

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/16>

УДК 630.182.5:630.114.3



Динамика древесного опада в лесостепной зоне Воронежской области

Василий А. Славский¹✉, slavskiyva@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-6579-0344>

Дарья А. Литовченко¹, timashchuk90@mail.ru  <https://orcid.org/0000-0003-2973-7447>

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

Совершенствование системы превентивного управления лесопожарными рисками является глобальной проблемой в области охраны лесов. Вид возникшего пожара, его интенсивность и дальнейшее распространение на территории лесных экосистем определяются запасами и влажностью лесных горючих материалов. Одним из важнейших компонентов накопления горючих материалов в насаждениях являются параметры древесного опада (лесной подстилки). При этом, динамика накопления древесного опада, а также особенности насаждений, формирующих его структуру, учитывается недостаточно, как в действующих нормативных и правовых документах при определении класса природной пожарной опасности в лесах, так и при оценке лесопожарных рисков. В связи с этим, основной целью работы является составление табличной модели, характеризующей динамику накопления древесного опада в разновозрастных насаждениях, произрастающих различных типах лесорастительных условий на территории Воронежской области. Для измерения толщины лесной подстилки проведено натурное обследование и заложены временные пробные площадки в разновозрастных насаждениях. При подборе объектов исследования и проведении полевых работ применялись принципы сочетания случайной и систематической выборки, использованы общепринятые методики. Для оценки превентивной пожарной опасности в лесах проанализирован комплекс лесоводственно-биологических факторов лесопожарного риска в части накопления древесного опада. Установлено, что наиболее значимыми критериями для формирования общей массы лесной подстилки являются доля хвойных пород в составе ($F=18$) и диаметр кроны ($F=12$). Группа возраста насаждений ($F=9$) и тип лесорастительных условий ($F=6$) также оказывают существенное влияние на интенсивность накопления древесного опада. Составленная табличная модель динамики накопления древесного опада (толщины лесной подстилки) в чистых хвойных и смешанных древостоях с различной долей хвойных пород в составе, для насаждений различных групп возраста, произрастающих в разных ТЛУ позволяет использовать дистанционные методы при определении динамики накопления древесного опада. Выявлена прямая связь увеличения толщины лесной подстилки в зависимости от доли хвойных пород в составе, что является дополнительным критерием для повышения природной пожарной опасности в лесах. Также установлено, что лесная подстилка в сухих лесорастительных условиях накапливается медленнее, чем в свежих.

Ключевые слова: *древесный опад (лесная подстилка), лесные горючие материалы, тип лесорастительных условий, охрана лесов, природная пожарная опасность*

Финансирование: Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ ФЗУР-2024-0002) по теме «Разработка технологических решений, направленных на повышение эффективности лесопожарного мониторинга и детализацию оценки последствий лесных пожаров в условиях Центральной лесостепи».

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Славский В.А., Литовченко Д.А. Динамика древесного опада в лесостепной зоне Воронежской области // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 4 (60). – С. 276-293. – Библиогр.: с. 290-292 (21 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/16>.

Поступила 02.09.2025. *Пересмотрена* 05.10.2025. *Принята* 30.11.2025. *Опубликована онлайн* 26.12.2025

Article

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/16>

УДК 630*181.311.3



Dynamics of tree litter in the forest-steppe zone of the Voronezh region

*Vasiliy A. Slavskiy*¹✉, slavskiyva@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-6579-0344>

*Daria A. Litovchenko*¹, timashchuk90@mail.ru;  <https://orcid.org/0000-0003-2973-7447>

¹*Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation*

Abstract

Improving the system of preventive management of forest fire risks is a global problem in the field of forest protection. The type of fire that occurs, its intensity and further spread in the territory of forest ecosystems are determined by the reserves and humidity of forest combustible materials. One of the most important components of the accumulation of combustible materials in stands is the parameters of wood litter (forest litter). At the same time, the dynamics of accumulation and features of stands that form the structure of wood litter are not taken into account sufficiently, both in the current regulatory and legal documents when determining the class of natural fire hazard in forests and in assessing forest fire risks. In this regard, the main goal of the work is to compile a tabular model characterizing the dynamics of accumulation of wood litter in stands of different ages growing in different types of forest growth conditions in the Voronezh region. To measure the thickness of the forest litter, a field survey was carried out and temporary test sites were laid in stands of different ages. When selecting the objects of study and conducting field work, the principles of combining random and systematic sampling were used, and generally accepted methods were used. To assess the preventive fire hazard in forests, a set of silvicultural and biological factors of forest fire risk in terms of accumulation of wood litter was analyzed. It was found that the most significant criteria for the formation of the total mass of wood litter are the proportion of coniferous species in the composition ($F = 18$) and the crown diameter ($F = 12$). The age group of stands ($F = 9$) and the type of forest growing conditions ($F = 6$) also have a significant impact on the intensity of wood litter accumulation. The compiled tabular model of the dynamics of wood litter accumulation (forest litter thickness) in pure coniferous and mixed stands with different proportions of coniferous species in the composition, for stands of different age groups growing in different TLUs allows using remote sensing methods in determining the dynamics of wood litter accumulation. A direct connection between the increase in forest litter thickness and the proportion of coniferous species in the composition has been revealed, which is an additional criterion for increasing the natural fire hazard in forests. It has also been established that forest litter accumulates more slowly in dry forest conditions than in fresh ones.

Keywords: *wood litter (forest litter), forest combustible materials, type of forest growing conditions, forest protection, natural fire hazard*

Funding: The work was carried out within the framework of the implementation of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. FZUR-2024-0002) "Development of technological solutions aimed at increasing the efficiency of forest fire monitoring and detailing the assessment of the consequences of forest fires in the Central Forest-Steppe".

Acknowledgments: The authors thank the referees for their contribution to the peer review of the article.

Conflict of Interest: The authors have declared no conflict of interest.

For citation: Slavskiy V.A., Litovchenko D.A. (2025) Dynamics of tree litter in the forest-steppe zone of the Voronezh region. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 4 (60), pp. 281-298 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.4/16>.

Received 02.09.2025.

Revised 05.10.2025.

Accepted 30.11.2025. *Published online* 26.12.2025.

Введение

В лесных насаждениях, одновременно с приростом фитомассы первичной продукции древесной части (ствол, ветви, листья), происходит опад органического вещества, который аккумулирует накопление лесных горючих материалов (ЛГМ).

Возникновение и распространение лесных пожаров тесно связаны со структурой и состоянием напочвенного покрова и древесного опада (лесной подстилки) [1, 2]. Основными пирогенными характеристиками древесного опада, определяющими возникновение пожароопасной ситуации в лесах, влияющими на количество возгораний и легкость воспламенения, являются его мощность (высота) и видовой состав [3]. Эти параметры характеризуются высокой изменчивостью и коррелируют с расположением стволов деревьев, рельефом местности и наличием подлесочной растительности [4]. Кроме того, структура и влажность лесной подстилки динамичны во времени, зависят от возраста древостоя, разнообразия почвообразующих пород и особенностей напочвенного покрова [5].

Вид возникшего пожара, его интенсивность и дальнейшее распространение определяются запасами и влажностью горючих материалов, в т.ч.

параметрами лесной подстилки. Этот факт подтверждается в работах отечественных и зарубежных авторов: Н.П. Курбатского²⁰, В.В. Усени²¹, В.Г. Мамонтова и др. [7], Шахматова Е.Ю. [8], С.Н. Жаринова (с соавт.) [9], Р. Labenski (et. all) [10], Fu Zexin (et. all) [11] и мн. др. По данным Г. Я. Климчика [12, 13], ключевым показателем, который определяет способность горючего материала к возникновению загорания, является его влагосодержание, зависящее от лесорастительных условий и метеорологических факторов.

