

УДК 630*114.351:630*228.8(630*176.322.6)

ЗАПАСЫ ЛЕСНЫХ ПОДСТИЛОК В ДУБОВЫХ ЛЕСАХ БЕЛУРУССКОГО СЕКТОРА ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ¹

© 2024 г. А. В. Углянец^а, Д. К. Гарбарук^{а, *}

^аПолесский государственный радиационно-экологический заповедник, ул. Терешковой, д. 7, Хойники, 247618 Беларусь

*E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Поступила в редакцию 17.02.2024 г.

После доработки 05.04.2024 г.

Принята к публикации 08.07.2024 г.

Лесные подстилки в биогеоценозах зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции играют важнейшую роль в миграции радиоактивных веществ. Сведения о характеристиках подстилок в дубовых лесах этой территории отсутствуют. Цель исследования заключалась в выявлении основных показателей лесных подстилок и влияющих на их накопление факторов в насаждениях дубрав кисличных, снытевых, приуслово-пойменных и злаково-пойменных, занимающих 61.1% площади дубовой лесной формации в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Установлено, что средние значения их характеристик по типам леса, полученные с точностью 3.1–8.2%, изменяются в крайне узких диапазонах: толщина – 1.7–2.9 см, запас – 1.6–2.7 кг м⁻², плотность сложения – 0.08–0.11 г см⁻³. Подстилки рыхлые, в сравнении с другими регионами Восточной Европы в границах естественного ареала дуба они менее мощные и с меньшими запасами мортмассы. Суммарный их вес в зоне отчуждения составляет около 200 тыс. т. абсолютно сухого вещества. Толщина и запас лесных подстилок пространственно неоднородны. Им свойственны высокие колебания частных значений и коэффициентов вариации средних величин (40–56%). Средние показатели толщины и запаса достоверно различаются между большинством типов леса и тесно связаны между собой ($r = 0.76$). Плотность сложения лесной подстилки при коэффициентах вариации средних величин 27–71% достаточно однородна. Формирование подстилок и накопление ими мортмассы в дубравах зоны отчуждения определяет совокупное влияние погодно-климатических условий, рельефа, плодородия и влажности почвы, количества растительного опада при ведущей роли почвенного увлажнения.

Ключевые слова: зона отчуждения Чернобыльской АЭС, дубрава, лесная подстилка, толщина, запас, плотность сложения.

DOI: 10.31857/S0024114824050082 EDN: OWOYLS

Лесная подстилка (ЛП) – динамичный напочвенный биогеогоризонт, состоящий из мортмассы лесных организмов, преимущественно растений, отчасти независимый компонент лесного биогеоценоза, временно удерживающий минеральные элементы и регулирующий их перемещение в биологическом круговороте (Карпачевский, 1981), а

также возобновляющийся ресурс, аккумулирующий в себе химические элементы и определяющий поступление их в биосферу (Богатырев и др., 2004).

Актуальность изучения ЛП определена свойствами и функциями, выполняемыми ею в лесных биогеоценозах. Она значительно возрастает в зоне отчуждения (ЗО) Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), где подстилки являются основным депо радионуклидов, важным звеном в их биологическом круговороте и биогеохимическим барьером в процессе вертикальной миграции (Лес. Человек. Чернобыль..., 1999; Щеглов, 2000; Переволоцкий, 2006).

¹Исследования выполнены в соответствии с Программой совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС в части ответственности белорусской стороны.

Дубравы, занимающие 7863 га (5.6%) лесопокрываемой площади в белорусском секторе ЗО ЧАЭС, с момента аварии не эксплуатировались. В экологической группе суходольных, или плакорных, дубрав преобладают кисличный (28.8%) и снытевый (10.8 %) типы леса, в группе пойменных – злаково-пойменный (10.7 %) и прируслово-пойменный (10.8 %).

В литературе имеется достаточно информации по толщине ЛП в дубравах Белорусского Полесья (Полесье), сведения об их запасах ограничены несколькими типами леса (Кирковский, 1987), а для дубрав в ЗО ЧАЭС – отсутствуют.

Цель исследования – установить современные характеристики ЛП в дубравах белорусского сектора ЗО ЧАЭС и факторы, влияющие на ее накопление.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объект исследований – ЛП в высоковозрастных насаждениях четырех самых распространенных типов дубрав в белорусском секторе ЗО ЧАЭС. Исследования проводили до начала листопада (24.08.2021–7.09.2021 г), когда наступает их стабилизация (Кабанов, 1990), на 25 временных пробных площадях (ВПП), заложенных в дубравах кисличных (8), снытевых (7), прируслово-пойменных (5) и злаково-пойменных (5). Высокое покрытие насаждениями этих типов леса площади формации (61.1%) указывает на репрезентативность исследованной типологической выборки.

Закладку ВПП произвели в соответствии с методами, описанными в работе В.Ф. Ковязина с соавторами (2010). Таксацию древостоев и расчет таксационных показателей выполнили с использованием принятой в Беларуси справочной литературой (Мирошников и др., 1980; Кузьменков и др., 2019). Средние таксационные показатели древостоев дубрав по типам леса приведены в табл. 1.

Для установления запаса ЛП в типе леса с 20-процентной точностью при вероятности 0.95 рекомендуется отбирать 43 пробы (Карпачевский, 1981). В работе Л.И. Аткиной и Н.И. Стародубцевой (2004) для этой цели их отбор осуществляли на 20–25 учетных площадках (УП) размером 0.05 м², а для определения толщины подстилки с 7–12-процентной точностью выполняли 40–50 ее замеров.

