

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/4>

УДК 630*114.351



Количественная оценка сезонного растительного опада в Воронежской нагорной дубраве

Инна В. Голядкина ✉, golyadkina@vgtu.post.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>
Геннадий А. Одноралов, kafedra.laip@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>
Елена Н. Тихонова, tichonova-9@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>
Татьяна Л. Шешнищан, tatianasheshnitsan@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-2288-4929>
Анастасия А. Сафонова, anastasi.safonova18@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-0488-1963>

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

Отмирающая фитомасса – важнейшее звено обмена в системе связей между растительностью и почвой. Так, часть органов древесных растений и травяного покрова дубрав постоянно отмирает (листья, генеративные органы, отмершие ветви, отслоившиеся фрагменты коры и т.д.). Эти процессы в сумме называются растительным опадом, который представляет собой поток, переводящий органическое вещество из фитомассы в мортмассу. Цель данной работы – изучение особенностей формирования сезонного растительного опада в условиях старовозрастной нагорной дубравы. Полевые работы проводились на мониторинговых постоянных пробных площадях, расположенных на территории полигона “FOR&ST CARBON” в Воронежской области. Тип леса – дубрава осоко-снытьевая, состав древостоя 3Д5Лп3КлО. Напочвенный покров насаждения насчитывает 17 видов растений, при этом доля данного биогеогоризонта в сезонном растительном опадом составляет порядка 16.5 %. Но за счет высокой динамичности в частном цикле биологического круговорота дубравы – травяной покров-почва вовлекается значительное количество углерода и азота. При количественной оценке опада живого напочвенного покрова в дубраве необходимо учитывать различия в приствольном и подкроновом пространстве, а также проводить учет фитомассы эфемероидов, так как растительный опад эфемероидов сопоставим с растительным опадом широколиственной. Как показали результаты исследований в сезонном древесном опадом доля быстроминерализующейся листовой фракции варьирует от 31.1 до 95.4 %, а медленно минерализующийся веточный опад не превышает 10 %. За период с августа по ноябрь с древесным опадом было вынесено 1870.12 кг С/га. При этом, как и ожидалось, максимум приходится на осенний период, пиком является октябрь, в течении которого в дубраве осаждается 1416.4 кг С/га, что составляет 75 % от учтенного за весь период запаса углерода.

Ключевые слова: растительный опад, лесная подстилка, живой напочвенный покров, углерод, нагорная дубрава, Центральная лесостепь

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 123102700029-3 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)»

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Количественная оценка сезонного растительного опада в Воронежской нагорной дубраве / И. В. Голядкина, Г. А. Одноралов, Е. Н. Тихонова, Т. Л. Шешницан, А. А. Сафонова // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 3 (55). – С. 61–74. – Библиогр.: с. 70–73 (24 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/4>.

Поступила 23.09.2024 Пересмотрена 19.10.2024. Принята 20.10.2024. Опубликована онлайн 11.11.2024

Article

Quantitative assessment of seasonal plant litter of Voronezh upland oak forest

Inna V. Golyadkina✉, golyadkina@vgltu.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>

Gennadii A. Odnorolov, kafedra.laip@inbox.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>

Elena N. Tikhonova, tichonova-9@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>

Tatiana L. Sheshnitsan, tatianasheshnitsan@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0006-2288-4929>

Anastasia A. Safonova, anastasi.safonova18@gmail.com,  <http://orcid.org/0000-0002-0488-1963>

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

Abstract

Decomposable plant mass is the most important link in the system of communication between vegetation and soil. Thus, part of the tree plant organs and ground cover vegetation of the oak forest is constantly dying (leaves, generative organs, branches, bark fragments, etc.). These processes are collectively called plant litter, which is the flow of organic matter from phytomass to mortmass. The aim of this work is to study the characteristics of seasonal plant litter formation in conditions of old age upland oak forest. Field work was conducted on monitoring permanent test sites located on the territory of "FOR&ST CARBON" in Voronezh region. Type of forest – oak, composition of the trees – *Quercus Robur* L., *Tilia Cordata* Mill., *Acer Platanoides* L. The ground cover vegetation of the plantation counts 17 species of plants, with a share of this biogeohorizon in seasonal vegetation is about 16.5%. Due to the high dynamics in the biological cycle, a significant amount of carbon and nitrogen is involved in the grass cover vegetation. When measuring the plant litter of ground cover vegetation in oak forest, it is necessary to take into account the exfoliation in the near trunk and under crown areas, as well as to count the phytomass of ephemeroids, since the vegetative litter of ephemeroids is comparable with the vegetative litter of other grasses. The results of the studies in seasonal plant litter assessment showed that the proportion of rapidly mineralizing leaf fraction ranges from 31.1 to 95.4% and the slowly mineralizing branch fraction does not exceed 10%. Between August and November, 1870.12 kg C/ha were carried with plant litterfall. As expected, maximum is in the autumn period, peak is October, during which in oak forest is laid 1416.4 kg C/ha, which is 75% of the recorded for the entire period of carbon stock.

Keywords: *plant litter, forest litter, litterfall, ground cover vegetation, carbon, upland oak forest, Central Forest Steppe*

Funding: publication was prepared as part of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation 123102700029-3 «Biogeochemical monitoring of carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)»

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Golyadkina I. V., Odnoralov G. A., Tikhonova E. N., Sheshnitsan T. L., Safonova A. A. (2024). Quantitative assessment of seasonal plant litter of Voronezh upland oak forest. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 14, No. 3 (55), pp. 61-74 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/4>.

Received 23.09.2024. *Revised* 19.10.2024. *Accepted* 20.10.2024. *Published online* 11.11.2024.

Введение

Лесной фитоценоз является единственным образователем первичного органического вещества или чистой первичной продукции фотосинтеза и накопителем растительной массы. Наряду с процессами накопления биомассы в лесных сообществах, непрерывно происходят процессы разрушения (отмирания). Отмирающая фитомасса – важнейшее звено обмена в системе связей между растительностью и почвой. Так, часть органов древесных растений и травяного покрова дубрав постоянно отмирает (листья, генеративные органы, отмершие ветви, отслоившиеся фрагменты коры и т.д.). Эти процессы в сумме называются растительным опадом, который представляет собой поток, переводящий органическое вещество из фитомассы в мортмассу.