Несмотря на то, что лесная подстилка является важным фактором лесопожарного риска, динамика накопления и особенности насаждений, формирующих структуру древесного опада, учитывается недостаточно [14], как в действующих нормативных и правовых документах при определении класса природной пожарной опасности в лесах^{22 23}, так и при оценке лесопожарных рисков [15]. Основной причиной поверхностного учета параметров лесной подстилки является сложность их оценки и контроля. При дистанционных методах определение характеристик лесной подстилки зачастую невозможно из-за высокой сомкнутости крон древостоя [16], а наземное натурное обследование является излишне долговременным и трудоемким процессом [17, 18]. Следовательно,

²⁰ Курбатский Н.П. Итоги и перспективы исследования природы лесных пожаров. Горение и пожары в лесу. 1973; 9–26.

²¹ Усени В.В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: ИЛ НАН Беларуси. 2002; 206.

²² Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. № 287 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды». – URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_118509/ (дата обращения: 06.02.2025).

²³ Постановление Правительства РФ от 07 октября 2020 № 1614 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах». – URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_364560/ (дата обращения: 12.02.2025).

вопрос об определении характеристик древесного опада в различных условиях произрастания насаждений и изучении его влияния на возникновение пожароопасной ситуации в лесах, является актуальным в области совершенствования системы лесопожарного мониторинга.

Целью работы является составление табличной модели, характеризующей динамику

Материалы и методы

Для измерения толщины лесной подстилки проведено натурное обследование и заложены временные пробные площадки (ВПП) в разновозрастных насаждениях. Размер ВПП варьировал от 0,25 до 0,5 га, в зависимости от конфигурации и площади выдела.

Измерения осуществляли с использованием принципов сочетания случайной и систематической выборки, когда замеры толщины лесной подстилки на ВВП проводились линейкой, с точностью до 0,1 см, через каждые 5 м в пределах лесотаксационного выдела. Количество измерений составляло не менее 50 шт. на каждой ВПП. Замеры проводили в весенний период после полного листораспускания; следовательно, измерялась толщина слоя лесной подстилки, уплотнившегося под воздействием снегового покрова.

Кроме того, на ВПП определяли основные таксационные характеристики насаждения методом глазомерно-измерительной таксации²⁴. Диаметр кроны определяли по проекции в двух противоположных направлениях (С-Ю/З-В) у 3-х средних деревьев с каждой ступени толщины с помощью лазерного дальномера. Точность измерения – 0,5 м. Учитывалось количество подроста и подлеска по степени густоты и крупности²⁵.

Для определения типов лесорастительных условий (ТЛУ) использовали классификационную схему П.С. Погребняка [19]. Тип леса определяли по классификации В.Н. Сукачева [16].

накопления древесного опада в разновозрастных насаждениях, произрастающих различных типах лесорастительных условий на территории Воронежской области и определение уровней значимости лесоводственно-таксационных показателей при формировании лесной подстилки.

С помощью программы STATISTICA 13²⁶ и StatSoft 2,5 проведен статистический последовательный анализ на основе рекомендаций Б.А. Доспехова²⁷. Используются методы описательной статистики, корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа.

Оценку адекватности составленной регрессивной модели оценивали с помощью коэффициента детерминации R^2 и скорректированный R^2_{adj} . [20]. С помощью теста Колмогорова-Смирнова (D) проверили нормальность остатков (отклонений наблюдаемых значений от теоретических) в уравнениях линейной регрессии [21]. С помощью вычисленного фактора инфляции дисперсии (VIF) вычислили уровень мультиколлинеарности ($VIF = 1$ - отсутствие мультиколлинеарности; VIF между 1 и 5 - умеренная мультиколлинеарность; $VIF > 5$ - высокая мультиколлинеарность; $VIF > 10$ - серьезная мультиколлинеарность):

$$VIF = \frac{1}{1 - R^2} \quad (1)$$

где VIF – фактор инфляции дисперсии;
 R^2 – коэффициент детерминации, полученный путём регрессии этой независимой переменной против всех других независимых переменных в модели.

При проведении дисперсионного анализа, рассчитывали силу влияния действующего фактора на результирующий признак (1) и устанавливали их уровни значимости, а для проверки достоверности различий между средними значениями изучаемых

²⁴ ОСТ 56–69–83 Площади пробные лесоустойчивые. Методы закладки. М. 59 с.

²⁵ Приказ МПР РФ от 05 августа 2022 года № 510 «Об утверждении Лесоустойчивой инструкции» <https://docs.cntd.ru/document/351878696?ysclid=lmu9cw816i204569898>

²⁶ STATISTICA версия 13.0-StatSoft. (2021).

²⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник // М.: «Колос». 2011; 547.

факторов и определения их статистической значимости, использовали t-критерий Стьюдента, рассчитываемый по формуле (2):

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} \quad (2)$$

где M_1 – средняя арифметическая первой сравниваемой совокупности (группы);

M_2 – средняя арифметическая второй сравниваемой совокупности (группы);

m_1 – средняя ошибка первой средней арифметической;

m_2 – средняя ошибка второй средней арифметической.

Объекты исследований

Древесный опад, формирующий лесную подстилку, относится к наиболее быстро воспламеняющимся ЛГМ. В целях изучения

динамики накопления хвои (листвы) и корректировки класса природной пожарной опасности в лесах, необходимо определить толщину лесной подстилки. Для обеспечения репрезентативности выборки заложено более 100 временных пробных площадок (ВПП), расположенных в наиболее типичных для Воронежской области ТЛУ.

Исследованиями охвачены чистые хвойные древостои (доля сосны в составе 90-100%), смешанные хвойные древостои (доля сосны 50-80%), хвойно-лиственные древостои (доля сосны 30-40%), произрастающие в различных группах ТЛУ (сухие, свежие, влажные) и разделенные по группам возраста. Данные по местоположению ВПП (лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел) приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Сведения о местоположении ВПП, заложенных в чистых хвойных древостоях (квартал/выдел)

Table 1

Information on the location of the runway laid in pure coniferous stands (quarter/section)

Возраст/ТЛУ Age/FGC	A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	B ₂ B ₂	B ₃ B ₃	C ₂ C ₂	C _{2Д} C _{2D}
Молодняки Youngsters	35/11	36/12	33/12 48/18	108/20	48/3	3/24
Средневозрастные Middle aged	36/14	76/19 89/21	79/5 36/25	78/11	42/3	8/56
Приспевающие Coming soon	54/8 32/5	46/25	48/5 57/9	109/41	42/11 21/18	34/3
Спелые и перестойные Ripe and overripe	102/24	74/9 6/12	44/10 60/11	48/4 62/28	21/1	21/18

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Таблица 2

Сведения о местоположении ВПП, заложенных в смешанных хвойных древостоях (квартал/выдел)

Table 2

Information on the location of the runway laid in mixed coniferous forest stands (quarter/section)

Возраст/ТЛЮ Age/ FGC	A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	B ₂ B ₂	B ₃ B ₃	C ₂ C ₂	C ₂ Д C ₂ D
Молодняки Youngsters	35/14	77/39	79/13 85/14	108/2	28/11	12/3
Средневозрастные Middle aged	36/21 27/15	77/16 89/2	78/14 44/2	72/8	42/19 11/17	44/5
Приспевающие Coming soon	74/14 57/16	109/58 86/7	73/11 32/17	65/7 63/16	42/35 12/8	2/18 9/12
Спелые и перестойные Ripe and overripe	92/28	61/4	44/17 28/27	44/33	28/55	12/8

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Таблица 3

Сведения о местоположении ВПП, заложенных в хвойно-лиственных древостоях (квартал/выдел)

Table 3

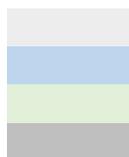
Information on the location of the runway laid in coniferous-deciduous forest stands (quarter/section)

