	45	135	105	390
Мощность, см					
Min–max	1.5–6.5	1.5–5.5	1.0–7.0	1.0–15.0	1.0–15.0
<i>M</i> ± <i>m</i>	3.3 ± 0.12	3.8 ± 0.14	3.9 ± 0.11	3.8 ± 0.22	3.7 ± 0.08
<i>C<sub>v</sub></i> / <i>P</i>	37.1/3.6	25.9/3.9	34.0/2.9	59.0/5.8	36.6/3.6
Запас, кг/м <sup>2</sup>					
Min–max	0.7–8.4	0.9–4.5	0.7–5.7	0.4–18.0	0.4–18.0
<i>M</i> ± <i>m</i>	2.7 ± 0.14	2.4 ± 0.19	2.8 ± 0.10	2.5 ± 0.22	2.7 ± 0.08
<i>C<sub>v</sub></i> / <i>P</i>	53.2/5.2	33.5/5.0	41.8/3.6	86.5/8.4	58.4/3.0
Плотность подстилки, г/см <sup>3</sup>					
Min–max	0.03–0.21	0.03–0.14	0.03–0.13	0.03–0.12	0.03–0.21
<i>M</i> ± <i>m</i>	0.08 ± 0.003	0.06 ± 0.007	0.07 ± 0.002	0.07 ± 0.002	0.07 ± 0.001
<i>C<sub>v</sub></i> / <i>P</i>	36.6/3.6	31.8/4.7	28.1/2.4	32.9/3.2	33.9/1.7

Примечание. *n* – количество временных пробных площадей; *M* – среднее арифметическое; *m* – ошибка среднего арифметического значения; *C<sub>v</sub>* – коэффициент вариации, %; *P* – коэффициент точности, %.

вом. В лесах Брянской области толщина ЛП варьирует в более узких пределах (24.9–35.7%) [37].

Несмотря на то, что исследования ЛП в ЗО ЧАЭС выполнены до начала массового листопада, когда толщина этого компонента фитоценозов под лиственными древостоями минимальна [17, 28], установленная ее мощность по типам леса на 10.0–72.7% превышала данные 1960-х гг. [39].

**Запас лесной подстилки** в насаждениях зависит от ее мощности, плотности, скорости разложения органического вещества, определяемой увлажнением почв, составом опада, то есть видами и обилием растений в фитоценозе [13, 17]. Количество опада определяется типом биогеоценоза и климатическими условиями года, а основным компонентом в его составе является масса опавших листьев, доля которых в черноольховых лесах достигает 40% [37].

Вес сухой массы ЛП под пологом лесов величина относительно постоянная и по обобщенным данным находится в пределах 2–4 кг/м<sup>2</sup> (здесь и далее по тексту запасы ЛП из цитируемых источников приведены в кг/м<sup>2</sup>), достигая иногда 5–10 кг/м<sup>2</sup> [18]. В листопадном лесу теплого умеренного климата, согласно работе [36], ее масса составляет около 1–2 кг/м<sup>2</sup>.

Запасы ЛП меняются с географической широтой. В Евразии средние их величины уменьшаются от заболоченных лесов таежной зоны (до 10.0 кг/м<sup>2</sup>) до лесостепных районов (<2.0 кг/м<sup>2</sup>) [26]. В природной зоне широколиственных лесов (в ней расположена ЗО ЧАЭС), расчетная масса ЛП в лесах

равна 1.5 кг/м<sup>2</sup> [33]. В западных районах бывшего СССР количество ЛП под березняками составляло 1.0–1.4 кг/м<sup>2</sup> [8], севернее ЗО ЧАЭС, в лесах Южной Прибалтики в типе лесорастительных условий С<sub>3</sub> – 2.63 кг/м<sup>2</sup>, в Д<sub>3</sub> – 9.5 кг/м<sup>2</sup> [7], южнее, в хвойных и листопадных насаждениях Украинского Полесья в типе С<sub>3</sub> – 0.734 кг/м<sup>2</sup>, Д<sub>3</sub> – 0.809 кг/м<sup>2</sup>, Д<sub>4</sub> – 0.434 кг/м<sup>2</sup> [20], в лесах Брянской и Калужской областей – 2–10 кг/м<sup>2</sup>, в том числе в черноольшаниках – 2–4 кг/м<sup>2</sup> [37].

Согласно работе [2], одним из основных факторов, влияющих на процесс формирования ЛП, является рельеф, определяющий почвенное увлажнение. По мере понижения рельефа ее запасы уменьшаются от сухих условий до влажных и возрастают при дальнейшем увеличении влагообеспеченности. В экологическом (типологическом) ряду болотных березняков Западной Сибири масса ЛП изменяется в пределах 2.1–4.5 кг/м<sup>2</sup> [12]. В черноольшаниках Беларуси местоположение и рельеф насаждений определяет тип леса, тип лесорастительных условий, прежде всего, его гигротоп, то есть степень увлажнения почвы [38, 39].

В ЗО ЧАЭС запасы ЛП в 26 насаждениях четырех типов леса черноольховой формации изменялись в диапазоне 1.1–6.0 кг/м<sup>2</sup>, составляя в среднем 2.7 ± 0.08 кг/м<sup>2</sup> при 58.4% вариабельности и высокой (3.0%) точности. Средние ее величины по типам леса располагались в крайне узком (2.4–2.8 кг/м<sup>2</sup>) диапазоне.