В данной работе к растительному опад (мортмассе) отнесены лесная подстилка, надземный опад древесных растений и живого напочвенного покрова. Ниже приводятся определения данных терминов в соответствии с "ОСТ 56-108-98. Стандарт отрасли. Лесоводство. Термины и определения" (утв. и введен в действие Приказом Рослесхоза от 03.12.1998 N 203). Лесная подстилка – напочвенный слой, образующийся в лесу из растительного опада разной степени разложения. Растительный опад – опавшие части растений, в том числе листья, хвоя, ветви, сучья, плоды, кора и др. В лесной экосистеме подразумевается, преимущественно, древесный опад, поступивший на поверхность почвы. Живой напочвенный покров – совокупность мхов, лишайников, травянистых растений, кустарничков и полукустарничков, произрастающих на лесопокрытых и лесонепокрытых землях.

Характерной особенностью формирования растительного опада является его мозаичность, которая возникает в результате специфического влияния древесных пород, различной плотности и сомкнутости крон, микрорельефа, воздействия человека и т.д. [12, 14, 16].

Так, в работах И.М. Рыжовой и др. (2022) [8], В.М. Телесниной и др. (2024) [10] рассматривается пространственная вариабельность запасов углерода в почвах лесных экосистем европейской территории России. Авторы отмечают, что коэффициент вариации для лесных подстилок достаточно высокий и составляет 69-83 % и объясняют это, прежде всего, наличием элементов горизонтальной структуры биогеоценоза (парцеллами), количество которых в смешанных и низкополнотных насаждениях может достигать до 20 и более. Даже в однотипных биогеоценозах в пределах одного биоклиматического района коэффициент вариации запасов углерода в слое 0-20 см может достигать 80 %. Ученые ЦЭПЛ РАН также в своих работах [2, 7, 11] и методических указаниях подчеркивают важность горизонтальной составляющей в пространственной структуре лесного биогеоценоза. Отбор образцов подстилки рекомендуется «проводить с учетом элементарных единиц – «биогеоареалов (ЭБГА)».

Ряд зарубежных работ Y. Huang и др. (2020) [18], M.G. Nan и др. (2020) [15], L. Qian и др. (2022) [19] также отмечают значительную пространственную вариабельность различных свойств почв и лесных подстилок, в зависимости от положения под пологом или в «окнах» древостоя.

Растительный опад – важное звено углеродного цикла [13, 18, 20]. Мамонов Д.Н. и др. (2022) [3] в своей работе подчеркивают важность достоверных региональных оценок бюджета углерода в лесных экосистемах Центральной лесостепи. При этом особое внимание необходимо уделить старовозрастным насаждениям. Лукина Н.В. и др. (2023) [1], Shu Sh. и др. (2019) [21], отмечают, что старовозрастные леса продолжают накапливать углерод.

В регионе исследования количественные оценки сезонного растительного опада выполнялись отдельными научно-исследовательскими группами, преимущественно учитывали только опад древесного яруса. Так, например, многолетний мониторинг динамики опада древесных растений ведется

сотрудниками Центрально-Черноземного государственного природного заповедника имени профессора Алёхина В.В. (Курская область) в наиболее распространенных типах дубрав заповедника. Рыжкова Г.А. и Рыжков О.В. (2004) [9] в своей работе отмечают, что в дубравах заповедника ведущее место занимает опад древостоя (до 75 %), представленный листьями деревьев и кустарников. Авторы особое внимание уделяют сезонным изменениям величины опада, максимальная листовая масса фиксируется в октябре и составляет до 50 % ежегодного опада. Среднегодовалый опад, рассчитанный в период с 1963 по 2002 гг, составил, в среднем, для дубняка крапивно-снытьевого – 3.76 т/га, дубняк снытьево-крапивного – 3.30 т/га, для клено-дубняка лещино-снытьевого – 3.52 т/га.

Существенный вклад в изучение депонирования углерода в дубравах Центральной лесостепи внесли работы профессора Воронежского государственного лесотехнического университета Таранкова В.И. и его учеников. В дубравах Воронежской области запас углерода в лесной подстилке варьирует в зависимости от эдафотопов от 0.59 до 2.5 т С/га. Запасы углерода в живом напочвенном покрове также варьируют в зависимости от эдафотопов и составляют от 0.03 до 1.4 т С/га. Максимум накопления углерода в живом напочвенном покрове сообществ дуба отмечается в возрасте 80-100 лет. В дубняках Орловской области общие запасы подстилки были оценены в среднем в 12.9 т/га, а поступление органического вещества с опадом в среднем в 3.9 т/га.

Авторами данной работы, во главе с Одноровым Г.А. также ведутся многолетние наблюдения по запасам фитомассы в дубняках Центральной лесостепи [4-6]. Учеты сезонного древесного опада проводились в дубняке осоково-снытьевом (54 года), в дубняке осоковом (51 год) и в дубняке разнотравном (58 лет), полученные значения варьировали от 2.23 до 3.54 т/га. Общие запасы подстилки в дубняках (86 лет) оценивались в пределах от 16 до 26 т/га.

Как видно из литературного обзора, большая часть количественных оценок растительного опада, проведенных в регионе исследования фрагментарна,

в основном, авторами определяется только опад древесных растений, мозаичность лесного биогеоценоза не всегда учитывается.

Цель данной работы – изучение особенностей формирования сезонного растительного опада в условиях старовозрастной нагорной дубравы, расположенной на территории г. Воронежа. При этом решались следующие задачи: определение сезонной динамики поступления и фракционного состава опада древесных растений; оценка запасов живого напочвенного покрова и лесной подстилки в зависимости от положения приствольное-подкрасное-межкрасное пространство; определение содержания запасов углерода и азота в различных фракциях растительного опада.