Возраст/ТЛЮ Age/ FGC	A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	B ₂ B ₂	B ₃ B ₃	C ₂ C ₂	C ₂ Д C ₂ D
Молодняки Youngsters	–	66/7 47/9	37/23	98/26	6/4	39/17
Средневозрастные Middle aged	–	77/34	79/15 89/16	77/34	43/31 31/18	1/9 8/24
Приспевающие Coming soon	–	109/22 14/8	36/6 20/3	40/42	44/41 10/18	55/24 26/10
Спелые и перестойные Ripe and overripe	–	89/19	79/22 70/22	44/35	28/48 3/15	27/3 33/4

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Примечание: Цветом отмечены объекты, расположенные на территории:



- Левобережное участковое лесничество Пригородного лесничества
- Правобережное участковое лесничество Пригородного лесничества
- Животиновское участковое лесничество Пригородного лесничества
- Сомовское лесничество (без деления на участковые лесничества)

Результаты и обсуждение

Лесная подстилка в чистых хвойных насаждениях состоит из хвои, веток, коры и шишек. В хвойно-лиственных древостоях на толщину лесной подстилки в основном приходится на листья, ветки и хвою. Расчеты показали, что более высокие значения толщины лесной подстилки наблюдаются

в чистых хвойных древостоях, возрастая как по группам возраста – от молодняков до спелых и перестойных, так и с увеличением плодородности и богатства почв (таблица 4). Полученные значения по толщине лесной подстилки статистически достоверны, при сравнении по критерию Стьюдента (при $t \geq 1,96$) на уровне вероятности $p \leq 0,05$.

Таблица 4

Толщина лесной подстилки (см) с дифференциацией по группам возраста в насаждениях, произрастающих в различных типах лесорастительных условий на территории Центральной лесостепи

Table 4

Forest litter thickness (sm) differentiated by age groups in stands growing in different types of forest growth conditions in the Central Forest-Steppe

Группа возраста/ТЛУ Age group/FGC	A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	B ₂ B ₂	B ₃ B ₃	C ₂ C ₂	C ₂ D C ₂ D
Чистые хвойные (доля сосны 90-100%) Pure coniferous (pine content 90-100%)						
Молодняки* Youngsters	1,1±0,06	1,9±0,09	1,4±0,06	1,8±0,09	2,7±0,15	2,4±0,11
Средневозрастные Middle aged	2,6±0,12	2,9±0,11	2,8±0,12	2,6±0,12	3,6±0,15	3,5±0,16
Приспевающие Coming soon	3,4±0,17	3,7±0,17	3,5±0,16	3,1±0,15	4,2±0,19	4,3±0,20
Спелые и перестойные Ripe and overripe	4,0±0,17	4,4±0,19	4,6±0,21	3,6±0,15	4,6±0,22	4,7±0,22
Смешанные хвойные (доля сосны 50-80%) Mixed conifers (pine share 50-80%)						
Молодняки* Youngsters	1,0±0,05	1,3±0,06	1,8±0,08	1,8±0,08	2,5±0,11	2,3±0,10
Средневозрастные Middle aged	2,3±0,11	2,6±0,10	2,4±0,09	2,4±0,11	3,5±0,16	3,8±0,18
Приспевающие Coming soon	2,8±0,12	3,3±0,15	3,1±0,13	2,9±0,12	4,1±0,18	4,1±0,21
Спелые и перестойные Ripe and overripe	3,4±0,15	3,9±0,18	4,3±0,20	3,5±0,15	4,4±0,22	4,4±0,21
Хвойно-лиственные (доля сосны 30-40%) Coniferous-deciduous (pine share 30-40%)						
Молодняки* Youngsters	–	1,2±0,07	1,7±0,08	1,6±0,08	2,3±0,10	2,0±0,11
Средневозрастные Middle aged	–	1,8±0,08	2,3±0,09	2,2±0,11	3,2±0,14	3,2±0,14
Приспевающие Coming soon	–	2,2±0,10	2,8±0,12	2,9±0,15	3,6±0,13	3,6±0,14
Спелые и перестойные Ripe and overripe	–	2,6±0,12	3,0±0,13	3,1±0,18	3,6±0,15	3,7±0,12

* данной возрастной группе отмечен разброс средних значений в связи с наибольшей дисперсией действующего фактора и разница в 10 лет (в пределах возрастной группы) может существенно сказаться на итоговом результате.

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

При анализе толщины лесной подстилки выявлена очень высокая изменчивость признака (в насаждениях более старших возрастов, коэффициент изменчивости может превышать 50%). Так, в чистых сосновых приспевающих древостоях, произрастающих в ТЛУ В₂, наблюдается варьирование толщины лесной подстилки от 1,5 до 7,7 см, при среднем показателе 3,2 см. Помимо лесорастительных условий и породного состава насаждения, установлен ряд факторов, обуславливающих дисперсию, а именно: степень развитости (жизнеспособности) кроны, сомкнутость крон деревьев, характер напочвенного покрова, особенности рельефа и наличие микропонижений и т.д. Кроме того, на приствольных участках под

кронами деревьев сосны обыкновенной достоверно наблюдаются более высокая толщина лесной подстилки по сравнению с межкроновым пространством.

С увеличением расстояния от стволов деревьев снижается толщина лесной подстилки. Следовательно, распределение лесной подстилки по площади выдела может быть крайне неравномерным. Динамика толщины лесной подстилки в различных возрастных группах древостоя, произрастающих в разных типах лесорастительных условий представлена на рисунке 1.

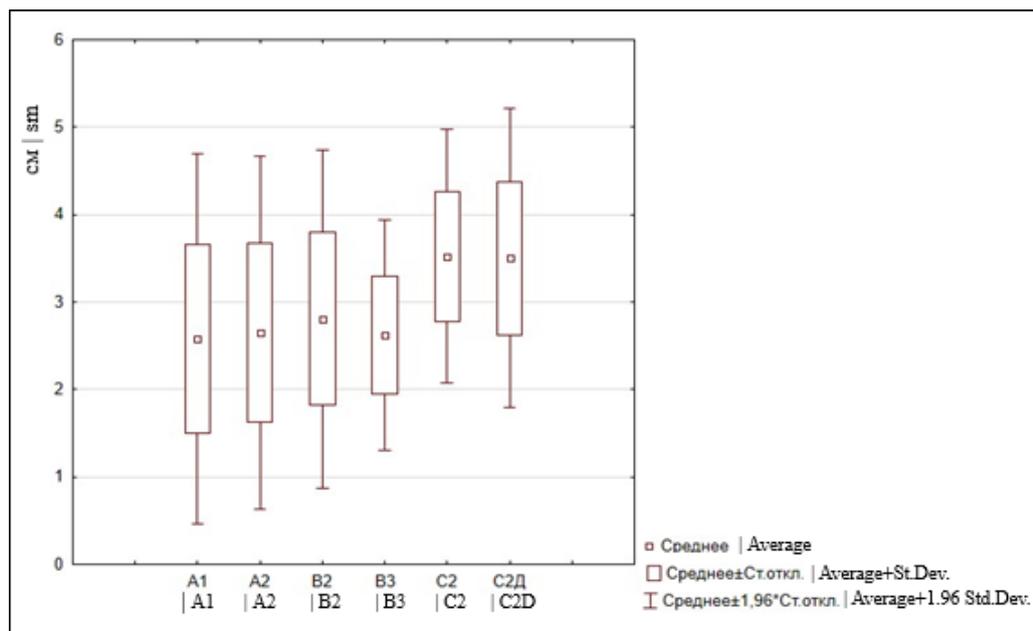


Рисунок 1. Варьирование толщины лесной подстилки в различных типах лесорастительных условий, см

Figure 1. Variation in forest litter thickness in different types of forest growing conditions, sm

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Нами отмечена тенденция увеличения толщины лесной подстилки в зависимости от плодородия почвы – в ТЛУ, расположенных в менее плодородных почвенных условиях, вне зависимости от возрастной группы, лесная подстилка была менее мощная, по сравнению с аналогичными по возрасту насаждениями, произрастающими на более тяжелых почвах. Минимальными значениями характеризуются условия сухого бора (A₁) – в среднем 2,5 см, а максимальными в свежих судубравах – в среднем около 3,5 см.