В дубравах ЗО ЧАЭС определение запаса ЛП выполняли методом отбора образцов на 15 УП размером 0.5×0.5 м. На каждой ВПП размещали по 15 УП на 3 трансектах – по 5 УП на трансекте через 10 м при расстоянии между трансектами 15 м. Мощность ЛП измеряли на каждой стороне УП. В дубраве кисличной отобрали 120 образцов подстилки, снытевой – 105, прируслово-пойменной и

злаково-пойменной – по 75; произвели соответственно 480, 420 и по 300 замеров ее толщины.

В полевых условиях на каждой УП путем взвешивания определяли массу образца ЛП при естественной влажности. В пределах ВПП образцы объединяли, перемешивали и отбирали среднюю пробу. Методом их высушивания в сушильном шкафу при 100–105 °С до постоянной массы устанавливали влажность средних проб ЛП на ВПП в соответствии с ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений». С учетом влажности рассчитали запас абсолютно сухой массы и плотность сложения ЛП на УП в соответствии с исследованием Я.К. Куликова (2013), далее определили средние показатели мощности, запаса и плотности сложения ЛП и отдельные их статистические показатели для каждого типа леса.

Обработку материалов производили при помощи стандартных пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 6.1. Все параметры ЛП в дубовых лесах ЗО ЧАЭС определены с точностью 3.1–8.2%, что говорит о достаточном количестве наблюдений и обоснованности полученных данных.

Достоверность различий (t) для двух сравниваемых малых выборок ($n < 20$) рассчитывали по формуле:

$$t = (M_1 - M_2) \sqrt{\frac{1 - 2(n_1 + n_2)^{-1}}{\frac{\sigma_1^2}{n_2} + \frac{\sigma_2^2}{n_1}}},$$

где M – среднее значение выборки; σ – стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Толщина лесной подстилки. По данным, приведенным в «Атласе морфологических признаков лесных почв Беларуси» (Соколовский, Юренин, 2012), толщина ЛП в дубравах страны находится в пределах 2–4 см, в среднем составляя в дубраве орляковой 3.0 см, кисличной – 3.1 см, черничной – 3.2 см. В плакорных дубравах Полесья она варьирует в диапазоне 1–4 см, редко выходя за границы 2–3 см (Соколовский, Беспалый, 2015). В дубравах орляковых, снытевых, кисличных Беловежской пуши Беларуси составляет 2 см (Антоник, Ефремов, 2007). В центральной части Полесья, в дубраве кисличной, она изменяется в пределах 3–7, в черничной – 2–4, в снытевой – 1.5–3 см (Горюнова, Солонович, 1978; Антоник, 2007; Герасименко, Соколовский, 2008). В дубравах прируслово-пойменных мощность ЛП колеблется в диапазоне 2–6 см, местами отсутствует, в дубраве пойменной составляет

Таблица 1. Средние таксационные показатели древостоев дуба

Тип леса / местопроизрастания	Количество ВПП, штук	Класс древостоев	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Количество деревьев, штук га ⁻¹	Сумма площадей сечений, м ² га ⁻¹	Плотность	Запас, м ³ га ⁻¹	Доля примеси в общем запасе, %
				Высота, м	Диаметр, см						
Дубрава кисличная / D ₂	8	I II	112 60	23.3	42.8	II.8 —	206 48	23.2 1.0	0.7 —	254 6	11.0
				15.8	16.0						
Дубрава сныгевая / D ₃	7	I II	101 47	22.1	42.9	II.6 —	266 160	18.6 4.2	0.6 0.1	177 25	40.8
				15.8	17.9						
Дубрава злако- во-пойменная / C _{2п} , C _{3п}	5	I	85	20.9	29.8	II.4	443	23.9	0.8	223	24.9
Дубрава приусло- во-пойменная / A _{2п} , B _{2п}	5	I	72	12.7	31.3	IV.2	240	17.4	0.8	143	7.8

Примечание. Согласно белорусским лесотипологическим таблицам (Юркевич, 1980), тип условий местопроизрастания (ТУМ) обозначается шифрами трофности: А — наиболее бедных, В — относительно бедных, С — относительно богатых, D — богатыми почв — и индексами влажности: 2 — свежих, 3 — влажных почв; индекс «п» указывает на пойменные условия.

5 см (Солонович, 1976; Антоник, 2007; Беспалый, Соколовский, 2017). В смешанных дубравах ближней зоны ЧАЭС ее величина находится на уровне 2 см (Переволоцкая, 2009).

Северо-восточнее Полесья в лиственных насаждениях Калужской области России мощность ЛП составляет 2.88–5.71 см (Шеглов, 2000), в чистых дубравах Московской области – 4.4 см, в смешанных – 3.5 см (Наумов и др., 2019), в дубняках лесостепной зоны Татарстана – 2.0–3.3 см (Ульдянова, 2017), в высокоствольных дубравах степной зоны – 4–6 см (Козлов, 2006; Баканов и др., 2018), в порослевых – до 2 см (Кабанов, 1990). В пойме среднего течения реки Большая Кокшага (Республика Марий Эл) под высоковозрастными дубравами ее толщина увеличивается от 0.7–1.4 см в прирусловой части до 2.1–4.0 см в остальной

(Исаев и др., 2005), а в дубравах поймы среднего Днепра – от 1–2 до 10 см (Соловьев, 2007).

В ЗО ЧАЭС средняя толщина ЛП по типам леса варьирует в диапазоне 1.7–2.9 см (табл. 2), то есть в пределах тех же 2–3 см, характерных для дубрав Полесья. В большинстве случаев она уступает мощности подстилок в дубравах европейской части России.