**Таблица 3.** Характеристики тепло- и влагообеспеченности территории зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции

Год, период	Метеорологические показатели	За месяцы						За год, период
		V	VI	VII	VIII	IX	V–IX	
2016–2020	Средняя температура воздуха, °С	14.7	20.1	19.7	19.6	14.8	17.8	9.0
	Количество осадков, мм	77.0	65.6	82.0	36.2	30.0	290.8	586.1
	Коэффициент увлажнения по Иванову	1.08	0.55	0.88	0.36	0.44	0.66	0.86
	Гидротермический коэффициент Селянинова	1.74	1.09	1.34	0.60	0.68	1.08	1.78
2020	Средняя температура воздуха, °С	11.6	21.2	19.7	19.4	15.9	17.6	10.0
	Количество осадков, мм	144.4	131.0	50.1	50.4	9.8	385.7	622.1
	Коэффициент увлажнения по Иванову	2.44	1.18	0.49	0.52	0.13	0.95	0.91
	Гидротермический коэффициент Селянинова	4.02	2.06	0.82	0.84	0.21	1.60	1.69

Наиболее низкие коэффициенты вариации средних значений запасов ЛП отмечены в черноольшанике крапивном (33.5%), средние – в папоротниковом (41.8%) и снытевом (53.2%). Сильная изменчивость (86.5%) наблюдалась в осоковом типе леса. Это значительно больше варибельности ее запасов в лесах Брянской области (21.6–28.6%) [37] и в болотных березняках Западной Сибири (16–26%) [12]. При этом всем типам леса свойственна высокая точность средних величин запасов ЛП.

Учитывая, что масса опада в лесах зависит от типа биогеоценоза (у нас они однотипные) и климатические условия года [37], считаем, что отсутствие достоверной разницы в мощности и запасах ЛП между типами леса ольхи черной, превышение современной ее мощности по сравнению с 1960 г., а также высокая изменчивость запаса и толщины ЛП в черноольшанике осоковом обусловлена погодно-климатическими факторами. Так, если за 1997–2012 гг. по данным исследовательской станции “Масаны”, расположенной на территории ЗО ЧАЭС, среднегодовая температура воздуха составляла +7.8°С, сумма осадков – 609 мм, коэффициент увлажнения по Иванову – 0.8–1.3 [24], то за 2016–2020 гг. средняя температура воздуха повысилась до 9.0°С, количество осадков снизилось до 586 мм, степень увлажнения территории по Иванову – до 0.86, в том числе за май–сентябрь – до 0.66 (табл. 3).

Для периода современного потепления климата (1989–2019 гг.) в районе ЗО ЧАЭС значительно выросли повторяемость и глубина засушливых явлений [6]. Все это привело к нерегулярным и непродолжительным весенним затоплениям поверхности почвы или их отсутствию в черноольшаниках, к существенному и длительному понижению уровней грунтовых вод, к уменьшению влажности верхних горизонтов почв и ЛП в них.

Вегетационный период 2020 г. был весьма засушливым. Во время отбора проб минимальные

значения имели коэффициент увлажнения по Иванову территории ЗО ЧАЭС (0.13) и гидротермический коэффициент Селянинова (0.21), а верхние горизонты почв с ЛП в черноольшаниках вследствие многолетней (2015–2020 гг.) засухи характеризовались большей частью как свежие. В то же время в насаждениях черноольшаника осокового индекс влажности изменялся от свежих до влажных и сырых, что обеспечило более высокую изменчивость запасов и толщины ЛП в этом типе леса. Засушливые погодные явления, обеспечившие низкую влажность почв в черноольховых лесах, создали неблагоприятные гидротермические условия для развития микробиологической деятельности и разложения ЛП [37], что стало причиной уменьшения скорости ее разложения. Выравнивание условий увлажнения и интенсивности разложения ЛП в черноольшаниках, кроме некоторых насаждений осокового, привело к нивелированию их мощности и запаса в разных типах леса. Значительные различия влажности верхних слоев почв в насаждениях черноольшаника осокового обеспечили высокую изменчивость обеих характеристик ЛП.

**Плотность лесной подстилки** по отдельным учетным площадкам ольхи черной варьирует в пределах 0.03–0.21 г/см<sup>3</sup>, наиболее сильно – в черноольшаниках снытевом и осоковом. Средняя ее величина по формации составляет  $0.07 \pm 0.001$  г/см<sup>3</sup> при очень высокой (1.7%) точности и среднем (33.9%) коэффициенте вариации. Плотность ЛП по типам леса меняется незначительно и характеризуется средними коэффициентами вариации и высокой точностью.