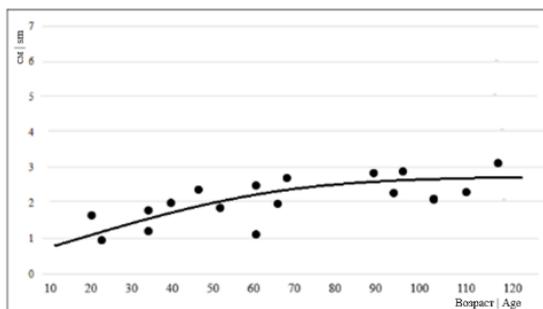
Увеличение толщины лесной подстилки от сухих условий произрастания к более влажным, выражено менее ярко, что свидетельствует о меньшей степени влияния влажности почвы на накопление древесного опада (рисунки 2-6).

Также на толщину лесной подстилки оказывает влияние мозаичность растительного покрова. В условиях свежего бора (A₂), где зачастую встречается скудный напочвенный покров, средняя толщина лесной подстилки примерно на 10 % ниже, чем в борах и суборах, в которых преобладают мхи

(рисунок 2). Мощность лесной подстилки в сосновых молодняках колеблется от 0,8 до 3,2 см в чистых древостоях, при этом в хвойно-лиственных древостоях аналогичного возраста (доля сосны 30-40%) данный показатель варьирует от 0,3 до 2,2 см (рисунок 3).

Следует отметить, что влажной субори (B₃) выявлена сопоставимая толщина лесной подстилки по сравнению с более сухими условиями, что обусловлено нетипичными условиями для произрастания чистых сосняков на территории Воронежской области (рисунок 4). При этом, диапазон варьирования в условиях сухого бора (A₁) выше – от 0,4 до 5,8 см, в то время как в условиях B₃ выявлена наименьшая изменчивость признака (коэффициент варьирования в среднем составляет 15 %).

Большая толщина лесной подстилки в сухих и свежих сосняках является одной из причин частого развития устойчивых низовых пожаров, приводящих к значительному повреждению и дальнейшей гибели древостоев.



а) | а)

б) | б)

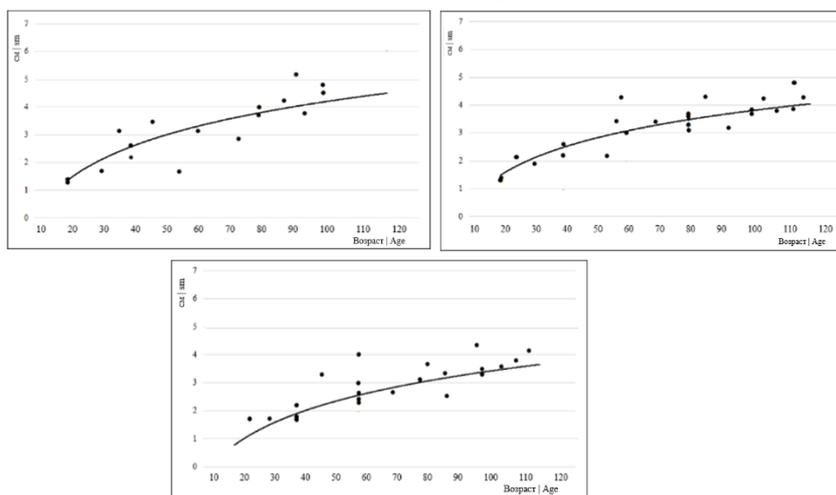
в) | в)

Рисунок 2. Динамика толщины лесной подстилки (см) в зависимости от возраста, в насаждениях, произрастающих в типе лесорастительных условий А₂: а) чистые хвойные (доля сосны 90-100%); б) с преобладанием хвойных (доля сосны 50-80%); в) с преобладанием лиственных (доля сосны 30-40%)

Figure 2. Dynamics of forest litter thickness (cm) depending on age, in stands growing in forest growth conditions type A₂: a) pure coniferous (pine share 90-100%); b) with a predominance of conifers (pine share 50-80%); c) with a predominance of deciduous (pine share 30-40%)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition



а) | а)

б) | б)

в) | в)

Рисунок 3. Динамика толщины лесной подстилки (см) в зависимости от возраста, в насаждениях, произрастающих в типе лесорастительных условий В₂: а) чистые хвойные (доля сосны 90-100%); б) с преобладанием хвойных (доля сосны 50-80%); в) с преобладанием лиственных (доля сосны 30-40%)

Figure 3. Dynamics of forest litter thickness (cm) depending on age, in stands growing in forest growth conditions type B₂: a) pure coniferous (pine share 90-100%); b) with a predominance of conifers (pine share 50-80%); c) with a predominance of deciduous (pine share 30-40%)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

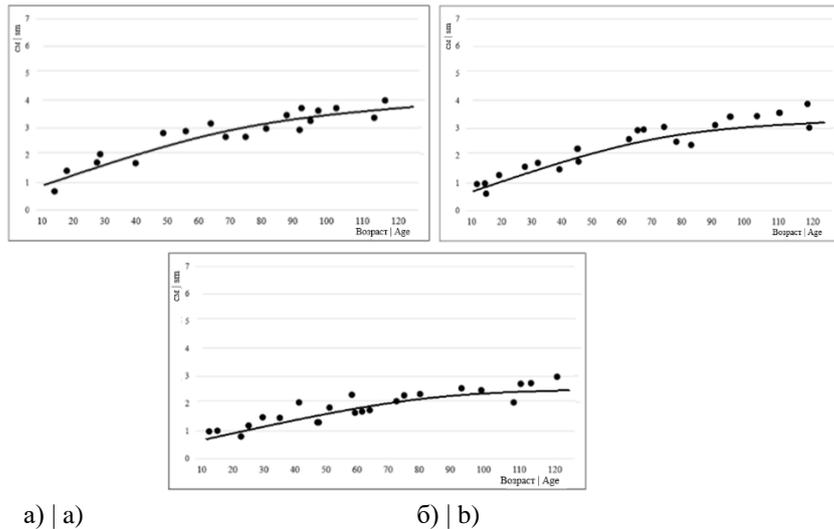


Рисунок 4. Динамика толщины лесной подстилки (см) в зависимости от возраста, в насаждениях, произрастающих в типе лесорастительных условий В3: а) чистые хвойные (доля сосны 90-100%); б) с преобладанием хвойных (доля сосны 50-80%); в) с преобладанием лиственных (доля сосны 30-40%)

Figure 4. Dynamics of forest litter thickness (cm) depending on age, in stands growing in forest growth conditions type B3: a) pure coniferous (pine share 90-100%); b) with a predominance of conifers (pine share 50-80%); c) with a predominance of deciduous (pine share 30-40%)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