Материалы и методы

Предмет и объект исследований

Полевые работы проводились на мониторинговых постоянных пробных площадях, расположенных на территории полигона “FOR&ST CARBON” (полигон интенсивного уровня типа II) в Воронежской области. Полигон предназначен для прямых наземных оценок баланса парниковых газов в разных типах экосистем и получения данных для развития моделей (исследования с использованием эколого-климатических автоматических станций). Гектарные постоянные пробные площади заложены сотрудниками ФГБОУ ВО «ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова» в 2022-2023 гг. Закладка пробных площадей была произведена в соответствии с ОСТ 56-69-83. «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки».

Постоянная пробная площадь (ППП) №6 расположена в 47 квартале Правобережного участкового лесничества. Тип леса – дубрава осоково-снытьевая (ДОСН), тип лесорастительных условий С₂Д (судубрава свежая дубовая), состав древостоя 3Д5Лп3КлО. Напочвенный покров насаждения насчитывает 17 видов растений. Преобладают *Carex pilosa* Scop., *Glechoma hederacea* L., *Impatiens parviflora* DC., *Stellaria holostea* L., *Geranium robertianum* L. (в порядке убывания обилия по шкале Браун-Бланке). Проективное покрытие напочвенного покрова неравномерное, с мозаичной структурой, представленной двумя парцеллами: *Acer platanoides* – *Quercus robur* – *Corylus avellana*-*Carex*

pilosa (80%) и *Acer platanoides*+*Quercus robur* – *Corylus avellana*–*Stellaria holostea* (20%). Тип почвы – серогумусовые глееватые на песчано-супесчаных отложениях (Leptosols Mollic (LPmo), WRB, 2014). Таксационное описание насаждения приведено в табл. 1.

Сбор данных

Для количественной оценки запасов лесной подстилки и динамики поступления опада, а также выявления закономерностей биогеохимического круговорота углерода в данной работе были применены общепринятые в лесной таксации, геоботанике и почвоведении методики.

Авторами были учтены методические рекомендации отбора образцов почв и напочвенного покрова для сбора информации о запасах углерода, а также методические рекомендации наземной

оценки количественных и качественных характеристик лесов на сети тестовых полигонов (Федеральное агентство лесного хозяйства РФ, ФГБУ «Рослесинфорг», 2023).

Для оценки запасов подстилки монолиты отбирали с помощью деревянной рамки размером 50×50 см. По контуру рамки ножом вырезали монолит до верхней части минеральной толщи. В полевых условиях монолит разбирался, в частности сразу отделяли живой напочвенный покров. Далее монолит упаковывали в пакеты с этикеткой (номер ППП, тип микросайта, содержимое пробы, дата отбора) и доставляли в лабораторию для разбора и взвешивания. Отбор образцов лесной подстилки и живого напочвенного покрова производили на учетных площадках, которые располагали в зависимости от положения приствольное – подкрановое – межкрановое пространство деревьев-эдификаторов.

Таблица 1

Таксационное описание постоянной пробной площади № 6

Table 1

Forest Inventory of the permanent sample plot № 6

Тип почвы Soil type	Состав древостоя* Tree composition*	Порода Forest Species	Возраст, лет Age	Высота, м Height, m	Диаметр, см Diameter, cm	Запас, м ³ га ⁻¹ , в т.ч. сухой Stock, m ³ ha ⁻¹	Полнота относительная Forest cover	Класс бонитета Bonitet
Leptosols Mollic	3Д5Лп2КлО	Дуб Липа Клен	100 75 85	22.6 19.6 18.6	33.4 22.3 23.3	88 121 66	0.8	III

*Обозначение древесных пород: Д – дуб черешчатый; КлО – клен остролистный; Л – липа мелколистная

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Необходимо отметить, что на изучаемой постоянной пробной площади в связи с высокой сомкнутостью древостоя, не было выявлено четко оконтуренных межкрановых пространств. В изучаемом насаждении образование «окон», как правило, связано с вывалом древесных пород и формированием выраженной вывально-мозаичной структуры, которая в данной работе не учитывалась.

Наземный древесный опад собирался в стационарные опадоуловители размером 50×50 см,

высотой около 1.2 м в количестве 7 штук на одну постоянную пробную площадь. Опадоуловитель представляет собой каркас из полипропиленовых труб со съемным мешком из полиэтилентерефталатной сетки. Опадоуловители устанавливали параллельно границам постоянных пробных площадей в парцеллах с наибольшим удельным весом в биогеоценозе.

Оценку содержания общего углерода и азота (%) в пробах растительного опада (20-30 мг)

осуществляли методом газовой хроматографии на органическом элементном анализаторе ECS 8024 NC Soil Special (N.C. TECHNOLOGIES SRL, Италия) на основании методик измерений, применяемых в повседневной рабочей практике испытательных лабораторий.

Анализ данных. Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием стандартных пакетов Microsoft Office Excel 2016, Statistica 12. В таблицах привели такие статистические параметры, как среднее арифметическое и стандартное отклонение ($M \pm m$). Поскольку статистические распределения большинства параметров отличаются от нормального распределения, для оценки значимости различий использовали непараметрический критерий Краскела-Уоллиса. При расчете критерия учитывались диапазон значений и объем выборки (n).

Результаты

1.1. Сезонная динамика поступления и фракционный состав древесного опада. Поступление опада в биогеоценозе очень динамично, причем динамика проявляется двояко – сезонно и по годам. Первая обусловлена преимущественно сезонностью развития растений, вторая – метеорологическими условиями того или иного года в течении сравнимого периода. В данной работе основное внимание уделено изучению сезонной динамики, это связано, преимущественно с технической составляющей работ (опадоуловители были установлены в июле. Сбор опада производился ежемесячно в период с 30 июля по 17 ноября 2023 года (в период интенсивного листопада – каждые две недели). Во всех отобранных пробах был выполнен учет фракционного состава опада.

Анализ опубликованных материалов, показывает, что каждый регион имеет свои «пики» в поступлении опада, что связано, в первую очередь, с погодными условиями и жизненным циклом растений. Так, по данным многолетних наблюдений, для дубрав Центральной лесостепи максимальная масса опада фиксируется во время осеннего листопада в октябре. При этом, различные погодные характеристики могут влиять на период осеннего листопада, например, теплая погода и отсутствие ветра могут

увеличить сроки листопада, и, соответственно, «пик» в поступлении опада. Экстремальные погодные условия (в т.ч. поздние весенние заморозки, длительные засушливые периоды, сильные и ураганные ветры и др.) также могут смещать сезонную и ежемесячную величину поступления опада.