Рассмотрим взаимосвязи характеристик ЛП в черноольховых лесах ЗО ЧАЭС. Так как для большинства сравниваемых в настоящей работе параметров и показателей загрязнения ЛП и почв радионуклидами свойственны ненормальные распределения выборок (табл. 4), то при оценке

**Таблица 4.** Проверка переменных на нормальность распределения

Параметр	Лесная подстилка			Удельная активность, кБк/кг				Плотность загрязнения почвы, кБк/м <sup>2</sup>		Запас в лесной подстилке, кБк/м <sup>2</sup>	
	толщина, см	запас, кг/м <sup>2</sup>	плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	почвы		лесной подстилки		<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
				<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr				
$\chi^2$	0.13	8.35	6.49	40.96	2.88	58.35	18.13	26.56	2.47	30.73	23.81
$p$	0.72	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<0.05

**Таблица 5.** Коэффициенты корреляции Спирмена характеристик лесной подстилки и содержания в ней <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr ( $n = 26$ )

Показатель лесной подстилки	Запас, кг/м <sup>2</sup>	Толщина, см
Запас, кг/м <sup>2</sup>	–	0.636
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	0.340	–0.352
Удельная активность <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	0.127	0.155
Удельная активность <sup>90</sup> Sr, Бк/кг	0.395	0.212
Запас <sup>137</sup> Cs, Бк/м <sup>2</sup>	0.576	0.422
Запас <sup>90</sup> Sr, Бк/м <sup>2</sup>	0.652	0.375

Примечание. Критические значения коэффициента корреляции Спирмена:  $p_{0,05} = 0.388$ ,  $p_{0,01} = 0.496$ ,  $p_{0,001} = 0.607$ .

связей между ними рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена ( $R$ ).

Отмечаемая авторами работ [13, 17] универсальная зависимость запаса ЛП от ее мощности и плотности подтверждена нашими исследованиями для насаждений черноольховой формации ЗО ЧАЭС. В них установлена средняя высоко значимая (здесь и далее по Чеддоку) корреляционная связь запаса ЛП и ее толщины (табл. 5). С учетом всех площадок ( $n = 390$ ) зависимость между этими показателями характеризуется как сильная ( $R = 0.758$ ), а также прослеживается средняя корреляция между запасом ЛП и плотностью ее сложения ( $R = 0.524$ ).

Сообщение о влиянии таксационных показателей древостоев на запасы ЛП в одинаковых условиях увлажнения [2] в черноольшаниках ЗО ЧАЭС не подтвердилось: корреляционные связи между ними не выявлены.

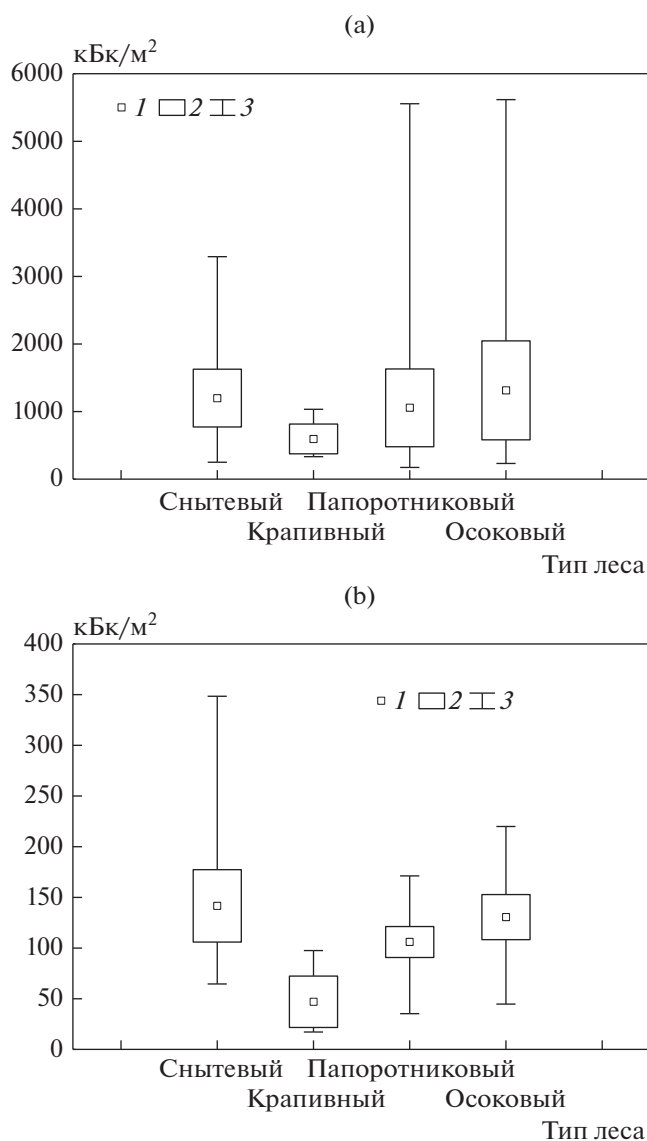
В подвергшихся радиоактивному загрязнению лесах ЛП выполняют роль депо радионуклидов в процессе их перераспределения между элементами биогеоценозов, задерживая их поступление в подстилочные слои почвы [16, 37].