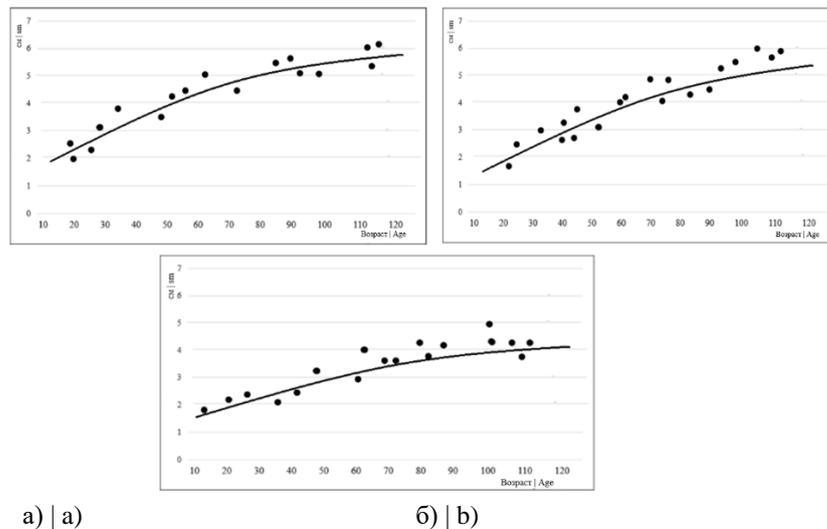


Рисунок 5. Динамика толщины лесной подстилки (см) в зависимости от возраста, в насаждениях, произрастающих в типе лесорастительных условий С2: а) чистые хвойные (доля сосны 90-100%); б) с преобладанием хвойных (доля сосны 50-80%); в) с преобладанием лиственных (доля сосны 30-40%)

Figure 5. Dynamics of forest litter thickness (cm) depending on age, in stands growing in forest growth conditions type C2: a) pure coniferous (pine share 90-100%); b) with a predominance of conifers (pine share 50-80%); c) with a predominance of deciduous (pine share 30-40%)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

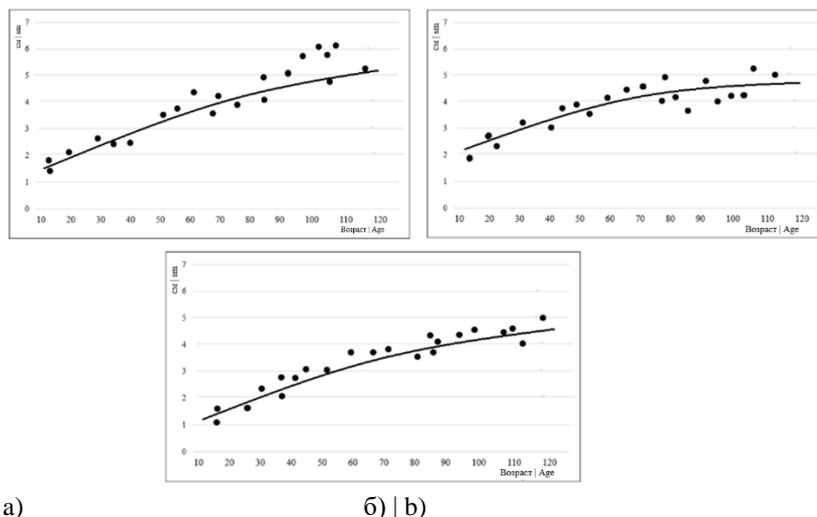


Рисунок 6. Динамика толщины лесной подстилки (см) в зависимости от возраста, в насаждениях, произрастающих в типе лесорастительных условий С₂Д: а) чистые хвойные (доля сосны 90-100%); б) с преобладанием хвойных (доля сосны 50-80%); в) с преобладанием лиственных (доля сосны 30-40%)

Figure 6. Dynamics of forest litter thickness (cm) depending on age, in stands growing in forest growth conditions type С₂Д: а) pure coniferous (pine share 90-100%); б) with a predominance of conifers (pine share 50-80%); в) with a predominance of deciduous (pine share 30-40%)

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Наибольшие средние значения изучаемого признака выявлены в свежих судубравах (С₂ и С₂Д) – около 3,5 см (рисунки 5 и 6). С учетом состава, возраста, полноты древостоя толщина лесной подстилки в данных ТЛУ может варьировать от 0,5 до 8,5 см.

При отсутствии напочвенного покрова, препятствующего горению, в данных ТЛУ возможно повышение рисков возникновения пожароопасной ситуации в лесах.

Для установления зависимости между толщиной лесной подстилки и возрастом древостоя и определения тесноты связи проведен корреляционный анализ. Выявлена высокая теснота связи при оценке накопления лесной подстилки с возрастом во всех изученных древостоях; коэффициент корреляции (r) составляет: в чистых хвойных (доля сосны 90-100%) – 0,77; в смешанных

хвойных (доля сосны 50-80%) – 0,80; в хвойно-лиственных (доля сосны 30-40%) – 0,73.

В сосновых молодняках в среднем мощность лесной подстилки равна 1,8 см, в средневозрастных насаждениях на отдельных участках возрастает до 4,1 см (при среднем значении 2,9 см), а к возрасту 100 лет (спелые древостои) толщина лесной подстилки значительно увеличивается и в чистых хвойных древостоях достигает 5,5 см.

Достоверно установлено по критерию Стьюдента ($t_{ф} \geq t_{ст}$), что в зависимости от увеличения доли хвойных пород составе древостоя повышается толщина лесной подстилки (рисунок 7). При этом, повышение риска возникновения пожароопасной ситуации в лесах связано не только с объемами накопления, но и с повышенной горючестью хвойного древесного опада по сравнению с лиственным.

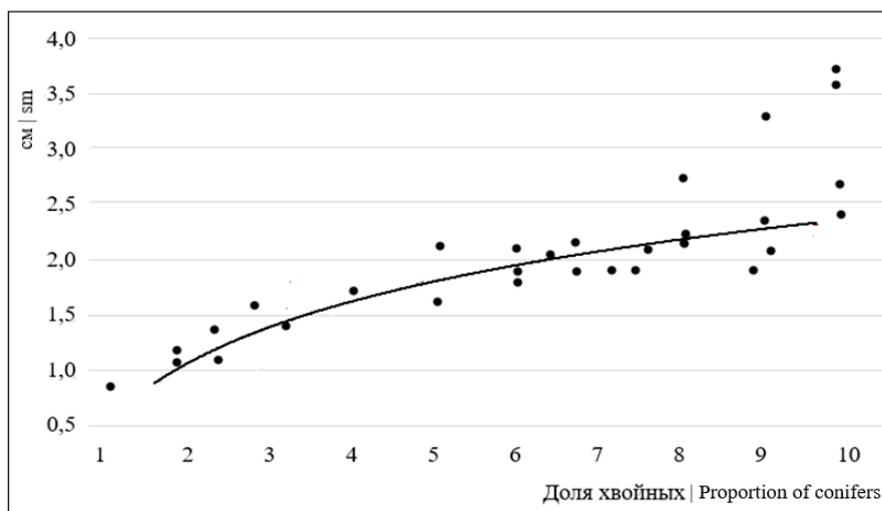


Рисунок 7. Зависимость толщины лесной подстилки от доли хвойных пород в составе древостоя
 Figure 7. Dependence of forest litter thickness on the proportion of coniferous species in the forest stand

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Следует отметить, что в наших исследованиях степень ослабления насаждений не оказала существенного влияния на толщину лесной подстилки, так как изначально были подобраны и изучены древостои, имеющие средневзвешенную категорию состояния не более 2,5 баллов²⁸. При этом на формирование опада могут оказывать влияние параметры диаметров крон деревьев и их сомкнутость, густота подроста и подлеска, развитие живого напочвенного покрова и другие лесоводственные факторы.

Исходя из этого, составлены регрессионные уравнения, отражающие зависимость накопления толщины лесной подстилки от основных лесоводственно-таксационных показателей в насаждениях разного породного состава. Кроме того, регрессионные уравнения дифференцированы в зависимости от принадлежности к возрастной группе – молоднякам (3, 7, 11), средневозрастным (4, 8, 12), приспевающим (5, 9, 13), а также спелым и перестойным (6, 10, 14) насаждениям. При проведении дистанционного зондирования Земли и дешифрировании снимков высокого пространственного разрешения, можно прямым

способом определить диаметр кроны и сомкнутость полога, что в дальнейшем позволит установить параметры, характеризующие мощность лесного древесного опада.