Толщина ЛП в дубравах ЗО пространственно неоднородна, на что указывают 16-кратный размах колебания частных ее значений (0.4–6.5 см), снижающийся от дубрав злаково-пойменных (14.5) до снытевых, кисличных (13.0) и прирусловой-пойменных (11.0), и высокие коэффициенты вариации средних величин по типам леса (40.4–50.5%). В приведенном выше ряду уменьшается и средняя толщина ЛП, которая, несмотря на близкие

Таблица 2. Статистические показатели характеристик лесной подстилки по типам дубрав

Статистические показатели	Дубрава кисличная	Дубрава снытевая	Дубрава злаково-пойменная	Дубрава прируслово-пойменная
<i>n</i>	120	105	75	75
Мощность, см				
min–max	0.5–6.5	0.5–6.5	0.4–5.8	0.5–5.5
$M \pm m$	2.5 ± 0.09	2.6 ± 0.12	2.9 ± 0.14	1.7 ± 0.10
<i>Cv/P</i>	40.4/3.7	48.3/4.7	44.0/5.1	50.5/5.8
Запас, кг м ⁻²				
min–max	0.8–6.5	0.8–7.6	0.7–4.9	0.2–4.9
$M \pm m$	2.1 ± 0.10	2.7 ± 0.13	2.0 ± 0.10	1.6 ± 0.10
<i>Cv/P</i>	52.6/4.8	50.3/4.9	41.3/4.8	56.4/6.5
Плотность сложения, г см ⁻³				
min–max	0.03–0.22	0.05–0.28	0.03–0.53	0.04–0.15
$M \pm m$	0.09 ± 0.003	0.11 ± 0.004	0.08 ± 0.007	0.09 ± 0.003
<i>Cv/P</i>	36.9/3.4	35.4/3.5	71.1/8.2	26.8/3.1

Примечание. *n* – количество учетных площадок; min и max – минимальное и максимальное значения; *M* – среднее арифметическое значение; *m* – ошибка среднего арифметического значения; *C_v* – коэффициент вариации, %; *P* – коэффициент точности, %.

Таблица 3. Достоверность различий показателей мощности (числитель) и запаса (знаменатель) лесной подстилки между типами дубрав

Тип леса	Дубрава кисличная	Дубрава снытевая	Дубрава прируслово-пойменная
Дубрава снытевая	0.67 / 3.66*	–	–
Дубрава прируслово-пойменная	5.95* / 3.54*	5.76* / 6.71*	–
Дубрава злаково-пойменная	2.40* / 0.71	1.63 / 4.27*	6.98* / 2.83*

Примечание. * – различия достоверны на 95-процентном уровне значимости.

значения, достоверно различается между большинством типов леса (табл. 3).

Запас лесной подстилки является более значимой характеристикой ввиду того, что показатель мощности ЛП довольно субъективен, а точность его невысока (Карпачевский, 1981). В 1970-х гг. в плакорных условиях Полесья ее абсолютно сухой вес в дубраве орляковой составлял 0.85, черничной – 0.87 и крапивной – 1.86 кг м⁻² (Кирковский, 1987). Все данные в настоящей статье для удобства сравнения приведены в кг м⁻². В Прибалтике в ТУМ С₃ и Д₃, соответствующих дубравам черничной и снытевой, запас ЛП был равен 2.63 и 0.95 кг м⁻² (Вайчис, Онюнас, 1977). В лиственных лесах Калужской области ее запас варьирует в пределах 2–4 кг м⁻², Брянской – 3–5 кг м⁻² (Щеглов, 2000). Южнее, в чистых естественных дубравах Черкасской области Украины, он снижается до 1.28 кг м⁻², искусственных – до 2.38 кг м⁻², смешанных – до 0.85 и 1.20 кг м⁻² соответственно (Жицька, Хоменко, 2011). В дубравах в лесостепи Татарстана масса ЛП составляет 0.81–1.72 кг м⁻² (Ульданава, 2017), нагорных дубравах южной лесостепи – 1.39–1.69 кг м⁻² (Каплина, Кулакова, 2021), чистой спелой плакорной дубраве степной зоны – 1.12 кг м⁻² (Баканов и др., 2018), чистых и смешанных порослевых дубравах Саратовской области – 0.11–1.97 кг м⁻² (Кабанов, 1990), Северном Прикаспии – 7.53 кг м⁻² (Кулакова, 2014). В Полесье мортмасса ЛП в дубраве широколиственно-пойменной весила 0.77 кг м⁻² (Кирковский, 1987). В пойме реки Большая Кокшага ее запас под дубравами возрастает от 0.41–1.37 до 1.63–3.73 кг м⁻² по мере удаления от прирусловой части и приближения к поверхности почвы уровней грунтовых вод (Исаев и др., 2005). В дубравах поймы среднего Днепра он намного выше – 3.70–8.99 кг м⁻² (Соловьев, 2007).

Современные средние запасы ЛП в ЗО ЧАЭС по типам дубрав (табл. 2) расположены в узком весовом интервале (1.6–2.7 кг м⁻²) при средней величине по

формации 2.2±0.06 кг м⁻². Они достоверно различаются между собой, кроме единичного случая (табл. 3). Их масса в полтора раза выше массы ЛП в дубравах Полесья 40-летней давности (0.85–1.89 кг м⁻²). В плакорных дубравах они в определенной мере вписываются в диапазоны запасов ЛП в дубравах Украины, в меньшей степени – России; в пойменных – близки к запасам ЛП в дубравах России и значительно уступают насаждениям дуба в пойме Днепра.

