

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/3>

УДК 630:631.484:581.93



Влияние фитоценоза на пространственную изменчивость запасов углерода в лесных почвах Центральной лесостепи

Татьяна Л. Шешницан, tatianasheshnitsan@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-2288-4929>

Сергей М. Матвеев, lisovod@bk.ru <https://orcid.org/0000-0001-8532-1484>

Сергей С. Шешницан , sheshnitsan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>

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

Исследование посвящено изучению закономерностей пространственного распределения углерода органических веществ в верхнем минеральном слое лесных почв лесостепной зоны Воронежской области. Проведен системный отбор проб почв на глубину 0–10 сантиметров с учётом парцеллярной структуры двух контрастных лесных фитоценозов: соснового бора (*Pinus sylvestris* L.) с участием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и полидоминантного лиственного леса с дуба черешчатого (*Q. robur* L.), клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.). Анализ химического состава почв проводился методом высокотемпературного каталитического сжигания для определения содержания углерода. Полученные данные показывают, что содержание углерода в серогумусовых почвах, сформировавшихся под фитоценозом хвойного леса, варьирует преимущественно от 1,5 до 2,0 %, тогда как в серогумусовых глееватых почвах дубравы достигает 2,8–3,0 %. Максимальные показатели запасов углерода, до 25 тС/га, выявлены на участках дубравы. При сравнении нескольких групп парцелл в пределах каждого насаждения достоверных различий не обнаружено ($p > 0,05$). Выявлена лишь тенденция к повышению запасов углерода при увеличении участия лиственных пород в составе древостоя. Показано также, что запасы углерода в почвах в пределах тессеры изменяются лишь незначительно при переходе от зоны ствола к межкроновому пространству, при этом не выявлены достоверные различия между приствольными, подкroновыми и межкroновыми участками. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что преобладание определенных видов древесных пород и связанных с ними кустарников подлеска и живого напочвенного покрова влияет на общий диапазон колебаний содержания и запасов углерода, однако не дает оснований говорить о четком закономерном распределении запасов углерода в почвах в пределах отдельных парцелл.

Ключевые слова: углерод органического вещества почвы, лесные почвы, лесостепная зона, структура фитоценоза, парцеллярная организация, тессеры, пространственное распределение.

Финансирование: исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7 «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 заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шешницан Т.Л. Влияние фитоценоза на пространственную изменчивость запасов углерода в лесных почвах Центральной лесостепи / Т.Л. Шешницан, С.М. Матвеев, С.С. Шешницан // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 38-58. – Библиогр.: с. 51-57 (46 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/3>

Поступила 21.12.2024. Пересмотрена 23.01.2025. Принята 2.03.2025. Опубликована онлайн 24.03.2025.

Influence of the phytocoenosis on the spatial variability of carbon stocks in forest soils of the Central Forest-Steppe

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

Sergey M. Matveev, lisovod@bk.ru  <https://orcid.org/0000-0001-8532-1484>

Sergey S. Sheshnitsan , sheshnitsan@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8027-855X>

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

Abstract

The study focuses on investigating the patterns of spatial distribution of organic carbon in the upper mineral layer of forest soils within the forest-steppe zone of the Voronezh Region. A systematic soil sampling at a depth of 0–10 cm was carried out, taking into account the parcel structure of two contrasting forest phytocoenoses: a pine stand (*Pinus sylvestris* L.) with the participation of common oak (*Quercus robur* L.) and a polydominant broadleaf forest composed of common oak (*Q. robur* L.), Norway maple (*Acer platanoides* L.), and small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.). The chemical analysis of the soils was conducted by means of high-temperature catalytic combustion to determine the carbon content. The obtained data indicate that carbon content in gray-humus soils formed under the coniferous forest phytocoenosis mainly varied from 1,5 % to 2,0 %, whereas in the gray-humus gleyic soils of the oak forest it reaches 2,8 %–3,0 %. The maximum carbon stocks, reaching up to 25 t C / ha, were recorded in oak forest sites. A comparison of several parcel groups within each stand revealed no statistically significant differences ($p > 0,05$). Only a trend toward increased carbon stocks was observed with a greater proportion of broadleaf species in the tree layer. It was also shown that carbon stocks in soils within a tessera vary slightly from trunk-adjacent to inter-crown areas with no statistically significant differences identified among trunk, under-crown, and inter-crown zones. The findings suggest that the dominance of certain tree species together with their associated shrub understory and herbaceous ground cover affects the overall range of fluctuations in carbon content and stocks in soils but does not provide evidence of a clear pattern in carbon stock distribution within individual parcels.