Чистые хвойные (доля сосны 90-100%):

$$\text{ЛП} = -0,382 + 0,733 \times \text{CB}^2 + 0,628 \times \text{CG}^2 + 0,539 \times \text{D}_k \quad (3)$$

$$R^2=0,74, p < 0,05, SE=0,0006$$

$$\text{ЛП} = -0,435 + 0,987 \times \text{CB}^2 + 0,797 \times \text{CG}^2 + 0,698 \times \text{D}_k \quad (4)$$

$$R^2=0,76, p < 0,05, SE=0,001$$

$$\text{ЛП} = -0,562 + 1,192 \times \text{CB}^2 + 0,886 \times \text{CG}^2 + 0,745 \times \text{D}_k \quad (5)$$

$$R^2=0,79, p < 0,05, SE=0,002$$

$$\text{ЛП} = -0,693 + 1,336 \times \text{CB}^2 + 0,962 \times \text{CG}^2 + 0,791 \times \text{D}_k \quad (6)$$

$$R^2=0,73, p < 0,05, SE=0,001$$

Смешанные хвойные (доля сосны 50-80%):

$$\text{ЛП} = -0,327 + 0,657 \times \text{CB}^2 + 0,533 \times \text{CG}^2 + 0,468 \times \text{D}_k \quad (7)$$

$$R^2=0,77, p < 0,05, SE=0,0005$$

$$\text{ЛП} = -0,420 + 0,785 \times \text{CB}^2 + 0,668 \times \text{CG}^2 + 0,535 \times \text{D}_k \quad (8)$$

$$R^2=0,79, p < 0,05, SE=0,003$$

²⁸ Постановление Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 года № 2047 «Об утверждении Правила санитарной безопасности в лесах». <https://docs.cntd.ru/document/573053313>

$$\text{ЛП} = -0,512 + 0,813 \times \text{СВ}^2 + 0,715 \times \text{СГ}^2 + 0,623 \times \text{D}_к \quad (9)$$

$$R^2=0,80, p < 0,05, SE=0,0002$$

$$\text{ЛП} = -0,598 + 0,987 \times \text{СВ}^2 + 0,849 \times \text{СГ}^2 + 0,703 \times \text{D}_к \quad (10)$$

$$R^2=0,75, p < 0,05, SE=0,001$$

Хвойно-лиственные (доля сосны 30-40%):

$$\text{ЛП} = -0,306 + 0,632 \times \text{СВ}^2 + 0,507 \times \text{СГ}^2 + 0,409 \times \text{D}_к \quad (11)$$

$$R^2=0,73, p < 0,05, SE=0,0003$$

$$\text{ЛП} = -0,389 + 0,705 \times \text{СВ}^2 + 0,583 \times \text{СГ}^2 + 0,488 \times \text{D}_к \quad (12)$$

$$R^2=0,80, p < 0,05, SE=0,002$$

$$\text{ЛП} = -0,447 + 0,787 \times \text{СВ}^2 + 0,674 \times \text{СГ}^2 + 0,575 \times \text{D}_к \quad (13)$$

$$R^2=0,77, p < 0,05, SE=0,0003$$

$$\text{ЛП} = -0,534 + 0,846 \times \text{СВ}^2 + 0,758 \times \text{СГ}^2 + 0,692 \times \text{D}_к \quad (14)$$

$$R^2=0,79, p < 0,05, SE=0,0001$$

где, ЛП – толщина лесной подстилки, см; СВ – сомкнутость вертикальная; СГ – сомкнутость горизонтальная; D_к – диаметр кроны, м.

В ходе проверки адекватности работы регрессионных уравнений установлено, что подобраны значимые по t-критерию Стьюдента переменные для расчета толщины лесной подстилки. Коэффициент детерминации (R²) находится в пределах от 0,73 до 0,80. Для более точной оценки качества уравнений регрессии нами рассчитан скорректированный R²_{adj}, который находится в пределах от 0,70 до 0,78. Для всех уравнений регрессии полученные значения по тесту Колмогорова–Смирнова (D) достоверно отличались от наблюдаемого (D > D_{критический} (0,25)). Полученные значения VIF >5, но <10 – выявлена значительная мультиколлинеарность (высокая корреляция между предикторами).

При проведении дисперсионного анализа выявлены достоверные различия между оценочными градациями лесной подстилки по толщине. В результате составлена шкала, дифференцированная по усредненным значениям и позволяющая использовать данные о толщине лесной подстилке при проведении дистанционного мониторинга (таблица 5).

Таблица 5

Оценочные градации для усредненных значений древесного опада (лесной подстилки)

Table 5

Evaluation gradations for average forest litter values

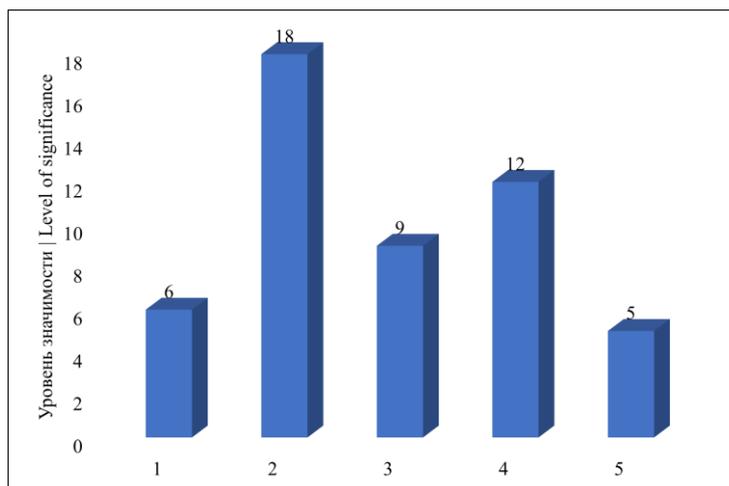
№ (t _n) N (t _n)	Градации по толщине Thickness gradations	Толщина подстилки, см Thickness of bedding, sm	(t _{1-n})	t _{st}
1	отсутствует absent	0,0-0,4	-	1,96
2	тонкая thin	0,5-2,0	2,12	1,96
3	средняя average	2,1-3,5	3,71	1,96
4	толстая thick	3,6-5,0	4,89	1,96
5	оч. толстая very thick	5,1 и более	≥6,65	1,96

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Для проведения детальной оценки влияния действующих факторов на резульативный признак проведен дисперсионный анализ, в ходе которого выявлены лесоводственно-таксационные

показатели, имеющие наибольший уровень значимости (F) для определения мощности древесного опада (рисунок 8).



Условные обозначения: 1 – тип лесорастительных условий, 2 – доля хвойных пород в составе, 3 – группа возраста, 4 – диаметр кроны (сомкнутость), 5 – таксационные характеристики (диаметр ствола, высота дерева, количество деревьев, густота подроста, подлеска).

Рисунок 8. Уровни значимости лесоводственно-таксационных характеристик в общей массе накопления древесного опада (лесной подстилки)

Legend: 1 – type of forest growing conditions, 2 – proportion of coniferous species in the composition, 3 – age group, 4 – crown diameter (density), 5 – taxation characteristics (trunk diameter, tree height, number of trees, density of undergrowth, undergrowth).