Весьма неоднородно пространственное распределение запаса ЛП в дубовых лесах ЗО ЧАЭС. Общий размах колебаний ее индивидуальных значений (0.2–7.6 кг м⁻²) достигает 38 раз и возрастает от дубравы злаково-пойменной (7.0) до кисличной (8.1), снытевой (9.5) и прируслово-пойменной (24.5). Коэффициенты вариации средних запасов ЛП по типам леса (41.3–56.4%) в среднем соответствуют аналогичному показателю в порослевых дубравах степи (48%) (Кабанов, 1990) и значительно выше их вариации в лиственных и хвойно-широколиственных лесах Брянской и Калужской областей (23.0–34.4%) (Щеглов, 2000).

Расчетный запас ЛП в дубравах ЗО ЧАЭС составляет около 200 тыс. т (табл. 4). При его определении к наиболее распространенным (базовым) типам леса присоединяли площади остальных типов на основе сходства или близости индексов трофности и влажности почв.

Запасы ЛП с определенной синхронностью повторяют изменение ее мощности (Щеглов, 2000) и находятся в статистической связи между собой, характер которой зависит от степени увлажнения почв (Вайчис, Онюнас, 1977). Сильные корреляции между этими параметрами установлены для низкоствольных дубрав Саратовской области ($r = 0.71$, $p < 0.01$) (Кабанов, 1990). В ЗО ЧАЭС связь между ними еще более тесная ($r = 0.76$, $p < 0.01$, $n = 375$).

Плотность лесной подстилки в дубравах Полесья составляет 0.25–0.40 г см⁻³, Беловежской

Таблица 4. Оценочный запас лесной подстилки в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС

Показатель	Дубравы кисличная и орляковая	Дубравы снытевая, черничная крапивная и папоротниковая	Дубрава прируслово-пойменная	Дубравы злаково-пойменная, ольхово-пойменная, широколиственно-пойменная и пойменная	Всего
Общая площадь, га	3713.5	1345.9	851.9	1951.6	7862.9
Запас лесной подстилки, кг м ⁻²	2.5	2.6	1.7	2.9	–
Общая масса подстилки, т	92838	34993	14482	56597	198910

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены базовые типы леса.

пуши – 0.17–0.33 г см⁻³ (Антоник, 2012; Антоник, Босак, 2016). В дубравах ЗО ЧАЭС по состоянию на 2021 г. она оказалась более рыхлой и однородной – средние показатели плотности сложения по типам леса располагались в интервале 0.08–0.11 г см⁻³ (табл. 2), а достоверные различия данного показателя между всеми типами леса, несмотря на высокие коэффициенты вариации средних величин (26.8–71.1%), отсутствовали. Средняя плотность ЛП в насаждениях дубовой формации (0.09 ± 0.002 г см⁻³) близка к плотности подстилки черноольховых лесов (0.07 ± 0.001 г см⁻³) в ЗО ЧАЭС (Гарбарук и др., 2022).

Влияние экологических факторов на характеристики лесной подстилки. Снижение плотности ЛП в дубравах ЗО ЧАЭС и превышение ее запасов над запасами 40-летней давности обусловлены изменением климата и современными метеорологическими условиями. На общем фоне 30-летнего периода засушливых явлений в регионе (Бровка, Буяков, 2020), по данным расположенной на территории

ЗО ЧАЭС станции «Масаны», 2021 год характеризовался пониженным количеством осадков (519 мм) в сравнении со среднемноголетней нормой (609 мм), повышенной температурой воздуха (+8.2 °С при норме +7.8 °С), низкими коэффициентами увлажнения территории по Н.Н. Иванову (0.81 за май–август и 0.75 за год). Поэтому дефицит влаги замедлил микробиологическую активность в ЛП и ее деструкцию, чем обеспечил нарастание мортмассы и снизил степень уплотнения.

Различия в толщине и запасах ЛП в разных типах леса задаются комплексом экологических факторов, важнейшим из которых является рельеф местности, определяющий влагообеспеченность почв. Его понижение независимо от региона и лесобразующей породы сопровождается увеличением влажности почв и уменьшением запасов ЛП с последующим их ростом в переувлажненных местах (Аткина, Аткин, 2000). Повышению запасов ЛП способствуют увеличение увлажнения и снижение плодородия почв, а наибольшие запасы они

Таблица 5. Коэффициенты корреляции Спирмена толщины и запаса лесной подстилки с таксационными показателями древостоев дуба ($n = 25$)

Показатели	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Число стволов, шт./га	Сумма площадей сечений, м ² /га		Полнота		Стволовой запас, м ³ /га		Доля примеси в общем запасе, %	
		высота, м	диаметр, см			дуба	общая	дуба	общая	дуба	общий		
W	0.909	0.904	0.964	0.886	0.926	0.868	0.917	0.975	0.937	0.957	0.794	0.871	0.899
p	0.03	0.02	0.50*	0.01	0.07*	0.00	0.04	0.78*	0.12*	0.36*	0.00	0.00	0.02
Толщина, см	0.11	0.47**	0.236	0.45**	-0.10	0.02	0.10	0.24	-0.10	-0.05	0.32	0.33	0.13
Запас, кг/м ²	0.18	0.32	0.35	-0.24	-0.25	-0.06	-0.05	0.14	-0.19	-0.04	0.07	0.19	0.28

Примечание. W – критерий Шапиро-Уилка, p – уровень значимости, %, * – нормальное распределение, ** – статистически значимые результаты при $p < 0.05$

накапливают на среднеплодородных почвах (Вайчис, Онюнас, 1977). В поймах рек их масса возрастает с понижением рельефа и повышением уровня грунтовых вод (Исаев и др., 2005).