Keywords: soil organic carbon, forest soils, forest-steppe zone, phytocoenosis structure, parcel organization, tesserae, spatial distribution.

Funding: the study was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 1023013000012-7 “Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)”)

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

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

For citation: Sheshnitsan T.L., Matveev S.M., Sheshnitsan S.S. (2025). Influence of the phytocoenosis on the spatial variability of carbon stocks in forest soils of the Central Forest-Steppe. Forestry Engineering journal, Vol. 15, No. 1 (57), pp. 38-58 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/3>.

Received 21.12.2024. *Revised* 23.01.2025. *Accepted* 2.03. 2025. *Published online* 24.03.2025.

Введение

Начиная с последней четверти XX века глобальная температура поверхности Земли растет стремительнее, чем за последние два тысячелетия. Такие изменения связаны, прежде всего, с антропогенным повышением концентрации диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) в атмосфере [1]. Увеличение использования ископаемого топлива, интенсификация сельского хозяйства, вырубка и сжигание лесов приводит к повышенным выбросам диоксида углерода [2], который в большей мере, чем другие газы, способствует усилению парникового эффекта. В целях смягчения последствий глобального изменения климата было предложено несколько стратегий секвестрации углерода. Биотическая оказалась предпочтительней, так как она основана на фундаментальном процессе – фотосинтезе зеленых растений и предполагает перевод атмосферного углерода с помощью фитocenозов в пулы углерода наземных экосистем [3]. Однако в условиях меняющегося климата важно оценить не только вклад растительности как единой саморегулирующейся системы на запасы углерода в почвах, но также, учитывая мозаичное строение лесного биогеоценоза, выявить внутрибиогеоценозические связи в системе растение–почва, которые будут способствовать более глубокому пониманию влияния типа леса на пул почвенного углерода. Так, например, запасы углерода в верхних 30 см лесных почв могут в два-четыре раза превышать пул углерода фитомассы, а в полуметровой толще – в три-шесть раз [4].

Лесной биогеоценоз представляет собой открытую систему с присущими ей циклическими процессами, связанными с сукцессионными сменами, разновозрастной и многовидовой структурой древостоя, что затрудняет достоверное определение баланса углерода в условиях неоднородности растительного сообщества. Поэтому целесообразно рассматривать парцеллу как единицу горизонтального расчленения биогеоценозического покрова [5], которая позволяет уточнить влияние современного типа фитocenоза на пространственную вариабельность углерода в почвах.

Организатором парцеллярного строения является эдификатор, вокруг которого формируется

мощное фитогенное поле [6]. Его биологические особенности определяют уровень накопления и долговечность хранения органического вещества в фитомассе. Некоторые исследователи рассматривают биокосный компонент как горячую точку биогеохимических изменений [7], в пределах которой изменяются количество подстилки, физико-химические свойства осадков, плотность тонких корней, содержание гумуса, обменных катионов, pH, заселенность почв фауной и микрофлорой [8–13], что, в свою очередь, влияет на дифференциацию почвенного покрова [14]. Как правило, пул общего углерода увеличивается с возрастом древостоя и тесно связан с продуктивностью биогеоценоза [15–18].

Многие исследователи отмечают высокий уровень содержания углерода органического вещества в почвах под спелыми насаждениями, по сравнению с молодняками [19–21]. Однако не только возраст, но и вид, а также различные стадии развития древесных насаждений и изменения глубины почвы могут оказывать влияние на запасы органического углерода [22].

М. А. Подвезенная и И. М. Рыжова (2010) [23], исследуя парцеллярное строение лесных экосистем южной тайги, нашли связь между напочвенной растительностью и почвой только для верхнего 5-ти-сантиметрового слоя. Л. О. Карпачевский и др. (2009) [10] отмечает, что влияние современного биогеоценоза на почву достоверно лишь для слоя 0-15 см. Это согласуется с данными многочисленных зарубежных исследований, посвященных влиянию смешанных и чистых насаждений, а также отдельных видов древесных пород на запасы органического углерода в верхних горизонтах почв (в слое 0-20 см) [24–28]. Таким образом, можно предположить, что именно характеристики насаждений определяют пространственную вариабельность органического углерода в почвах [29]. Исследования, проведенные на ненарушенных лесных территориях, продемонстрировали статистически значимую влияние дуба на повышенное содержание органического углерода в верхнем минеральном горизонте почв по сравнению с участками, где преобладающим видом выступает клен [30]. Несмотря на полученные результаты, в научной среде до сих пор от-

существует единая точка зрения относительно влияния различных древесных пород на суммарные запасы органического углерода в верхнем слое почвы [24, 31–33]. Анализ многочисленных исследований показал, что, как правило, увеличение содержания органического углерода в верхнем слое почв противоположно их ранжированию для лесной подстилки [31, 33–36]. Многие авторы считают, что на пул углерода в верхнем слое минеральной почвы большее влияние оказывает тип почвы или климат, чем вид дерева, в то время как влияние древесных пород на пул углерода в подстилке более выражено [26, 31].