**Радиоактивное загрязнение ЛП в черноольшаниках ЗО ЧАЭС.** Мощность дозы  $\gamma$ -излучения в насаждениях ольхи черной варьирует в пределах 0.2–6.9 мкЗв/ч и составляет в среднем  $1.1 \pm 0.28$  мкЗв/ч. Высокая мозаичность радиоактивных выпадений

“чернобыльского следа” [14, 29, 37] обеспечила широкий разброс значений плотности поверхностного загрязнения почвы (ПЗ) <sup>137</sup>Cs по насаждениям (174–5617 кБк/м<sup>2</sup>) и высокую их изменчивость по типам леса (64.0–163.5%). Средняя по формации величина ПЗ <sup>137</sup>Cs составляет  $1058 \pm 292$  кБк/м<sup>2</sup>, коэффициент вариации – 140.7%. Индивидуальные величины ПЗ <sup>90</sup>Sr находятся в диапазоне 17–348 кБк/м<sup>2</sup>. Среднее значение почти на математический порядок ( $115 \pm 13$  кБк/м<sup>2</sup>), а коэффициент вариации (59.1%) в 2.4 раза меньше по сравнению с аналогичными показателями <sup>137</sup>Cs. Вариабельность значений ПЗ почвы <sup>90</sup>Sr по типам леса также несколько ниже (43.3–93.6%). Соотношение средних величин ПЗ <sup>137</sup>Cs/ПЗ <sup>90</sup>Sr по типам леса изменяется от 7.1 до 12.7 и в среднем для формации составляет 9.2.

Средние значения ПЗ <sup>137</sup>Cs (1004–1314 кБк/м<sup>2</sup>), как и ПЗ <sup>90</sup>Sr (106–142 кБк/м<sup>2</sup>) в черноольшаниках, кроме крапивного типа леса, близки между собой при несколько повышенной величине ПЗ <sup>137</sup>Cs в наиболее влагообеспеченном черноольшанике осоковом и несущественно пониженной ПЗ <sup>90</sup>Sr – в папоротниковом (рис. 1).

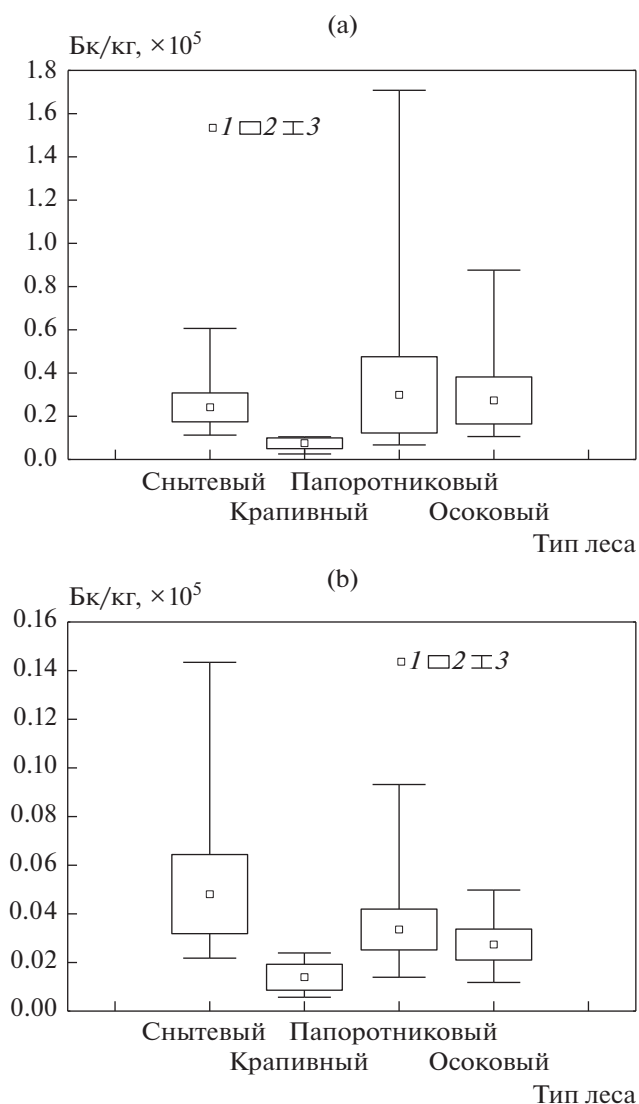
Близость средних значений ПЗ обоих радионуклидов указывает на относительную однородность выборок по этому показателю в трех типах леса. Выпадение из этого ряда черноольшаника крапивного обусловлено, скорее всего, случайно



**Рис. 1.** Плотность загрязнения почвы,  $\text{кБк}/\text{м}^2$ : а –  $^{137}\text{Cs}$ , б –  $^{90}\text{Sr}$ . Здесь и далее: 1 – среднее, 2 – среднее  $\pm$  стандартная ошибка, 3 – минимум–максимум.

низкими уровнями ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  и особенно ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  в подобранных насаждениях, и небольшим объемом выборки. Тем не менее, достоверные различия между средними величинами ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в крапивном типе леса с аналогичными показателями черноольшаников снытевого, папоротникового и осокового расчетами не выявлены, что обусловлено широким разбросом индивидуальных значений показателей загрязнения почвы обоих радионуклидов в пределах типов леса.

В ЛП радионуклиды попадают с опадом, в котором их концентрация зависит от содержания в почве, видового состава древостоя, погодных-климатических и почвенно-экологических условий



**Рис. 2.** Удельная активность в лесной подстилке,  $\times 10^5$  Бк/кг: а –  $^{137}\text{Cs}$ , б –  $^{90}\text{Sr}$ .