С рельефом более тесно связана толщина ЛП (Щеглов, 2000). В составном ряду типов леса ЗО ЧАЭС (дубрава прируслово-пойменная – дубрава кисличная – дубрава снытевая – дубрава злаково-пойменная) понижается рельеф, уровни грунтовых вод приближаются к дневной поверхности, просматривается тенденция повышения индекса почвенного увлажнения. Одновременно увеличивается мощность ЛП. Ее запасы возрастают в рядах типов леса (дубрава прируслово-пойменная < дубрава злаково-пойменная ≤ дубрава кисличная < дубрава снытевая) и ТУМ ($A_2, B_2 < C_{2-3} < D_2 < D_3$), то есть по мере улучшения лесорастительных условий. Близкие значения толщины ЛП в дубравах кисличных и снытевых, характеризующихся разными индексами увлажнения при идентичных трофотобах, обусловлены выравниванием темпов ее разложения в связи с опусканием уровня грунтовых вод в ходе многолетней засухи до глубины, при которой капиллярная влага не достигает подстилок и не влияет на их влажность.

В процессе накопления ЛП важную роль играет количество опада. В исследованных дубравах большую его часть составляет древесный ярус. Поэтому вполне ожидаема связь параметров ЛП с таксационными показателями древостоев. Таким примером является тесная корреляция ее запаса с сомкнутостью полога древостоя, долей клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в составе, умеренная – с абсолютной и относительной полнотой насаждения, высотой дуба (*Quercus robur* L.), стволовым запасом в низкоствольных дубравах Саратовской области (Кабанов, 1990). В дубравах ЗО ЧАЭС выборка запаса ЛП имеет ненормальное распределение (критерий Шапиро-Уилка $W = 0.876$, $p = 0.01$), выборка толщины ($W = 0.939$, $p = 0.14$) – нормальное. Установлены значимые ($p < 0.05$) слабые коэффициенты корреляции Спирмена мощности ЛП со средней высотой древостоя дуба и классом бонитета, характеризующим качество условий местопроизрастания (табл. 5).

Поэтому наиболее низкие мощность и запас ЛП наблюдаются в низкобонитетных низкопродуктивных дубравах прируслово-пойменных (табл. 1), а самые высокие ее запасы накапливают дубравы снытевые, произрастающие на самых богатых влажных почвах, приуроченных к ТУМ D_3 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мощность и запас ЛП в различных типах дубрав ЗО ЧАЭС располагаются в узких интервалах абсолютных значений (1.7–2.9 см и 1.6–2.7 кг м⁻²) и находятся в тесной ($r = 0.76$)

взаимосвязи. При высокой вариабельности средних величин (40–56%) они в большинстве случаев достоверно различаются между собой. Диапазон толщины ЛП совпадает со средними ее значениями большинства типов дубрав Полесья, но по мощности они уступают подстилкам дубовых насаждений за пределами региона. Запасы ЛП в полтора раза превышают величины данного параметра 40-летней давности в Полесье и близки либо уступают мортмассе ЛП в разных природных зонах европейской части России. Общий их запас в ЗО ЧАЭС составляет 200 тыс. т. Плотность сложения ЛП довольно однородна и по типам леса составляет 0.08–0.11 г см⁻³.

Величины характеристик ЛП в дубравах ЗО ЧАЭС определяет совокупное влияние погодноклиматических условий, рельефа, богатства и влажности почв, регулирующих количество опада, влажность ЛП и микробиологическую активность в ней. Засушливые явления в регионе на фоне глобального потепления климата обусловили снижение влагообеспеченности ЛП, замедление их разложения, выравнивание их толщины и запаса между отдельными типами леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антоник М.И., Босак В.Н. Почвенные условия дубовых насаждений юго-западной части Беларуси // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство. 2016. № 1. С. 97–101.
- Антоник М.И. Особенности почвенных условий дубрав Беловежской пуши // Почвоведение и агрохимия. 2012. № 2 (49). С. 74–81.
- Антоник М.И. Почвенно-грунтовые условия произрастания дубрав в Милевичском лесничестве Житковичского лесхоза // Труды БГТУ. Серия 1. Лесное хозяйство. 2007. Вып. 15. С. 201–204.
- Антоник М.И., Ефремов А.Л. Регрессионные модели взаимосвязи микробной биомассы и агрохимических свойств почв дубрав Беловежской Пуши // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2007. Вып. 67. С. 329–336.
- 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.
- Баканов С.С., Голыш Е.А., Козаченко М.А. Влияние лесных пожаров на мертвый напочвенный покров и почвы дубовых лесов Лысогорского лесничества Саратовской области: Мат-лы седьмой Всероссийской конференции по итогам

научно-исследовательской и производственной работы студентов за 2017–2018гг. Саратов, 2018. С. 18–21.

Беспалый А.А., Соколовский И.В. Пойменные дерново-карбонатные лесные почвы Национального парка «Припятский» // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2017. Вып. 77. С. 13–19.

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.

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.

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.

Гарбарук Д.К., Углянец А.В., Шумак С.В. Запасы лесных подстилок и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в черноольховых лесах зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1610–1620. doi: 10.31857/S0032180X22100318

Герасименко М.В., Соколовский И.В. Почвообразующие породы и свойства лесных почв суходольных дубрав Белорусского Полесья // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2008. Вып. 68. С. 365–369.

Горюнова А.В., Солонович И.А. Почвы грабовых дубрав Припятского заповедника // Заповедники Белоруссии. Исследования. 1978. Вып. 2. С. 21–30.

ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений». М.: Стандартинформ, 2006. 8 с.

Жицька Н.В., Хоменко О.М. Порівняльна характеристика процесів розкладання підстилки в природних та штучних лісових біогеоценозах // Наукові записки НаУКМА. 2011. Т. 119. С. 56–58.

Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата // Известия ВГО. 1962. Т. 94. Вып. 1. С. 65–70.

Исаев А.В., Захаров К.К., Богданов Г.А., Теплых А.А. Рельеф как основополагающий фактор в формировании пойменных почв: Мат-лы Междунар. науч.-техн. конф. «Лес-2005». Брянск, 2005. С. 96–100.