Figure 8. Levels of significance of silvicultural and taxation characteristics in the total mass of accumulated wood litter (forest litter)

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Если рассматривать комплекс лесоводственно-таксационных признаков насаждения, то наиболее значимыми для формирования общей массы древесного опада являются доля хвойных пород в составе ($F=18$) и диаметр кроны ($F=12$). Тип лесорастительных условий ($F=6$) и группа возраста насаждений ($F=9$) также оказывают существенное влияние на интенсивность накопления древесного опада.

Для оценки превентивной пожарной опасности в лесах необходимо проанализировать комплекс лесоводственно-биологических факторов и выявить ключевые параметры, способствующие возникновению пожаров. Следовательно, особую актуальность приобретает организация оперативно работающей системы детальной оценки пожарной опасности территорий, учитывающая лесоводственно-биологические особенности лесов и состояние растительности.

Заключение

1. На основе материалов натурного обследования, составлена табличная модель динамики накопления древесного опада (толщины лесной подстилки) в чистых хвойных и смешанных древостоях с различной долей хвойных пород в составе, для насаждений различных групп возраста, произрастающих в разных ТЛУ. Данная модель позволит учитывать накопление древесного опада при проведении лесопожарного мониторинга и скорректировать уровень риска возникновения пожароопасной ситуации в лесах.

2. Выявлена прямая корреляция увеличения толщины лесной подстилки в зависимости от доли хвойных пород в составе – в разрезе различных возрастных групп $r=0,73\dots 0,80$. Кроме того, увеличение риска возникновения пожароопасной ситуации в лесах связано не только с объемами накопления, но и с повышенной горючестью хвойного древесного опада, что является

дополнительным критерием для повышения природной пожарной опасности на лесных участках с повышенным содержанием хвойного древесного опада. Также установлено, что объемы лесной подстилки в сухих лесорастительных условиях накапливаются медленнее, чем в свежих.

3. На основе экспериментальных данных разработана оценочная шкала для усредненных значений толщины лесной подстилки, позволяющая использовать дистанционные методы при

определении динамики накопления древесного опада.

4. Составлены регрессионные уравнения, отражающие зависимость толщины лесной подстилки от основных лесоводственно-таксационных показателей, обеспечивающие высокую степень аппроксимации по t-критерию Стьюдента – коэффициент детерминации (R^2) находится в пределах от 0,65 до 0,89.

Список литературы

1. Slavskiy V., Litovchenko D. Matveev S. Sheshnitsan S. Larionov M.V Assessment of Biological and Environmental Factors Influence on Fire Hazard in Pine Forests: A Case Study in Central Forest-Steppe of the East European Plain. *Land*. 2023; 12: 103. – DOI: 10.3390/land12010103
2. Kumar G., Kumar A., Saikia P., Roy P.S., Khan M.L. Ecological impacts of forest fire on composition and structure of tropical deciduous forests of central India. *Phys. Chem. Earth*. 2022; 128: 103240. – DOI:10.1016/j.pce.2022.103240
3. Лиханова И.А., Денева С.В., Холопов Ю.В, Рудь Е.А., Е.А. Скребенков, Лаптева Е.М. Особенности лесных подстилок в разных типах среднетаёжных лесов // Теоретическая и прикладная экология. – 2024. – № 2. – С. 72-81. – DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-072-081
4. Van The Pham, Tuyet Anh Thi Do, Hau Duc Tran, Anh Ngoc Thi Do. Classifying forest cover and mapping forest fire susceptibility in Dak Nong province, Vietnam utilizing remote sensing and machine learning. *Ecological Informatics*. 2024; 79: 102392. – DOI: 10.1016/j.ecoinf.2023.102392.
5. Аксенов С.Г., Леткина О.Г. Пирогенное воздействие на растительный покров // Научный аспект. – 2024. – Т. 3 (6). – С. 336-342. – URL: <https://elibrary.ru/qiwovn/>
6. Vilaplana D.F., Lucas-Borja M.E., Soria R., Miralles I., Ortega R., Abdenni S., Carmona-Yáñez M.D., Plaza-Alvarez P.A., Santana V.M., Zema D.A. One-year effects of stand age, pre-fire treatments, and hillslope aspect on recovery of plant diversity and soil properties in a Mediterranean forest burnt by a severe wildfire. *Forest Ecology and Management*. 2024; 566: 122068. – DOI: 10.1016/j.foreco.2024.122068.
7. Мамонтов В.Г., Савичев А.Т., Ефимов О.Е. Сравнительная характеристика лесных подстилок дерново-подзолистых почв Лесной опытной дачи РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2022. – Т. 111. – С. 185-204. – DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-185-204
8. Шахматова Е.Ю., Убугунов Л.Л., Сымпилова Д.П. Послепожарные трансформации в сосновых лесах селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // География и природные ресурсы. – 2021. – Т. 42 (1). – С. 65-72. – DOI: 10.15372/GIPR20210108
9. Жаринов С.Н., Голубева Е.И., Зимин М.В. Концептуальные основы организации охраны лесов от пожаров // Вопросы лесной науки. – 2020. – Т. 3 (3). – С. 1-8. – DOI: 10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-8.
10. Labenski P., Ewald M., Schmidlein S., Ewald Fassnacht F. Classifying surface fuel types based on forest stand photographs and satellite time series using deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 29 April. 2022; 102799. – DOI: 10.1016/j.jag.2022.102799.
11. Zexin Fu, Adu Gong, Jinhong Wan, Wanru Ba, Haihan Wang, Jiaming Zhang. Forest fire risk assessment model optimized by stochastic average gradient descent. *Ecological Indicators*. 2025; 170: 113006. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2024.113006.
12. Климчик Г. Я., Шалимо П. В., Бельчина О. Г. Оценка косвенного ущерба от лесных пожаров в сосняках // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. – 2024. – Т. 1 (276). – С. 31–38. – DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-4.
13. Климчик Г. Я. Влияние лесных пожаров на запасы подстилки и потери элементов питания // Лесное хозяйство: материалы 88-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных

- сотрудников и аспирантов, Минск, 24 января–16 февраля 2024 г. – Минск : БГТУ. – 2024. – С. 146-148. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=lxkjlс>.
14. Славский В.А., Матвеев С.М., Мироненко А.В., Литовченко Д.А. Совершенствование методологии дистанционного мониторинга пожарной опасности в лесах // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2024. Т. 3. – С. 113–131. – DOI: 10.21178/2079-6080.2024.3.113.
 15. Иванов С.А. Системный анализ факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров в Северо-Западном федеральном округе // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – Т. 4. – С. 26–34. – DOI: 10.24143/2073-5529-2022-4-26-34.
 16. Slavskiy V., Matveev S., Sheshnitsan S., Litovchenko D., Larionov M.V., Shokurov A., Litovchenko P., Durmanov N. Assessment of Phytomass and Carbon Stock in the Ecosystems of the Central ForestSteppe of the East European Plain: Integrated Approach of Terrestrial Environmental Monitoring and Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles. *Life*. 2024; 14: 632. – DOI: 10.1051/bioconf/202414502013.
 17. Славский В.А., Матвеев С.М. Некоторые аспекты закладки пробных площадей при проведении государственной инвентаризации лесов // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – 1(41). – С. 56-63. – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5.
 18. Ivanova N., Fomin V., Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics. *Sustainability*. 2022; 14: 3384. – DOI:10.3390/su14063384
 19. Мигунова Е.С. Лесная типология Г.Ф. Морозова – А.А. Крюденера – П.С. Погребняка – теоретическая основа лесоводства // Лесной вестник. *Forestry Bulletin*. – 2017. – Т. 21 (5). – С. 52–63. – DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-52-63
 20. Шевелина И.В., Нуриев Д.Н. Статистическая обработка лесоводственно-таксационной информации в среде STATISTICA. Екатеринбург: УГЛУТУ. – 2022. – 112 с. – URL: <https://elibrary.ru/PCJKNN>
 21. Sheldon M. Ross 11-Statistical validation techniques. *Simulation (Sixth edition)*. 2023; 255-277. – DOI: 10.1016/B978-0-32-385738-3.00016-X