Осень 2023 года можно охарактеризовать, как теплую (на 1.7 °C выше среднегодовалого значения) и влажную (сумма осадков на 70 % превысила среднегодовалую норму). Аномально высокие среднесуточные температуры воздуха были зафиксированы в ноябре. Осенний переход средней суточной температуры через 0 °C состоялся 18 ноября, а 20 ноября установился первый снежный покров.

По нашим наблюдениям за 2023 год максимальная масса опада была зафиксирована во время осеннего листопада в октябре и составила для дубравы осоко-снытьевой 3.32 т/га. Необходимо отметить достаточно высокую ошибку среднего значения помесечного поступления опада, что, по-видимому, связано с недостаточным количеством опадоуловителей. В дальнейшей работе их необходимо увеличить до 20 штук.

Как видно из рис. 1, изменение структуры фракционного состава опада в дубраве позволяет выделить следующие закономерности. Так, в августе в опаде преобладают генеративные органы и семена – 58.2 %, а начиная с первого месяца осени в опаде преобладают листья – 54.2 %. В октябре и ноябре доля листового опада возрастает и достигает своего максимума – 87.6-95.4 %. Доля веточного опада невелика и составляет с августа по ноябрь не более 10 %.

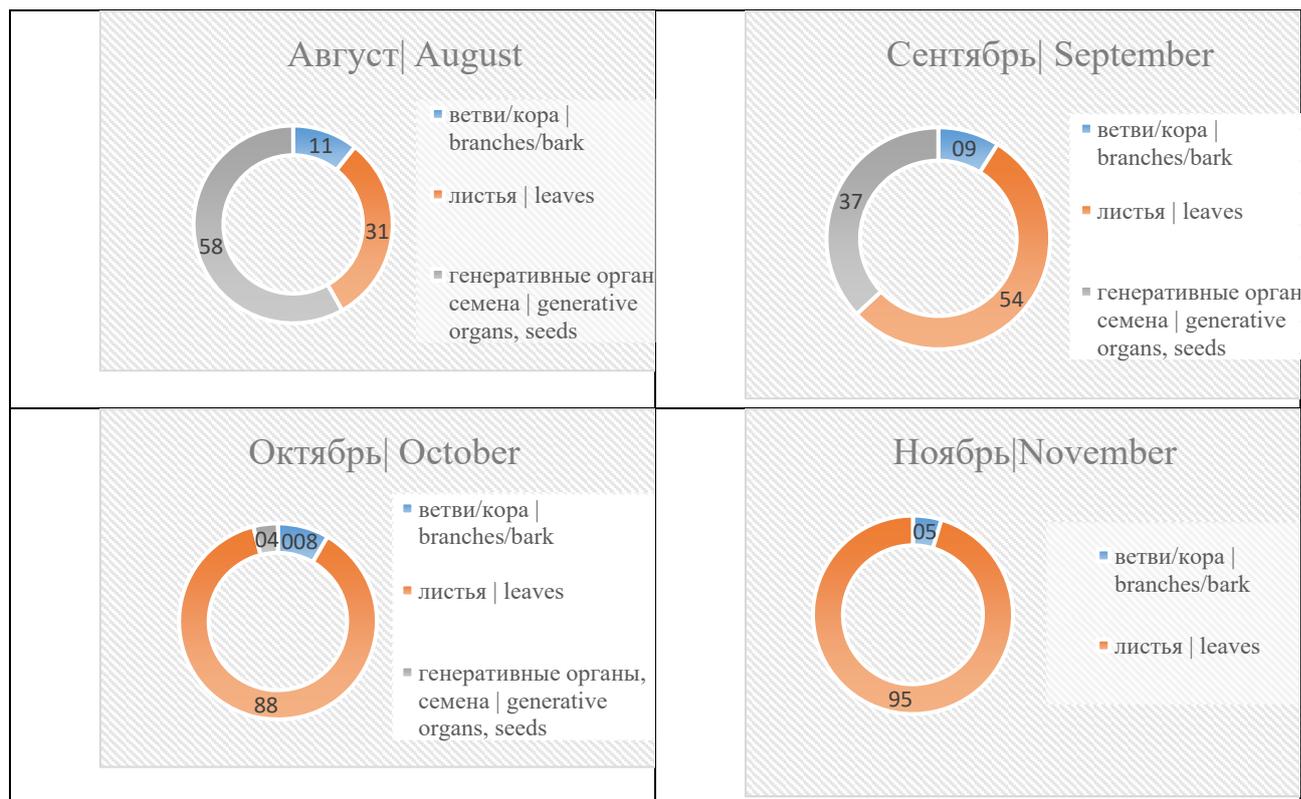


Рисунок 1. Динамика изменения фракционного состава опада в дубраве осоко-снытьевой по месяцам, в % от ежемесячного опада

Figure 1. Dynamics of change of the fraction composition of plant litter in the upland oak forest by months, % of monthly litter

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

1.2. Оценка запасов растительного опада в зависимости от положения приствольное-подкрупное-межкрупное пространство. Характерной особенностью распространения живого напочвенного покрова и лесной подстилки является их мозаичность, деревья-эдификаторы фитоценоза и их неоднородное пространственное распределение создают определенные условия, совокупность которых в различных источниках определяется, как микроместообитания, микропарцеллы, микросайты, тессеры, фитогенные поля, ЭБГА. В связи с этим отбор образцов планировалось проводить в трех микроместообитаниях: приствольное, подкрупное и межкрупное пространство. На изучаемой пробной площади отбор образцов живого напочвенного покрова и подстилки в межкрупных участках не производился, что было обусловлено высоким перекрытием крон пород первого яруса.