Кабанов С.В. Взаимосвязи запаса лесной подстилки с таксационными показателями дубовых низкоствольников // Лесной журнал. 1990. № 3. С. 13–17.

Каплина Н.Ф., Кулакова Н.Ю. Фитомасса и запасы углерода и азота в контрастных по продуктивности нагорных дубравах южной лесостепи // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 1 (86). С. 35–42.

Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность, 1981. 264 с.

Кирковский К.К. Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в сосновых и дубовых насаждениях Припятского заповедника: дис....канд. с.-х. наук: 06.03.03. Минск: Белорусский технологический институт им. С.М. Кирова, 1987. 20 с.

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.

Козлов А.Н. Характеристика почв в дубравах Красносамарского лесничества // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2006. № 7 (47). С. 80–86.

Кузьменков М.В., Кулагин А.П., Таркан А.В., Бузуновский Р.С. Таксационно-лесостроительный справочник. Минск: Лесное и охотничье хозяйство, 2019. 335 с.

Кулакова Н.Ю. Распределение запасов углерода и азота в лугово-каштановых почвах северного Прикаспия в естественных степных растительных сообществах и в лесных насаждениях // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2014. № 1. С. 47–56.

Куликов Я.К. Почвенные ресурсы. Минск: Вышэйшая школа, 2013. 319 с.

Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / Под ред. В.А. Ипатьева. Гомель: Речицкая укрупненная типография, 1999. 454 с.

Мирошников В.С., Труль О.А., Ермаков В.Е., Дольский Л.В., Костенко А.Г. Справочник таксатора. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.

Наумов В.Д., Поветкина Н.Л., Лебедев А.В., Гемоннов А.В. Оценка гумусового состояния дерново-подзолистых почв Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. 2019. Вып. 4. С. 5–18.

Переволоцкая Т.В. Вертикальная миграция ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных почвах под влиянием изменения уровня грунтовых вод // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2009. Вып. 69. С. 621–636.

Переволоцкий А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: Институт радиологии, 2006. 255 с.

Соколовский И.В., Беспалый А.А. Лесорастительные группы почв суходольных дубрав Белорусского Полесья // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2015. Вып. 75. С. 484–492.

Соколовский И.В., Юрениа А.В. Атлас морфологических признаков лесных почв Беларуси. Минск: Лесное и охотничье хозяйство, 2012. 135 с.

Соловьев С.В. Влияние свойств подстилки на формирование почв пойменных лесов среднего Днепра // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2007. № 15 (1). С. 169–175.
doi: 10.15421/010731

Солонович И.А. Пойменные прирусловые дубравы Припятского заповедника // Припятский заповедник. Исследования. 1976. С. 55–74.

Ульданова Р.А. Продуктивность и почвенные условия произрастания лесов правобережья реки

Волги Республики Татарстан: дис....канд. с.-х. наук: 06.03.02. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2017. 196 с.

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.

Юркевич И.Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.

Stocks of Forest Litter in the Oak Forests of the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone

A. V. Uglyanets¹, D. K. Garbaruk^{1, *}

¹*Polesye State Radiation-Ecological Reserve, Khoyniki, 247618 Belarus*

**E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru*

Forest litter plays a most important role in the migration of radioactive substances in biogeocenoses of the Chernobyl nuclear power plant exclusion zone. There is to date no information on the characteristics of litter in oak forests in this area. The aim of the study is to identify the main indicators of forest litter and factors influencing its accumulation in stands of the most common oak forests types (*Quercetum oxalidosum*, *Q. aegopodiosum*, *Q. subalveto-fluvialis* and *Q. graminoso-fluvialis*), occupying 61.1% of the oak forest formation in Belarusian sector of the Chernobyl NPP exclusion zone. It was found that the average values of their characteristics by forest types, obtained with an accuracy of 3.1–8.2%, vary in extremely narrow ranges: thickness – 1.7–2.9 cm, stocks – 1.6–2.7 kg m⁻², addition density – 0.08–0.11 g cm⁻³. The forest litter is loose, in comparison with other regions of Eastern Europe within the boundaries of the natural range of oak they are, as a rule, less thick and with a smaller mortmass stock. Their total stock in the Chernobyl exclusion zone is about 200 thousand tons of absolutely dry matter. The thickness and stock of forest litter's mortmass are very heterogeneous. They are characterized by high fluctuations in individual values and in average coefficients of variation (40–56%). The average values of thickness and stock differ significantly between most types of forests. These indicators are closely related to each other ($r = 0.76$). The density of the forest litter, despite the high coefficients of variation of average values (27–71%), is rather homogeneous. The formation of forest litters and their mortmass accumulation in the oak forests is determined by the cumulative effect of weather and climatic conditions, landscape, soil fertility and moisture and the quantity of forest litter with the leading role of soil moisture supply

Keywords: Chernobyl nuclear power plant's exclusion zone, oak forest, forest litter, thickness, stock, structural density.

Acknowledgements: The study has been carried out within the framework of the Programme for cooperation of Belarus and Russian Federation in population's protection and territories rehabilitation on areas suffered from the Chernobyl NPP catastrophe within the responsibility of the Republic of Belarus.

REFERENCES

Antonik M.I., Bosak V.N., Pochvennye usloviya dubovykh nasazhdenii yugo-zapadnoi chasti Belarusi (The soil conditions of the oak stands in the south-west part of

Belarus), *Trudy BGTU. Seriya 1. Lesnoe khozyaistvo*, 2016, No. 1, pp. 97–101.