References

13. Slavskiy V., Litovchenko D. Matveev S. Sheshnitsan S. Larionov M.V Assessment of Biological and Environmental Factors Influence on Fire Hazard in Pine Forests: A Case Study in Central Forest-Steppe of the East European Plain. *Land*, 2023; 12: 103. – DOI: <https://doi.org/10.3390/land12010103>.
14. Kumar G., Kumar A., Saikia P., Roy P.S., Khan M.L. Ecological impacts of forest fire on composition and structure of tropical deciduous forests of central India. *Phys. Chem. Earth*, 2022; 128: 103240. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103240>.
15. Lihanova I.A., Deneva S.V., Holopov Ju.V, Rud' E.A., E.A. Skrebenkov, Lapteva E.M. Osobennosti lesnyh podstilok v raznyh tipah srednetajozhnyh lesov [Features of forest litter in different types of middle taiga forests]. *Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija*, 2024; 2: 72-81. – DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2024-2-072-081>.
16. Van The Pham, Tuyet Anh Thi Do, Hau Duc Tran, Anh Ngoc Thi Do. Classifying forest cover and mapping forest fire susceptibility in Dak Nong province, Vietnam utilizing remote sensing and machine learning. *Ecological Informatics*, 2024; 79: 102392. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102392>.
17. Aksenov S.G., Letkina O.G. Pirogennoe vozdejstvie na rastitel'nyj pokrov [Pyrogenic effect on vegetation]. *Nauchnyj aspekt*. 2024; 3; 6: 336-342.
18. Vilaplana D.F., Lucas-Borja M.E., Soria R., Miralles I., Ortega R., Abdennbi S., Carmona-Yáñez M.D., Plaza-Alvarez P.A., Santana V.M., Zema D.A. One-year effects of stand age, pre-fire treatments, and hillslope aspect on recovery of plant diversity and soil properties in a Mediterranean forest burnt by a severe wildfire. *Forest Ecology and Management*. 2024; 566: 122068. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122068>.
19. Mamontov V.G., Savichev A.T., Efimov O.E. Sravnitel'naja harakteristika lesnyh podstilok dernovo-podzolistyh pochv Lesnoj opytnoj dachi RGAU–MSHA imeni K.A. Timirjazeva [Comparative characteristics of forest litter of sod-podzolic

- soils of the Forest Experimental Dacha of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev]. *Bulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2022; 111: 185-204. – DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-185-204>.
20. Shahmatova E.Ju., Ubugunov L.L., Sympilova D.P. Poslepozharnye transformacii v sosnovyh lesah selenginskogo srednegor'ja (Zapadnoe Zabajkal'e) [Post-fire transformations in pine forests of the Selenga midlands (Western Transbaikalia)]. *Geografija i prirodnye resursy*. 2021; 42; 1: 65-72. – DOI: <https://doi.org/10.15372/GIPR20210108>.
 21. Zharinov S.N., Golubeva E.I., Zimin M.V. Konceptual'nye osnovy organizacii ohrany lesov ot pozharov [Conceptual foundations for organizing forest fire protection]. *Voprosy lesnoj nauki*. 2020; 3; 3: 1-8. – DOI: <https://doi.org/10.31509/2658-607x-2020-3-3-1-8>.
 22. Labenski P., Ewald M., Schmidtlein S., Ewald Fassnacht F. Classifying surface fuel types based on forest stand photographs and satellite time series using deep learning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 29 April. 2022: 102799. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102799>.
 23. Zexin Fu, Adu Gong, Jinhong Wan, Wanru Ba, Haihan Wang, Jiaming Zhang. Forest fire risk assessment model optimized by stochastic average gradient descent. *Ecological Indicators*. 2025; 170: 113006. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.113006>.
 24. Klimchik G. Ja., Shalimo P. V., Bel'china O. G. Ocenka kosvennogo ushherba ot lesnyh pozharov v sosnjakah [Estimation of indirect damage from forest fires in pine forests]. *Trudy BGTU. Ser. 1, Lesnoe hoz-vo, prirodnopol'zovanie i pererab. vozobnovljaemyh resursov*. 2024; (276): 31–38. – DOI: <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2024-276-4>.
 25. Klimchik G.Ja., Bel'china O.G. Vlijanie lesnyh pozharov na zapasy podstilki i poteri jelementov pitaniya [The impact of forest fires on litter supply and nutrient losses]. *Lesnoe hozjajstvo: materialy 88-j nauchno-tehnicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnyh sotrudnikov i aspirantov, Minsk, 24 janvarja–16 fevralja 2024 g.* – Minsk: BGTU. 2024: 146-148.
 26. Slavskiy V.A., Matveev S.M., Mironenko A.V., Litovchenko D.A. Sovershenstvovanie metodologii distancionnogo monitoringa pozharnoj opasnosti v leash [Improving the methodology of remote monitoring of forest fire hazards]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva*. 2024; 3: 113–131. – DOI: <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2024.3.113>.
 27. Ivanov S.A. Sistemnyj analiz faktorov, vlijajushhih na vznikovenie lesnyh pozharov v Severo-Zapadnom federal'nom okruge [A systems analysis of factors influencing the occurrence of forest fires in the Northwestern Federal District]. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika i informatika*. 2022; 4: 26–34.
 28. Slavskiy V., Matveev S., Sheshnitsan S., Litovchenko D., Larionov M.V., Shokurov A., Litovchenko P., Durmanov N. Assessment of Phytomass and Carbon Stock in the Ecosystems of the Central ForestSteppe of the East European Plain: Integrated Approach of Terrestrial Environmental Monitoring and Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles. *Life*. 2024; 14: 632. – DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202414502013>.
 29. Slavskiy V.A., Matveev S.M. Nekotorye aspekty zakladki probnyh ploshhadej pri provedenii gosudarstvennoj inventarizacii lesov [Some aspects of laying out test plots during the state forest inventory]. *Lesotehničeskij zhurnal*. 2021; 11; 1(41): 56-63. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.1/5>.
 30. Ivanova N., Fomin V., Kusbach A. Experience of Forest Ecological Classification in Assessment of Vegetation Dynamics. *Sustainability*. 2022; 14: 3384. – DOI:10.3390/su14063384
 31. Migunova E.S. Lesnaja tipologija G.F. Morozova – A.A. Krjudenera – P.S. Pogrebnjaka – teoreticheskaja osnova lesovodstva [Forest typology of G.F. Morozov – A.A. Krudener – P.S. Pogrebnjak – theoretical basis of forestry]. *Lesnoj vestnik. Forestry Bulletin*. 2017; 21; 5: 52–63. – DOI: <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2017-5-52-63>.
 32. Shevelina I.V., Nuriev D.N. Statisticheskaja obrabotka lesovodstvenno-taksacionnoj informacii v srede STATISTICA [Statistical processing of forestry and taxation information in the STATISTICA environment]. *Ekaterinburg: UGLTU*. 2022: 112.
 33. Sheldon M. Ross 11-Statistical validation techniques. *Simulation (Sixth edition)*. 2023: 255-277. – DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-32-385738-3.00016-X>.

Сведения об авторах

✉ *Славский Василий Александрович* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация; 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>; e-mail: slavskiyva@yandex.ru.

Литовченко Дарья Андреевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Российская Федерация; 394087, e-mail: timashchuk90@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Vasiliy A. Slavskiy* – DSc (Agricultural Sciences), Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8 Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6579-0344>, e-mail: slavskiyva@yandex.ru.

Daria A. Litovchenko – Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Forestry, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: timashchuk90@mail.ru.

✉ – Для контактов /Corresponding author