[37]. В черноольховых фитоценозах ЗО ЧАЭС наблюдается широкий размах колебаний крайних значений  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в ЛП как в пределах типов леса (рис. 2), так и в целом по формации – 2.6–170.8 и 0.6–14.3  $\text{кБк}/\text{кг}$  соответственно.

Средняя  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в ЛП черноольховых типах леса, за исключением черноольшаника крапивного, имеет близкие значения (24.1–29.9  $\text{кБк}/\text{кг}$ ). В целом по формации концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП изменяется синхронно с  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в почве и ПЗ  $^{137}\text{Cs}$ , что подтверждают ее средняя ( $R = 0.634$ ) и тесная ( $R = 0.763$ ) высоко значимые ( $p < 0.001$ ) корреляционные связи с этими показателями.

Более существенны различия средних значений  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в данном элементе биогеоценоза ольхи черной. В ряду типов леса черноольшаник снытевый

(4.8 кБк/кг) < черноольшаник папоротниковый (3.4 кБк/кг) < черноольшаник осоковый (2.7 кБк/кг) вместе с повышением влажности почв прослеживается тенденция снижения средней концентрации  $^{90}\text{Sr}$  в ЛП. В этом направлении растет и отношение средних  $A_y$   $^{137}\text{Cs}/A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в ней от 5.0 и 5.4 в снытевом и крапивном типах леса до 8.9 и 10.0 в папоротниковом и осоковом, что, вероятно, обусловлено интенсификацией переноса  $^{90}\text{Sr}$  в подстилочные слои с ростом влажности подстилки [37].

Доминирующим фактором, определяющим  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в ЛП, является содержание радионуклида в верхних слоях 200 мм почв. На это указывают средняя корреляционная связь  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в ЛП с  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в почве ( $R=0.605, p < 0.01$ ) и высокая – с ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  ( $R=0.704, p < 0.001$ ).

В работе [37] указывается на значимое влияние мощности ЛП на миграцию радионуклидов, особенно  $^{137}\text{Cs}$  в диапазоне до 3.5–4.0 см. В черноольшаниках ЗО ЧАЭС корреляционные связи концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в подстилке с ее толщиной не выявлены. Наблюдается слабая значимая корреляция между  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в подстилке с ее мортмассой.

Лиственные леса, особенно черноольховые, характеризуются наименьшей способностью удерживать радионуклиды [29, 37]. В черноольшаниках ЗО ЧАЭС разница максимального и минимального запасов  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП (рис. 3) достигает 92 раз,  $^{90}\text{Sr}$  – 38. Коэффициенты вариации их значений по формации составляют 151.5 и 102.3% соответственно. По типам черноольховых лесов соотношение крайних величин запасов  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП варьирует в диапазоне 5.0–29.3,  $^{90}\text{Sr}$  – 4.8–16.5 раз.

Средние запасы обоих радионуклидов в ЛП черноольшаников (рис. 3) изменяются по типам леса синхронно с их  $A_y$  (рис. 2) и с ПЗ (рис. 1). Частные величины запаса  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП всех насаждений ольхи черной находятся в высоко значимых ( $p < 0.01$ ) средних по силе корреляционных связях с  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в подстилке ( $R = 0.587$ ), а запаса  $^{90}\text{Sr}$  – с  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  в ней ( $R = 0.584$ ). Средняя корреляция на том же уровне значимости наблюдается между активностью  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП и ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  ( $R = 0.658$ ) и между активностью  $^{90}\text{Sr}$  в ней и ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  ( $R = 0.676$ ). Установленные зависимости объясняют пониженные уровни концентрации  $^{137}\text{Cs}$  (7.5 кБк/кг) и  $^{90}\text{Sr}$  (1.4 кБк/кг) и их запасы (18.4 и 3.4 кБк/м<sup>2</sup>) в ЛП черноольшаника крапивного низким их содержанием в почве данного типа леса.

Выявлены средние по силе зависимости запасов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в ЛП черноольшаников от запасов самих подстилок и слабая связь запаса более подвижного в этих условиях  $^{137}\text{Cs}$  с их мощностью (табл. 5).