Целью исследования являлось изучение влияния парцеллярной и внутрипарцеллярной структуры разных типов лесных фитоценозов (дубрава, сосновый бор) лесостепной зоны Воронежской области на пространственное распределение содержания и запасов углерода в верхнем минеральном слое почв.

Материалы и методы

Объект и предмет исследований

Исследуемая территория расположена в южной части Окско-Донской низменности между двумя водоразделами – Дон-Воронежским и Воронеж-Усманским в черте города Воронеж. Правобережные леса представлены нагорными дубравами на приводораздельных склонах и частично на водоразделе Воронеж-Дон с абсолютными отметками 155–165 м. Левый берег р. Воронеж отделен от правобережья широкой поймой со старицами и заболоченными участками. На левобережных террасах высотой 103–122 м над уровнем моря сформировались светлохвойные сосновые боры. Климат умеренно-континентальный, характеризуется значительными колебаниями температуры и осадков. Среднегодовая температура воздуха +7,6 °С. Средняя температура июля и января +21,3 °С и –6,0 °С соответственно. Среднегодовое количество осадков за последние 30 лет составляет 586 мм, причем на летне-осенний период приходится около 54,5 % годовой нормы.

Формирование гранулометрического состава почв в исследуемом районе в значительной мере обусловлено разнородными песками, слагающими левобережные надпойменные террасы. В

свою очередь, именно эти почвообразующие породы стали основой для формирования серогумусовых иллювиально-ожелезненных бескарбонатных почв на аллювиальных песчано-супесчаных отложениях в левобережных сосновых борах. Профиль почвы состоит из следующих горизонтов: Ad (0–8 см) – АУ1 (8–18 см) – АУ2 (18–40 см) – Cf (40–70 см) – С (>70 см). Верхний горизонт (Ad) представлен дерниной, густо пронизанной корнями растений. Под ним залегает буровато-серый супесчаный горизонт АУ1, влажный, рыхлый, пористый, с непрочной комковатой структурой. Он заметно отличается по цвету от нижележащего горизонта АУ2, охристого, также супесчаного, рыхлого и пористого, содержащего гумусовые затёки и рыжие пятна иллювиирования органо-железистых соединений. В АУ2 отмечается наличие корней растений, а его переход к следующему горизонту постепенный. Горизонт Cf, залегающий с 40 см, имеет ржаво-жёлтую окраску, бесструктурный, песчаный, рыхлый и пористый, с единичными ржавыми пятнами иллювиирования органо-железистых соединений и редкими корнями растений. Ниже 70 см этот горизонт сменяется почвообразующей породой, представленной светло-жёлтым, свежим, бесструктурным, рыхлым и пористым песком. Вскипание от НС1 по всему профилю отсутствует. Гранулометрический состав верхних 10 см почв характеризуется преобладанием песчаной фракции (89 %) и незначительной долей пылевой (9 %) и илстой фракции (2 %).

На участках нагорной дубравы в правобережье профиль почв более сложный, имеет отчётливую иллювиальность и отличается менее однородным гранулометрическим составом. Здесь, в частности, сформировались серогумусовые глееватые бескарбонатные маломощные супесчаные почвы. Профиль почвы сформирован следующими горизонтами: АУ (1–16 см) – АУg (16–35 см) – АУСg (35–90 см) – Сg (>90 см). Верхний горизонт АУ представлен влажным, серым, супесчаным материалом с рыхлой, пористой структурой. Он непрочно-мелкокомковатый, обильно пронизан корнями растений. Ниже залегает горизонт АУg, имеющий грязно-серую с оливковым оттенком окраску, супесчаный, рыхлый, пористый, с непрочной мелкокомковатой структурой, содержит гумусовые затёки и корни

растений. Переход к следующему горизонту постепенный. Горизонт АУСg, залегающий на глубине 35–90 см, обладает оливково-светло-бурой окраской. Он бесструктурный, песчаный, рыхлый, пористый, с единичными сизыми пятнами оглеения, присутствием Mn-Fe конкреций и редких корней растений. Постепенно он сменяется горизонтом Сg, расположенным ниже 90 см. Этот слой представлен белесым, бесструктурным, рыхлым и пористым песком, содержащим многочисленные сизые пятна оглеения. Вскипание от HCl по всему профилю также отсутствует. В гранулометрическом составе верхнего 10-сантиметрового слоя почв преобладает песчаная фракция (82%), однако вклад пыли и глины несколько выше, чем в почвах хвойного леса, и составил 15 и 3% соответственно.