Antonik M.I., Efremov A.L., Regressionnyye modeli vzaimosvyazi mikrobnoi biomassy i agrokhimicheskikh

- svoistv pochv dubrav Belovezhskoi Pushchi (Regression models of the relationship between microbial biomass and agrochemical properties of soils of oak groves of Belovezhskaya Pushcha), *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*, 2007, Issue 67, pp. 329–336.
- Antonik M.I., Osobennosti pochvennykh uslovii dubrav Belovezhskoi pushchi (The soils conditions of the oak-woods in Bieloviezhskaya puscha), *Pochvovedenie i agrokhimiya*, 2012, No. 2 (49), pp. 74–81.
- Antonik M.I., Pochvenno-gruntovye usloviya proizrastaniya dubrav v Milevichskom lesnichestve Zhitkovichskogo leskhoza (The soil conditions for growth of oak-woods in Milevichy forestry Zhitkovichy region), *Trudy BGTU. Seriya 1. Lesnoe khozyaistvo*, 2007, Issue 15, pp. 201–204.
- Atkina L.I., Atkin A.S., Osobennosti nakopleniya podstilok v lesnykh soobshchestvakh (Peculiarities of litter accumulation in forest communities), *Pochvovedenie*, 2000, No. 8, pp. 1004–1008.
- Atkina L.I., Starodubtseva N.I., Zapas i struktura lesnoi podstilki v sosnyakakh Dzhabyk-Karagaiskogo bora (Stock and structure of forest litter in the pine forests of Dzhabyk-Karagay pine forest), *Lesnaya Urala i khozyaistvo v nikh*, 2004, Issue 24, pp. 41–45.
- Bakanov S.S., Golysh E.A., Kozachenko M.A., Vliyanie lesnykh pozharov na mertvyi napochvennyi pokrov i pochvy dubovykh lesov Lysogorskogo lesnichestva Saratovskoi oblasti (Impact of forest fires on dead ground cover and soils of oak forests in Lysogorsky Forestry of Saratov region), Saratov, Proc. of the Seventh All-Russian Conf. on the results of research and industrial work of students in 2017, Saratov, pp. 18–21.
- Bespalyi A.A., Sokolovskii I.V., Poimennye dernovo-karbonatnye lesnye pochvy Natsional'nogo parka "Pripyatskii" (Riparian sod-calcareous forest soils of the National Park "Pripyatski"), *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*, 2017, Issue 77, pp. 13–19.
- Bogatyrev L.G., Demin I.I., Matyshak G.V., Sapozhnikova V.A., O nekotorykh teoreticheskikh aspektakh issledovaniya lesnykh podstilok (On some theoretical aspects of studying forest litters), *Lesovedenie*, 2004, No. 4, pp. 17–30.
- Brovka Y.A., Buyakov I.V., Izmenenie gidrotermicheskogo koeffitsienta i povtoryaemosti ekstremal'nykh uslovii uvlazhneniya na territorii Belarusi v period potepeniya klimata (Changes in the hydrothermal coefficient and in the frequency of extreme humidification conditions on the territory of Belarus during climate warming), *Prirodopol'zovanie*, 2020, No. 2, pp. 5–18.
- Garbaruk D.K., Uglyanets A.V., Shumak S.V., Zapasy lesnykh podstilok i sodержanie ^{137}Cs i ^{90}Sr v chernool'khovykh lesakh zony otchuzhdeniya Chernobyl'skoi atomnoi elektrostantsii (Forest litter stocks and content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the black alder forests of the Chernobyl nuclear power plant exclusion zone), *Pochvovedenie*, 2022, No. 12, pp. 1610–1620.
DOI: 10.31857/S0032180X22100318.
- Gerasimenko M.V., Sokolovskii I.V., Pochvoobrazuyushchie porody i svoistva lesnykh pochv sukhodol'nykh dubrav Belorusskogo Poles'ya (Soil-forming rocks and properties of forest soils of dry-land oak forests of the Belarusian Polesie), *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*, 2008, No. Issue 68, pp. 365–369.
- Goryunova A.V., Solonovich I.A., Pochvy grabovykh dubrav Pripyatskogo zapovednika (Soils of hornbeam oak forests of the Pripyatsky Reserve), *Zapovedniki Belorussii. Issledovaniya*, 1978, Issue 2, pp. 21–30.
- GOST 28268-89
- Isaev A.V., Zakharov K.K., Bogdanov G.A., Teplykh A.A., Rel'ef kak osnovopolagayushchii faktor v formirovani poimennykh pochv (Relief as a fundamental factor in the formation of floodplain soils), *Les-2005 (Forest-2005)*, Bryansk, Proc. of International Scientific-Technical Conf., Bryansk, pp. 96–100.
- Ivanov N.N., Pokazatel' biologicheskoi effektivnosti klimata, *Izv. Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva*, 1962, Vol. 94, pp. 65–70.
- Kabanov C.B., Vzaimosvyazi zapasa lesnoi podstilki s taksatsionnymi pokazatelyami dubovykh nizkostvol'nikov (Relationships of forest litter stock with taxation indices of low oak stands), *Lesnoi zhurnal*, 1990, No. 3, pp. 13–17.
- Kaplina N.F., Kulakova N.Y., Fitomassa i zapasy ugleroda i azota v kontrastnykh po produktivnosti nagornykh dubravakh yuzhnoi lesostepi (Phytomass and stocks of carbon and nitrogen in the upland oak groves contrasting in productivity in the southern forest-steppe), *Aridnye ekosistemy*, 2021, Vol. 27, No. 1 (86), pp. 35–42.
- Karpachevskii L.O., *Les i lesnye pochvy* (Forest and forest soils), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1981, 261 p.
- Kirkovskii K.K., *Biologicheskaya produktivnost' i krugovorot khimicheskikh elementov v sosnovykh i dubovykh nasazhdeniyakh Pripyatskogo zapovednika. Diss. kand. s.-kh. nauk* (Biological productivity and cycling of chemical elements in pine and oak plantations of the Pripyatsky Reserve. Extended abstract of Candidate's of agricult. sci. thesis), Minsk: Belorusskii tekhnologicheskii institut im. S.M. Kirova, 1987, 20 p.
- Kovyazin V.F., Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Anikin A.S., Minaev V.N., Belyaeva N.V., *Osnovy lesnogo khozyaistva i taksatsiya lesa* (Fundamentals of forestry and forest inventory), Saint Petersburg: Lan', 2010, 384 p.
- Kozlov A.N., Kharakteristika pochv v dubravakh Krasnosamarskogo lesnichestva (On characteristics of soil cover of Krasnosamarsky Forestry), *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya*, 2006, No. 7 (47), pp. 80–86.
- Kulakova N.Y., Raspredelenie zapasov ugleroda i azota v lugovo-kashtanovykh pochvakh severnogo Prikaspiya v estestvennykh stepnykh rastitel'nykh soobshchestvakh i v lesnykh nasazhdeniyakh (Distribution of carbon and nitrogen stocks in meadow-chestnut soils of the Northern Caspian in natural steppe plant communities and in forest plantations), *Vestnik VGU. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2014, No. 1, pp. 47–56.