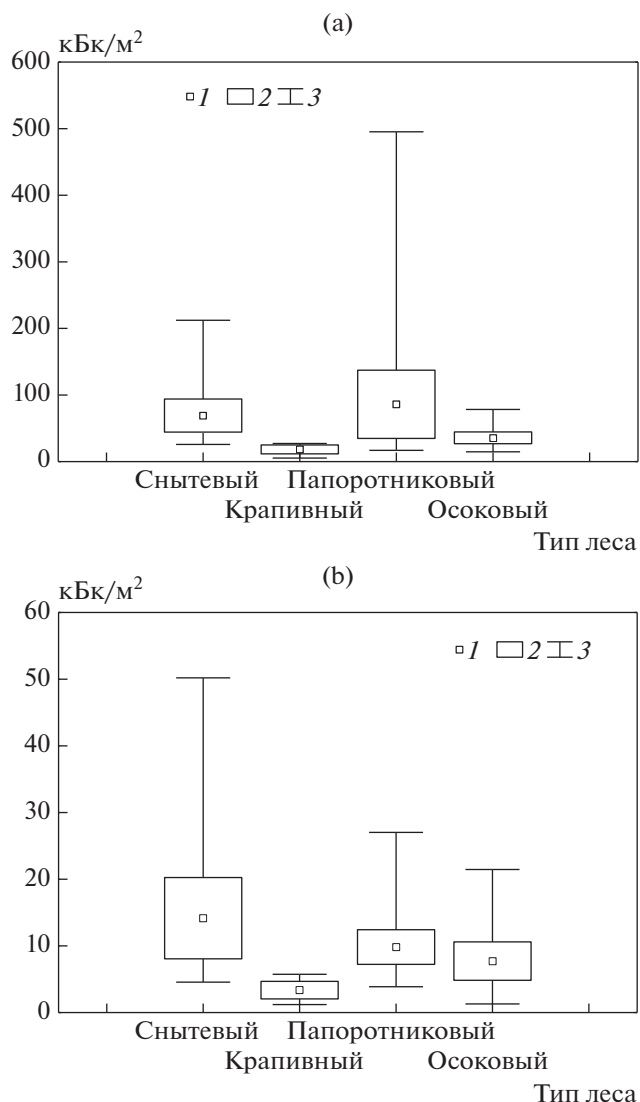


Рис. 3. Содержание в лесной подстилке, кБк/м<sup>2</sup>: а –  $^{137}\text{Cs}$ , б –  $^{90}\text{Sr}$ .

Так как на объектах исследований древостои ольхи черной однородны [35], то их влияние на накопление радионуклидов в ЛП разных типов леса несущественно. Поэтому корреляционные связи  $A_y$  и запасов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в ЛП с возрастом, средними высотой и диаметром, абсолютной и относительной полнотами, стволовым запасом высоковозрастных древостоев ольхи черной не выявлены.

Суммарное содержание  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП черноольховых лесов белорусского сектора ЗО ЧАЭС на конец сентября–начало октября 2020 г. составляло  $10.6 \times 10^{12}$  Бк,  $^{90}\text{Sr}$  –  $1.4 \times 10^{12}$  Бк. Табл. 6 носит оценочный характер и имеет определенные погрешности, так как исследованиями были охвачены только наиболее распространенные типы черноольховых лесов, покрывающих 77.4% площади



**Таблица 6.** Оценочный запас  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесной подстилке черноольшаников зоны отчуждения ЧАЭС,  $10^9$  Бк/%

Радионуклид	Черноольшаник				Всего по формации
	снытевый и кисличный	крапивный	папоротниковый и таволговый	осоковый, болотно-папоротниковый и ивняковый	
$^{137}\text{Cs}$	1872.0/17.6	304.5/2.9	6449.5/60.9	1967.4/18.6	10593.4/100.0
$^{90}\text{Sr}$	379.4/27.6	56.3/4.1	723.3/52.7	214.3/15.6	1373.3/100.0

формации, а полученные на них данные были экстраполированы на остальные 7 типов леса. При расчетах активности радионуклидов в ЛП всей формации типы леса объединяли в группы по принципу сходства или близости эдафических условий, прежде всего гигротопу. Учитывая идентичность типа лесорастительных условий площадь черноольшаника таволгового была присоединена к черноольшанику папоротниковому. На основе общего индекса увлажнения черноольшаники болотно-папоротниковый ( $C_5$ ) и ивняковый ( $B_5$ ) включены в одну группу с осоковым типом леса ( $C_5$ ). Черноольшаник кисличный ( $D_2$ ) по типу лесорастительных условий отличается от всех типов леса и имеет сходство с черноольшаником снытевым по тропотопу и наибольшую близость к нему по индексу увлажнения почвы. По этой причине, а также с учетом незначительной представленности в составе формации (3.9%), данный тип леса объединен с черноольшаником снытевым.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлены следующие характеристики ЛП в черноольховых лесах белорусского сектора ЗО ЧАЭС. Средняя толщина ЛП по формации составляет  $3.7 \pm 0.08$  см, средний запас –  $2.7 \pm 0.08$  кг/м<sup>2</sup>, средняя плотность сложения –  $0.07 \pm 0.001$  г/см<sup>3</sup>. Эти показатели не имеют значимых различий по типам леса и варьируют в пределах 3.3–3.9 см, 2.4–2.8 кг/м<sup>2</sup> и 0.06–0.08 г/см<sup>3</sup> соответственно.

Средним величинам характеристик ЛП по типам леса и черноольховой формации в целом присущи средние или высокие коэффициенты вариации и высокая точность. Наибольшая вариабельность наблюдается в черноольшанике осоковым, что связано с выраженной дифференциацией влажности верхних слоев почв в насаждениях. Незначительные различия средних показателей характеристик ЛП между типами леса ольхи черной обусловлены климатическими факторами, которые способствовали выравниванию гидрологической обстановки в насаждениях этой породы, а, следовательно, и мощности, и запасов ЛП в них.

Радиологическая обстановка в черноольшаниках ЗО ЧАЭС характеризуется значительным колебанием мощности дозы  $\gamma$ -излучения и высокой мозаичностью ПЗ  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . При этом ПЗ  $^{90}\text{Sr}$  почти на математический порядок меньше, чем ПЗ  $^{137}\text{Cs}$ .