Для оценки свойств почв и характеристик лесных насаждений были заложены пробные площади (ПП) размером 50×50 м (0,25 га) в спелых и перестойных древостоях. Одна из таких площадей (ПП № 3-1) расположена в квартале № 60 (выдел 11) Левобережного участкового лесничества, а другая (ПП № 6-1) – в квартале № 47 (выдел 3) Правобережного участкового лесничества Пригородного лесничества Воронежской области. Исследуемые участки лесных экосистем характеризуют наиболее распространённые типы лесорастительных условий – сосняк травяной с дубом, В₂ (ПП № 3-1) и дубняк осоко-снытьевый, С₂D (ПП № 6-1). Сосновые насаждения (состав 10С) представлены древостоями искусственного происхождения I класса бонитета с примесью дуба. Возраст насаждения составляет 110 лет, средний диаметр стволов на высоте 1,3 м – 35,8 см, а средняя высота достигает 28,6 м. Запас древесины – 424 м³/га при полноте 1,0. Подлесок в основном представлен малиной обыкновенной (*Rubus idaeus*). В напочвенном покрове преобладают зелёные мхи (*Dicranum* sp.), вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*), мятлик боровой (*Poa nemoralis*), марьянник луговой (*Melampyrum pratense*), ландыш майский (*Convallaria majalis*) и купена многоцветковая (*Polygonatum multiflorum*). Нагорная дубрава сформирована лиственными полидоминантными древостоями характеризуется сложным составом (ЗД5ЛП2КЛЮ) порослевого про-

исхождения III класса бонитета, при этом запас древесины составляет 270 м³/га, а полнота – 0,8. Возраст насаждения составляет 100 лет, средние значения диаметра стволов и высоты деревьев составляют соответственно 24,6 см и 22,6 м. В насаждении происходит замещение дуба черешчатого (*Quercus robur*) главным образом клёном остролистным (*Acer platanoides*), а также липой сердцевидной (*Tilia cordata*), встречается ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*). Подрост представлен кленом остролистным и ясенем обыкновенным, подлесок сформирован лещиной обыкновенной (*Coryllus avellana*) и кленом полевым (*A. campestre*). В напочвенном покрове преобладает осока волосистая (*Carex pilosa*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), будра плющевидная (*Glechoma hederacea*), недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora*), звездчатка ланцетовидная (*Stellaria holostea*).

Дизайн эксперимента

Для выделения парцелл использованы методические подходы Н.В. Дылиса (1969) [5], которые заключаются в определении встречаемости парцелл на равномерно разбросанных точках наблюдения по площади исследуемого участка. В нашем исследовании количество точек наблюдения составило 121, что дает возможность с достаточной точностью определить парцеллярное строение исследуемого участка. Шаг между точками учетов составил 4,5 метра (рис. 1).

Границы парцелл устанавливались по периметру комплекса типичных для конкретной парцеллы микрогруппировок травяного яруса. Названия парцелл даны по видовому составу древостоя, подроста, подлеска, живого напочвенного покрова. Отбор почвенных образцов производился в трехкратной повторности с помощью бура на глубину 0–10 см в 25 точках, равномерно распределённых в пределах пробной площади. Для определения плотности почв отбор проб проводился специальным пробоотборником 70×70 мм из комплекта режущих колец КП-402.

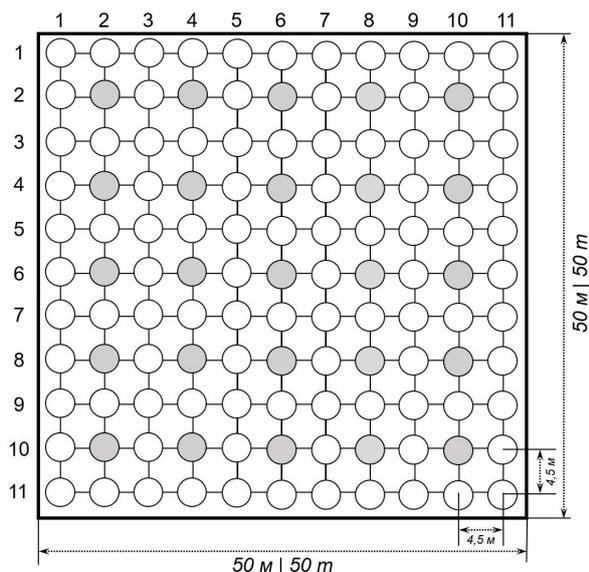


Рисунок 1. Схема пробной площади для учёта парцеллярной структуры фитоценоза: (○) – точки учёта парцеллярной структуры фитоценоза; (●) – точки учёта парцеллярной структуры фитоценоза и отбора проб почв