- Kulikov Y.K., *Pochvennyye resursy* (Soil resources), Minsk: Vysheishaya shkola, 2013, 319 p.
- Kuz'menkov M.V., Kulagin A.P., Tarkan A.V., Buzunovskii R.S., *Taksatsionno-lesoustroitel'nyi spravochnik* (Taxation and forest management reference book), Minsk: Lesnoe i okhotnich'e khozyaistvo, 2019, 335 p.
- Les. Chernobyl'. Chelovek. Lesnye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoi AES: sostoyanie, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti rehabilitatsii* (Forest. Chernobyl. Human. Forest ecosystems after the Chernobyl disaster: state, forecast, reaction of the human population, ways of rehabilitation), Gomel': Izd-vo Instituta lesa NAN Belarusi, 1999, 454 p.
- Miroshnikov V.S., Trull' O.A., Ermakov V.E., Dol'skii L.V., Kostenko A.G., *Spravochnik taksatora* (Taxator's handbook), Minsk: Uradzhai, 1980, 360 p.
- Naumov V.D., Povetkina N.L., Lebedev A.V., Gemonov A.V., Otsenka gumusovogo sostoyaniya dernovo-podzolistykh pochv Lesnoi opytnoi dachi RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva (Evaluating the humus status of sod-podzolic soils of the RSAU-MTAA forest experimental district), *Izvestiya TSKhA*, 2019, Issue 4, pp. 5–18.
- Perevolotskaya T.V., Vertikal'naya migratsiya ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh pochvakh pod vliyaniem izmeneniya urovnya gruntovykh vod (Vertical migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest soils under the influence of groundwater level changes), *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*, 2009, Issue 69, pp. 621–636.
- Perevolotskii A.N., *Raspredelenie ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh biogeotsenozakh* (Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest biogeocenoses), Gomel: Institut radiologii, 2006, 255 p.
- Shcheglov A.I., *Biogeokhimiya 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.
- Sokolovskii I.V., Bepalyi A.A., Lesorastitel'nye gruppy pochv sukhodol'nykh dubrav Belorusskogo Poles'ya (Forest vegetation groups of soils in upland oak groves of Belarusian Polesye), *Problemy lesovedeniya i lesovodstva*, 2015, Issue 75, pp. 484–492.
- Sokolovskii I.V., Yurenaya A.V., *Atlas morfologicheskikh priznakov lesnykh pochv Belarusi* (Atlas of morphological features of forest soils in Belarus), Minsk: Lesnoe i okhotnich'e khozyaistvo, 2012, 135 p.
- Solonovich I.A., Poimennyye priruslovyie dubravy Pripyatskogo zapovednika (Floodplain streamside oak forests of the Pripyatsky Reserve), *Pripyatskii zapovednik. Issledovaniya*, 1976, pp. 55–74.
- Solov'ev S.V., Vliyanie svoystv podstilki na formirovaniye pochv poimennykh lesov srednego Dnepra (Influence of the litter features on pedogenesis in of the middle Dnipro flood-lands), *Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu. Biologiya. Ekologiya*, 2007, No. 15 (1), pp. 169–175.
DOI: 10.15421/010731
- Ul'danova R.A., *Produktivnost' i pochvennyye usloviya proizrastaniya lesov pravoberezh'ya reki Volgi Respubliki Tatarstan. Diss. kand. s.-kh. nauk* (Productivity and soil conditions of forests on the right bank of the Volga River in the Republic of Tatarstan. Candidate's of agricult. sci. thesis), Kazan: Kazanskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2017, 196 p.
- Vaichis M.V., Onyunas V.M., Tipy lesnykh podstilok i ikh svyaz' s pochvami i lesami v Yuzhnoi Pribaltike (Properties and an indicative role of forest litters), *Pochvovedenie*, 1977, No. 2, pp. 93–100.
- Yurkevich I.D., *Vydelenie tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* (Identification of forest types during forest management work), Minsk: Nauka i tekhnika, 1980, 120 p.
- Zhits'ka N.V., Khomenko O.M., Porivnyal'na kharakteristika protsesiv rozkladannya pidstilki v prirodnykh ta shtuchnykh lisovykh biogeotsenozakh (Comparative characteristics of forest litter decomposition in natural and artificial biocenoses), *Naukovi zapiski NaUKMA*, 2011, Vol. 119, pp. 56–58.