Концентрации и запасы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в ЛП черноольшаников свойственны широкий размах колебаний и высокая вариабельность частных значений. Средние величины  $A_y$   $^{137}\text{Cs}$  в ЛП по типам леса, за исключением черноольшаника крапивного, близки между собой. Увеличение влажности почв сопровождается снижением средней величины  $A_y$   $^{90}\text{Sr}$  и ростом отношения средних  $A_y$   $^{137}\text{Cs}/A_y$   $^{90}\text{Sr}$ . Запасы обоих радионуклидов в ЛП по типам леса изменяются синхронно с их  $A_y$  и ПЗ и тесно коррелируют с ними, а также имеют среднюю корреляционную связь с массой ЛП. Запас  $^{137}\text{Cs}$  слабо связан с мощностью подстилок.

Суммарная активность  $^{137}\text{Cs}$  в ЛП всех насаждений ольхи черной в ЗО ЧАЭС составляет  $10.6 \times 10^{12}$  Бк и  $^{90}\text{Sr}$  –  $1.4 \times 10^{12}$  Бк.

Полученные данные могут быть включены в базы данных биологической продуктивности черноольховых лесов для зоны широколиственных лесов и использоваться в радиозоологии.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 35 лет после Чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Национальный доклад Республики Беларусь. Минск: ИВЦ Минфина, 2020. 152 с.
- Аткина Л.И., Аткин А.С. Особенности накопления подстилок в лесных сообществах // Почвоведение. 2000. № 8. С. 1004–1008.
- Аткина Л.И., Стародубцева Н.И. Запас и структура лесной подстилки в сосняках Джабык-Карагайского бора // Леса Урала и хозяйство в них. 2004. Вып. 24. С. 41–45.

4. Богатырев Л.Г., Демин В.В., Матышак Г.В., Сапожникова В.А. О некоторых теоретических аспектах исследования лесных подстилок // Лесоведение. 2004. № 4. С. 17–29.
5. Бойко А.В., Смольский Н.В., Сидорович Е.А., Евсевич К.М., Лознухо И.В., Арабей Н.М., Кирковский К.К. и др. Экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника. Минск: Наука и техника, 1976. 304 с.
6. Бровка Ю.А., Буяков И.В. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата // Природопользование. 2020. № 2. С. 5–18.
7. Вайчис М.В., Онюнас В.М. Типы лесных подстилок и их связь с почвами и лесами в Южной Прибалтике // Почвоведение. 1977. № 2. С. 93–100.
8. Василевская Л.С. Изменение количества и состава лесной подстилки по типам леса // Лесное хозяйство. 1958. Вып. 12. С. 106–113.
9. Гарбарук Д.К. Плодородие мелиорированных почв в черноольховых насаждениях Хойникского лесхоза // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2006. Вып. 65. С. 17–35.
10. Гарбарук Д.К., Углянец А.В., Шумак С.В. Потенциальный вклад компонентов черноольховых насаждений заповедной зоны ПГРЭЗ в биомассу лесных горючих материалов и содержание в них  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  // Ботаника (исследования). 2021. Вып. 50. С. 123–139.
11. Демаков Ю.П., Исаев А.В., Шарафутдинов Р.Н. Роль лесной подстилки в борах Марийского Заволжья и вариабельность ее параметров // Научн. Тр. Гос. природного заповедника “Большая Кокшага”. 2017. Вып. 8. С. 15–43.
12. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Аврова А.Ф. Строеие и пространственно-временная изменчивость накопления подстилки в болотных березняках Западной Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2009. № 2(6). С. 84–94.
13. Зонн С.В. Почвы как компонент лесного биогеоценоза // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 372–457.
14. Израэль Ю.А., Богдевич И.М. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь). М.: Фонд “Инфосфера”–НИА–Природа; Минск: Белкартография, 2009. 140 с.
15. Ипатьев В.А., Багинский В.Ф., Булавик И.М., Дворник А.М., Волчков В.Е., Гончаренко Г.Г., Поджаров В.К. и др. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. Гомель: Речицкая укрупненная типография, 1999. 454 с.
16. Ипатьев В.А., Булко Н.И., Митин Н.В., Шабалева М.А., Диденко Л.Г. Радиологический феномен лесных экосистем. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2004. 310 с.
17. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.
18. Ковда В.А. Основы учения о почвах. Общая теория почвообразовательного процесса. М.: Наука, 1973. Кн. 1. 448 с.
19. Ковязин В.Ф., Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2010. 384 с.
20. Краснов В.П., Орлов О.О., Бузун В.О., Ландін В.П., Шелест З.М. Прикладна радіоекологія лісу. Житомир: Полісся, 2007. 680 с.
21. Кузьменков М.В., Кулагин А.П., Таркан А.В., Бузуновский Р.С. Таксационно-лесоустроительный справочник. Минск: Редакция журнала “Лесное и охотничье хозяйство”, 2019. 335 с.
22. Куликов Я.К. Почвенные ресурсы. Минск: Вышэйшая школа, 2013. 319 с.
23. Лапа В.В., Цыбулько Н.Н., Цырибко А.М., Устинова А.М., Червань А.Н., Логачев И.А., Кудин М.В., Антипенко О.Н. Почвы Полесского государственного радиационно-экологического заповедника. Минск: ИВЦ Минфина, 2019. 97 с.
24. Марченко Ю.Д. Погодно-климатические условия в ближней зоне Чернобыльской АЭС // Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития. Минск, 2013. С. 32–45.
25. Матусов Г.Д., Воронецкая А.Н., Китиков В.И. Распределение радионуклидов в лесных биогеоценозах // Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития. Минск, 2013. С. 211–221.
26. Мелехов И.С. Лесоведение. М., 2007. 372 с.
27. Мирошников В.С., Труль О.А., Ермаков В.Е., Дольский Л.В., Костенко А.Г. Справочник таксатора. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.
28. Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2019. № 4. С. 5–18.
29. Переволоцкий А.Н. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в лесных биогеоценозах. Гомель: Ин-т радиологии, 2006. 255 с.
30. Рабочая группа IUSS WRB. 2015 Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014, исправленная и дополненная версия 2015. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Доклады о мировых почвенных ресурсах. № 106. ФАО, Рим.
31. Семенюк О.В., Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктовова А.И., Кузнецова Я.Д. Оценка внутрибиогеоценозной изменчивости лесных подстилок и травяно-кустарничковой растительности в еловых насаждениях // Почвоведение. 2020. № 1. С. 31–43.