В связи с характерной особенностью дубравы давать две фазы травяного покрова – 1) весеннюю, образованную эфемероидами, преимущественно пролеской сибирской (*Scilla sibirica* Andrevs.), хохлаткой дубравной (*Corydalis solida* L.), медуницей неясной (*Pulmonaria obscura* Dumort.), и 2) летнюю, с господством широколиственного, преимущественно осоки волосистой (*Carex pilosa* Scop.), герани Роберта (*Geranium robertianum* L.), недотроги мелкоцветковой (*Impatiens parviflora* DC.), будры плющевидной (*Glechoma hederacea* L.), сныти обыкновенной (*Aegopodium podagraria* L.), звездчатки ланцетолистной (*Stellaria holostea* L.), копытня европейского (*Asarum europaeum* L.) и некоторых других. Учет травостоя производился отдельно по этим фазам.

Запасы биомассы широколиственного варьировал от 25.6 до 72.8 г/м². Достоверные различия были по

лучены по возрастанию запасов биомассы в направлении приствольное – подкрановое пространство. Исключением являются эфемероиды, ранневесенний покров из которых не зависит, от развития

кроны древесного вида-эдификатора, и на 70-90 % покрывает почву в дубняках. Биомасса эфемероидов, вне зависимости от микроместообитания составила в среднем 42.05 г/м² (рис. 2).

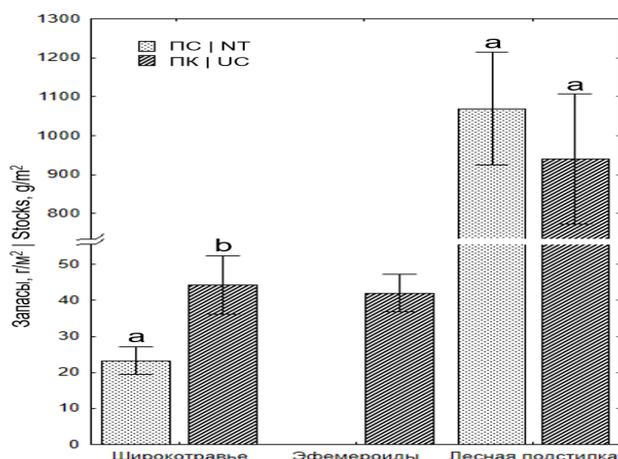


Рисунок 2. Запасы растительного опада в различных микроместообитаниях дубравы осоко-снытьевой, г/м², где ПС – приствольное пространство; ПК – подкрановое пространство
 Figure 2. Stocks of forest litter in various micro-habitats of upland oak forest, g m⁻², where NT – near trunk; UC – under tree crown

Источник: собственные вычисления авторов
 Source: own calculations

В условиях высокополнотного насаждения не было обнаружено статистически значимых различий между запасами лесной подстилки в приствольных и подкрановых местообитаниях нагорной дубравы.

1.3. Определение содержания запасов углерода и азота в различных фракциях опада и лесной подстилки. В табл. 3 приведены полученные нами средние значения содержания углерода и азота в различных фракциях сезонного растительного опада. Как показали наши исследования, содержание углерода является достаточно стабильным показателем и не зависит от сроков сбора опада. Учитывая, биомассу, в дубраве осоко-снытьевой за период с августа по ноябрь с опадом было вынесено 1870.12 кг С/га. При этом, как и ожидалось, максимум приходится на осенний период, пиком является октябрь, в течении которого в дубраве осаждается 1416.4 кг С/га, что составляет 75 % от учтенного за весь период запаса углерода. В отличии от углерода содержание азота в активных фракциях лесного опада подвержено сезонным изменениям. В неактивных фракциях лесного опада не было выявлено разницы в содержании азота по месяцам

В целом по дубраве за период с августа по ноябрь, по нашим оценкам, с опадом было вынесено 51.8 кг N /га, при этом на лиственный опад приходится 42.47 кг N /га, что составляет 82 % от учтенных запасов. Количество азота, поступающего в почву с широкотравьем характеризуется меньшей величиной – 30 кг/га, несмотря на более высокое содержание данного химического элемента.

Показатель C/N (соотношение углерод/азот) косвенно характеризует степень разложения и гумификации растительных остатков. Наиболее интенсивно разлагаются эфемероиды с достаточно узким соотношением углерода и азота – 11. Уже к середине мая надземные части эфемероидов отмирают, а содержащиеся в них химические элементы поступают в почву.

Показатель C/N служит также индикатором биологической деструкции древесины. В условиях дубравы для фракции «ветви, кора» соотношение C/N составляет 40, что подтверждает выводы многих авторов о том, что скорость разложения крупных древесных остатков лиственных пород гораздо выше, чем хвойных.

Содержание азота и углерода в растительном опаде дубравы осоко-снытиевой

Table 3

Nitrogen and carbon content in forest litter of upland oak forest

Растительный опад Forest litter	Массовая доля, % Mass fraction, %		C/N
	С	N	
Ветви, кора	44.9±2.78	1.13±0.07	40
Генеративные органы древесных растений	42.55±5.66	1.66 ±0.19	26
Листья древесных растений (сбор в октябре)	42.39±3.28	1.43 ±0.22	29
Лесная подстилка	28.17±8.3	0.99±0.19	28
Широкотравье	40.28±2.65	2.62±0.25	15
Эфемероиды	38.39±1.51	3.41±0.30	11

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Среднее содержание углерода в подстилке дубравы осоко-снытиевой составило 28.17±8.3. %. Для сравнения типовой коэффициент пересчета сухой массы подстилки в углерод в руководящих указаниях МГЭИК (Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г с учетом дополнений от 2013 и 2019 г) составляет 0.37. Наши результаты показывают вполне удовлетворительное совпадение. Хотя при пересчете на 1 га коэффициент МГЭИК дает некоторые завышения по запасу углерода в биогеоценотическом горизонте лесной подстилки в дубраве. Содержание азота в лесной подстилке дубравы очень низкое и составляет 0.1 т/га.

В изучаемом насаждении соотношение C/N составляет 28, что свидетельствует о лесной подстилке типа модер с замедленным разложением.