32. Соколовский И.В., Юренин А.В. Атлас морфологических признаков лесных почв Беларуси. Минск: Редакция журнала "Лесное и охотничье хозяйство", 2012. 135 с.
33. Соловьев В.А. Популяция и биоценоз. Л.: ЛТА, 1985. 92 с.
34. Соломатова Е.А. Строение, состав и пространственная вариабельность лесных подстилок Восточной Финноскандии. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 28 с.
35. Углянец А.В., Гарбарук Д.К., Шумак С.В. Продуктивность высоковозрастных насаждений ольхи черной в заповедной зоне Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2021. Вып. 81. С. 83–90.
36. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М.: Прогресс, 1980. 328 с.
37. Щеглов А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, 2000. 268 с.
38. Юркевич И.Д. Выделение типов леса при лесо-строительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
39. Юркевич И.Д., Гельтман В.С., Ловчий Н.Ф. Типы и ассоциации черноольховых лесов (по исследованиям в БССР). Минск: Наука и техника, 1968. 376 с.
40. Юркевич И.Д., Гельтман В.С., Ловчий Н.Ф., Ярошевич Э.П., Тютюнов А.З. Березовые леса Беларуси: Типы, ассоциации, сезонное развитие и продуктивность. Минск: Наука і техника, 1992. 183 с.

## Forest Litter Stocks and Content of $^{137}\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}$ in the Black Alder Forests of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone

D. K. Garbaruk<sup>1, \*</sup>, A. V. Uglyanets<sup>1</sup>, and S. V. Shumak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, 247618 Belarus

\*e-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

In the black alder forests of the Belarusian sector of the Chernobyl NPP exclusion zone, growing on Dystric Rheic Sapric Histosols, the average thickness of the forest litter by forest types (3.3–3.9 cm) and by black alder formation as a whole ( $3.7 \pm 0.1$  cm), stock (2.4–2.8 and  $2.7 \pm 0.1$  kg m<sup>-2</sup>) and density of addition (0.06–0.08 and  $0.07 \pm 0.001$  g cm<sup>-3</sup>) were established. Insignificant differences in these characteristics between forest types are due to climatic factors. Despite the wide variation in surface soil contamination of  $^{137}\text{Cs}$  (174–5617 kBq m<sup>-2</sup>) and  $^{90}\text{Sr}$  (17–348 kBq m<sup>-2</sup>), its average values in the *Gluninosa-Alnetun aegopodiosum*, *G.-A. filicosum* and *G.-A. caricosum* are in a close range (1004–1314 kBq m<sup>-2</sup>). The soils surface contamination of  $^{90}\text{Sr}$  (106–142 kBq m<sup>-2</sup>) is by an order of magnitude lower. The average values of the specific activity of  $^{137}\text{Cs}$  in the forest litter of these forest types are close to each other (24.1–29.9 kBq kg<sup>-1</sup>). With an increase in soils moisture, the average specific activity of  $^{90}\text{Sr}$  in the litter decreases from 4.8 to 2.7 kBq kg<sup>-1</sup>. Average stocks of  $^{137}\text{Cs}$  in forest litter vary by forest type in the range of 18.4–85.6 kBq m<sup>-2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 3.4–13.5 kBq m<sup>-2</sup>. They change synchronously with the surface contamination of soils with radionuclides and closely correlate with it. A correlation of average strength is observed between the mortmass of forest litter and the content of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in it. The forest litter of all black alder forests in the Chernobyl exclusion zone contains  $10.6 \times 10^{12}$  Bq of  $^{137}\text{Cs}$  and  $1.4 \times 10^{12}$  Bq of  $^{90}\text{Sr}$ .

**Keywords:** forest litter, thickness, density of addition, stocks, radionuclides, types of black alder forests