Обсуждение

Сравнивая, полученные нами значения со среднемноголетними оценками древесного опада в регионе исследований необходимо отметить вполне удовлетворительное совпадение. Так, среднегодовой опад в дубняках Центрально-Черноземного государственного природного заповедника имени профессора Алёхина В.В. составляет от 3.0 до 3.76 т/га. По данным многолетних наблюдений ученых Воронежского государственного лесотехнического университета опад в дубняках ЦЧР составляет от 2.5 до

5.9 т/га (Таранков В.И. и др.); в нагорной дубраве (возраст 51-58 лет) – от 2.23 до 3.39 т/га (Одноралов Г.А. и др.).

Таким образом, нами был учтен важный сезонный максимум поступления опада, но в дальнейшей работе необходимо изучение динамики годичного опада, с учетом зимне-весеннего и летнего периодов, что позволит получить более точные оценки бюджета углерода в дубовых насаждениях.

По ранее опубликованным региональным оценкам общие запасы подстилки в дубняках (86 лет) Однораловым Г.А. и соавторами оцениваются в пределах от 16 до 26 т/га. По оценкам Таранкова В.И., проведенным в 2003-2007 гг для культур дуба черешчатого, общая масса подстилки оценивалась от 4.2 до 22.6 т/га, при этом автор отмечает, что лесная подстилка в культурах дуба с возрастом не накапливается, что связано со сравнительно небольшими сроками её разложения. Полученные нами значения запаса лесной подстилки для дубняка осоко-снытиевого составляют 10.0±4.0 т/га, эти значения проходят по нижней границе полученных ранее региональных оценок, что, по-видимому, связано со снижением доли дуба в древостое (ЗД5ЛпЗКлО) и увеличением доли липы и клена.

Невысокие запасы лесной подстилки обусловлены, прежде всего, большим содержанием быстроразлагающихся фракций листьев (до 81.5 %)

в поступающем опаде, что приводит к более интенсивной миграции соединений углерода в минеральные слои.

Поступление углерода и азота в нагорной дубраве зависит от массы опада, обусловленной составом насаждения. Максимальное количество углерода и азота возвращается в почву с опадом активной фракции листьев, которая по массе перекрывает опад других фракций в изученных биогеоценозах. В связи с этим влияние данной фракции на почву более выражено, чем других растительных остатков.

Выводы

1. Максимальная масса древесного опада приходится на время осеннего листопада в октябре и составляет для дубравы осоко-снытьевой 3.32 т/га. При этом в сезонном древесном опаде доля быстроминерализующейся листовой фракции варьирует от 31.1 до 95.4 %, а медленно минерализующийся веточный опад не превышает 10 %.

2. Важную роль в биологическом круговороте веществ в нагорной дубраве играет биогеогеографический живой напочвенного покрова, доля которого в сезонном растительном опаде составляет порядка 16.5 %. При этом за счет высокой динамичности в

частном цикле биологического круговорота дубравы – травяной покров-почва вовлекается значительное количество углерода и азота.

3. При количественной оценке опада живого напочвенного покрова в дубраве необходимо учитывать различия в приствольном и подкрановом пространстве, а также проводить учет фитомассы эфемероидов, так как растительный опад эфемероидов сопоставим с растительным опадом широколиственной. В пределах изучаемого лесного биогеоценоза условия древесных парцелл не создают статистически значимых различий в запасах подстилки.

4. В нагорной дубраве за период с августа по ноябрь с древесным опадом было вынесено 1870.12 кг С/га. При этом, как и ожидалось, максимум приходится на осенний период, пиком является октябрь, в течении которого в дубраве осаждается 1416.4 кг С/га, что составляет 75 % от учтенного за весь период запаса углерода.

5. Среднее содержание углерода в подстилке нагорной дубравы составило 28.17 ± 8.3 , азота – 0.99 ± 0.19 %. Соотношение С/Н составляет 28, что свидетельствует о лесной подстилке типа модер с замедленным разложением.

Список литературы

1. Лукина Н. В., Барталев А. П., Гераськина А. П. и др. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023; 87 (4): 536-557. DOI 10.31857/S2587556623040064.
2. Лукина Н. В., Гераськина А. П., Горнов А. В. и др. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований. Вопросы лесной науки. 2020; 3(4): 1-90. DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90.
3. Мамонов Д. Н., Морковина С. С., Матвеев С. М. и др. Сравнительная оценка методов учёта депонирования углерода сосново-берёзовыми лесными насаждениями Воронежской области. Лесотехнический журнал. 2022; 3(47): 4-15. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1.
4. Одноралов Г. А., Тихонова Е. Н., Голядкина И. В., Малинина Т. А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы). Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020; 2(374): 60-72. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72.
5. Одноралов Г. А., Голядкина И. В., Тихонова Е. Н. Лесорастительный потенциал задрово-водораздельных ландшафтов Воронежской нагорной дубравы. Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата: Сборник материалов Международной научной конференции, посвященной 95-летию Ботанического сада Южного федерального университета. 2022: 703-708. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50159536>.
6. Одноралов Г. А., Голядкина И. В., Тихонова Е. Н. К анализу углеродного состояния Воронежской нагорной дубравы. Направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020; 1(48):114-119. DOI 10.34220/2308-8877-2020-8-1-114-119.

7. Тебенькова Д. Н., Лукина Н. В., Чумаченко С. И. и др. Мультифункциональность и биоразнообразие лесных экосистем. *Лесоведение*. 2019; (5): 341-356. DOI 10.1134/S0024114819050115.
8. Телеснина В. М., Подвезенная М. А. Сорокин А. С., Мешалкина Ю. Л. Оценка биомассы хвойно-лиственных лесов на примере УОПЭЦ МГУ «Чашниково». *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2024; (2): 37-45. DOI 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-37-45.
9. Рыжкова Г. А., Рыжков О. В. Многолетняя динамика древесного опада в дубняке снытево-крапивном в урочище соловьятник Центрально-Черноземного заповедника (1963–2017 годы). *Материалы межрегиональной научной конференции, посвященной 50-летию организации участков Центрально-Черноземного заповедника Баркаловка и Букреевы Бармы*. 2019: 147-150. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37196756>.
10. Рыжова И. М., Подвезенная Н. П., Кириллова Н. П. Вариабельность запасов углерода в автоморфных и полугидроморфных почвах лесных экосистем европейской территории России: сравнительный статистический анализ. *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2022; (2): 20-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48695930>.
11. Шевченко Н. Е., Кузнецова А. И., Тебенькова Д. Н. и др. Сукцессионная динамика растительности и запасы почвенного углерода в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа. *Лесоведение*. 2019; (3): 163-176. – DOI 10.1134/S0024114819030082.
12. Bhardwaj K. K., Singh M. K., Raj D. et al. Effect of Tree Leaf Litterfall on available Nutrients and Organic Carbon Pools of Soil. *Research Journal of Science and Technology*. 2022; 226-232. DOI: <https://doi.org/10.52711/2349-2988.2022.00037>.
13. Mackey B., Moomaw W., Lindenmayer D., Keith H. Net carbon accounting and reporting are a barrier to understanding the mitigation value of forest protection in developed countries. *Environmental Research Letters*. 2022;17: 054028. DOI: 10.1038/s41559-021-01650-6.
14. Feng J., Zhu B., Zhu J. et al. Changes in plant inputs alter soil carbon and microbial communities in forest ecosystems. *Global Change Biology*. 2022;10 (28): 3426–3440. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.16107>.
15. Han M.G., Tang M., Shi B.K., Jin G.Z. Effect of canopy gap size on soil respiration in a mixed Broadleaved-Korean pine forest: Evidence from biotic and abiotic factors. *Eur. J. Soil Biol.* 2020; 99. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2020.103194.
16. Hounkpatin K. O. L., Stendahl J., Lundblad M. et al. Predicting the spatial distribution of soil organic carbon stock in Swedish forests using a group of covariates and sitespecific data. *SOIL*. 2021; 7(2). DOI: 10.5194/soil-7-377-2021.
17. Huang L., Zhou M., Ly J., Chen K. Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020;252: 119908. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119908.
18. Huang Y., Yang X., Zhang D., and Zhang J. The effects of gap size and litter species on colonization of soil fauna during litter decomposition in *Pinus massoniana* plantations. *Appl. Soil Ecol.* 2020.;155:1-10. DOI:10.1016/j.apsoil.2020.103611.
19. Qian L., Yan L., Yuliang D. et al. Effects of Forest Gaps on the Structure and Diversity of Soil Bacterial Communities in Weeping Cypress Forest Plantations. *Frontiers in Microbiology*. 2022;8 13:882949. DOI:10.3389/fmicb.2022.882949.
20. Roeland S., Moretti M., Amorim M. J. B. et al. Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. *Journal of Forestry Research*. 2019; 6 (30): 1981-1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00916-x>.
21. Shu Sh., Zhu W., Wang W. et al. Effects of tree size heterogeneity on carbon sink in old forests. *Forest Ecology and Management*. 2019;432: 637-648. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.09.023.
22. Wan X., Zhu J., Zeng D., Jiang L. Functional identity drives tree species richness-induced increases in litterfall production and forest floor mass in young tree communities. *New Phytologist*. 2023; 3 (240): 1003–1014. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.19216>.

23. Wilpert K. V. Forest Soils – What's Their Peculiarity? *Soil Systems*. 2022; 1 (6): 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems6010005>.

24. Zhao Y.-Y., Gao J., Huang Y., Bai Y., Jiang Y. Leaf litter decomposition characteristics and controlling factors across two contrasting forest types. *Journal of Plant Ecology*. 2022;6 (15): 1285–1301. DOI: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac073>.

References

1. Lukina N.V., Bartalev A.P., Geras'kina A. P. et al. Rol' starovozrastnyh lesov v akumulyatsii i hranenii ugleroda. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk*. [The role of old-growth forests in carbon storage and storage]. Russian Academy of Sciences *Izvestia. Geographical series = Russian Academy of Sciences. Geographical series*. 2023; 87 (4): 536-557. (In Russ.). DOI 10.31857/S2587556623040064.

2. Lukina N.V., Geras'kina A.P., Gornov A.V. et al. Bioraznoobrazie i klimatoreguliruyushchie funktsii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniy [Biodiversity and climate-regulating functions of forests: current issues and research perspectives]. *Voprosy lesnoj nauki = Forest science*. 2020; 3(4): 1-90. (In Russ.). DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90.

3. Mamonov D.N., Morkovina S.S., Matveev S.M. et al. Sravnitel'naya ocenka metodov uchyota deponirovaniya ugleroda sosnovo-beryozovymi lesnymi nasazhdeniyami Voronezhskoj oblasti [Comparative evaluation of methods of accounting for carbon deposition by pine and birch forest plantations of Voronezh region]. *Lesotekhnicheskij zhurnal = Forestry and Engineering Journal*. 2022; 3(47): 4-15. (In Russ.). DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.3/1.

4. Odnoralov G.A., Tikhonova E.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. Ocenka biologicheskoy produktivnosti lesnoj sredy v usloviyah urbanizatsii (na primere Voronezhskoj nagornoj dubravy) [Assessment of biological productivity of forest environment in the conditions of urbanization (on example of Voronezh Upland oak forest)]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Lesnoj zhurnal. = Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal*. 2020; 2(374): 60 -72. (In Russ.). DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72.

5. Odnoralov G.A., Golyadkina I.V., Tikhonova E.N. Lesorastitel'nyj potencial zandrovo-vodorazdel'nyh landshaftov Voronezhskoj nagornoj dubravy [Forest potential of the zandrovodnoe-water-separated landscapes of Voronezh upland oak]. 2022: 703-708. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50159536>

6. Odnoralov G. A., Golyadkina I.V., Tihonova E.N. K analizu uglerodnogo sostoyaniya Voronezhskoj nagornoj dubravy [To the analysis of carbon status of Voronezh upland oak]. *Napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika = Research Directions of the 21st Century: theory and practice*. 2020; 1(48):114-119. (In Russ.). DOI 10.34220/2308-8877-2020-8-1-114-119.

7. Teben'kova D.N., Lukina N.V., Chumachenko S.I. et al. Mul'tifunktional'nost' i bioraznoobrazie lesnyh ekosistem. [The multifunctionality and biodiversity of forest ecosystems] *Lesovedenie = Forestry Journal*. 2019; (5): 341-356. (In Russ.). DOI 10.1134/S0024114819050115.

8. Telesnina V.M., Podvezennaya M.A. Sorokin A.S., Meshalkina Yu.L. Ocenka biomassy hvojno-listvennyh lesov na primere UOPEC MGU «Chashnikovo» [Assessment of coniferous forests biomass using the example of WECF MSU «Chashnikovo»]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie = The Bulletin of the Moscow University. Series 17: Soil Science*. 2024; (2): 37-45. (In Russ.). DOI 10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-2-37-45.

9. Ryzhkova G.A., Ryzhkov O.V. Mnogoletnyaya dinamika drevesnogo opada v dubnyake snytevo-krapivnom v urochishche solov'yatnik Central'no-Chernozemnogo zapovednika (1963–2017 gody). [Dynamics of a tree sediment in dubnyak in a natural boundary a nightingale of the Centralno-Chernozem reserve (1963-2017 years)]. 2019: 147-150. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37196756>.

10. Ryzhova I.M., Podvezennaya N.P., Kirillova N.P. Variabel'nost' zapasov ugleroda v avtomorfnyh i polugidromorfnyh pochvah lesnyh ekosistem evropejskoj territorii Rossii: sravnitel'nyj statisticheskij analiz [Variability of carbon stocks in automorphic and semi-hydromorphic soils of forest ecosystems of European territory of Russia:

comparative statistical analysis]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie = The Bulletin of the Moscow University. Series 17: Soil Science 2022; (2): 20-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48695930>.

12. Bhardwaj K.K., Singh M.K., Raj D. et al. Effect of Tree Leaf Litterfall on available Nutrients and Organic Carbon Pools of Soil. Research Journal of Science and Technology. 2022; 226-232. DOI: <https://doi.org/10.52711/2349-2988.2022.00037>.

13. Mackey B., Moomaw W., Lindenmayer D., Keith H. Net carbon accounting and reporting are a barrier to understanding the mitigation value of forest protection in developed countries. Environmental Research Letters. 2022;17: 054028. DOI: 10.1038/s41559-021-01650-6.

14. Feng J., Zhu B., Zhu J. et al. Changes in plant inputs alter soil carbon and microbial communities in forest ecosystems. Global Change Biology. 2022;10 (28): 3426–3440. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.16107>.

15. Han M.G., Tang M., Shi B.K., Jin G.Z. Effect of canopy gap size on soil respiration in a mixed broadleaved-Korean pine forest: Evidence from biotic and abiotic factors. Eur. J. Soil Biol. 2020; 99. DOI:10.1016/j.ejsobi.2020.103194.

16. Hounkpatin K.O.L., Stendahl J., Lundblad M. et al. Predicting the spatial distribution of soil organic carbon stock in Swedish forests using a group of covariates and sitespecific data. SOIL. 2021; 7(2). DOI: 10.5194/soil-7-377-2021.

17. Huang L., Zhou M., Ly J., Chen K. Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis. Journal of Cleaner Production. 2020; 252: 119908. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119908.

18. Huang Y., Yang X., Zhang D., and Zhang J. The effects of gap size and litter species on colonization of soil fauna during litter decomposition in *Pinus massoniana* plantations. Appl. Soil Ecol. 2020.;155:1-10. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103611.

19. Qian L., Yan L., Yuliang D. et al. Effects of Forest Gaps on the Structure and Diversity of Soil Bacterial Communities in Weeping Cypress Forest Plantations. Frontiers in Microbiology. 2022;8 13:882949. DOI:10.3389/fmicb.2022.882949.

20. Roeland S., Moretti M., Amorim M. J. B. et al. Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. Journal of Forestry Research. 2019; 6 (30): 1981-1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-019-00916-x>.

21. Shu Sh., Zhu W., Wang W. et al. Effects of tree size heterogeneity on carbon sink in old forests. Forest Ecology and Management. 2019;432: 637-648. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.09.023.

22. Wan X., Zhu J., Zeng D., Jiang L. Functional identity drives tree species richness-induced increases in litterfall production and forest floor mass in young tree communities. New Phytologist. 2023; 3 (240): 1003–1014. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.19216>.

23. Wilpert K. V. Forest Soils – What's Their Peculiarity? Soil Systems. 2022; 1 (6): 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/soilsystems6010005>.

24. Zhao Y.-Y., Gao J., Huang Y., Bai Y., Jiang Y. Leaf litter decomposition characteristics and controlling factors across two contrasting forest types. Journal of Plant Ecology. 2022;6 (15): 1285–1301. DOI: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtac073>.

Сведения об авторах

✉ *Голядкина Инна Вячеславовна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: golyadkina@vgtu.ru.

Одноралов Геннадий Алексеевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

Тихонова Елена Николаевна – кандидат биологических наук, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru.

Шешницан Татьяна Леонидовна – аспирант, преподаватель кафедры лесной генетики, биотехнологии и физиологии растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2288-4929>, e-mail: tatianasheshnitsan@gmail.com.

Сафонова Анастасия Александровна – аспирант, преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0488-1963>, e-mail: anastasi.safonova18@gmail.com.

Information about the authors

✉ *Inna V. Golyadkina* – Cand. Sci (Agric), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: golyadkina@post.vgtu.ru.

Gennadii A. Odnorolov – Cand. Sci (Biol.), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>, e-mail: kafedra.laip@inbox.ru.

Elena N. Tikhonova – Cand. Sci (Biol.), Head of Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru.

Tatiana L. Sheshnitsan – post-graduate student, Teacher, Forest genetics, biotechnology and plant physiology Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2288-4929>, e-mail: tatianasheshnitsan@gmail.com.

✉ *Safonova Anastasia Alexandrovna* – Post graduate student, Teacher, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0488-1963>, e-mail: anastasi.safonova18@gmail.com.

✉ Для контактов | Corresponding author