Figure 1. Schematic of the sample plot to study parcellar structure of phytocenosis: (○) – parcellar structure recording points for phytocenosis; (●) – parcellar structure recording points for phytocenosis and soil sampling sites

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Отбор проб почв по тессерам проводили следующим образом: определяли два соседних дерева преобладающих в насаждении пород, стволы которых находились на расстоянии не менее 6 м друг от друга, после чего прокладывали по прямой линии между ними условную трансекту. Вдоль этой линии последовательно закладывали 5–6 пунктов отбора образцов: приствольную зону (непосредственно у ствола), подкрасовую зону (примерно в середине проекции кроны) и межкрасовое пространство (так называемое «окно» между кронами). В каждой из выбранных точек предварительно удаляли верхний органический горизонт (подстилку), зафиксировали его характерные морфологические особенности, мощность и состав [23]. Далее осуществляли отбор минерального горизонта почвы почвенным буром на

глубину 10 см. В случае если в древостое отсутствовали выраженные просветы между кронами (например, в нагорной дубраве), пробы почв отбирали только в приствольных и подкрасовых участках. В этих же точках проводили отбор проб почв на плотность сложения аналогичным способом как было описано ранее.

Подготовка проб к анализу проводилась в соответствии со стандартными процедурами по ГОСТ 17.4.4.02. Определение содержания общего углерода (%) в пробах осуществляли с использованием элементного анализатора ECS 8024 NC Soil Special (N.C. TECHNOLOGIES SRL, Италия) методом каталитического сжигания пробы в присутствии кислорода при температуре 1000 °С. Калибровку осуществляли по референс-стандарту ацетанилида (Elemental Microanalysis, Великобритания). Каждая проба анализировалась в трёх повторностях. Пересчёт осуществлялся на сухую массу с учётом влажности.

Анализ данных

Статистическую обработку данных проводили в прикладном программном пакете STATISTICA 12.5 (StatSoft Inc., 2014). Оценку достоверности различий между средними значениями определяли с использованием *U*-критерия Манна-Уитни при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования получены данные, характеризующие влияние парцеллярной структуры разных типов лесных насаждений (хвойных, лиственных) на распределение запасов углерода в верхнем минеральном слое почв. В ходе исследования рассмотрено парцеллярное строение наиболее характерных для Центральной лесостепи лесных сообществ с контрастной горизонтальной неоднородностью растительных элементов.

Согласно, анализу полученных данных (табл. 2) в сложении соснового насаждения в разных процентных соотношениях приняло участие 12 парцелл.

№ п/п	Парцелла Parcell	Доля, % Percentage, %	Площадь, m ² Area, m ²
1	Сосново-злаково-зеленомошная (Сззм) <i>Pinetum graminoso-dicranosum</i> (Pgd)	43,8	1095
2	Сосново-злаковая (Сз) <i>Pinetum graminosum</i> (Pg)	14,9	372
3	Сосново-злаково-ландышево-зеленомошная (Сзлзм) <i>Pinetum graminoso-convallarioso-dicranosum</i> (Pgcd)	9,1	227
4	Сосново-дубово-злаковая (СДз) <i>Pino-quercetum graminosum</i> (PQg)	7,4	186
5	Сосново-дубово-злаково-купеново-зеленомошная (СДзкм) <i>Pino-quercetum graminoso-polygonatoso-dicranosum</i> (PQgpd)	6,6	165
6	Сосново-злаково-ландышевая (Сзл) <i>Pinetum graminoso-convallariosum</i> (Pgc)	5	124
7	Сосново-дубово-злаково-ландышевая (СДзл) <i>Pino-quercetum graminoso-convallariosum</i> (PQgc)	3,3	83
8	Сосново-дубово-злаково-зеленомошная (СДззм) <i>Pino-quercetum graminoso-dicranosum</i> (PQgd)	3,3	83
9	Сосново-ландышево-купеново-зеленомошная (Слкм) <i>Pinetum convallarioso-polygonatoso-dicranosum</i> (Pcpd)	3,3	83
10	Злаково-ландышево-зеленомошная в окне (Озлзм) <i>Graminoso-convallarioso-dicranosa in a gap</i> (Ggcd)	1,7	41
11	Малиново-злаковая в окне (Омз) <i>Rubetoso-graminosa in a gap</i> (Grg)	0,8	21
12	Сосново-вязово-ландышевая (СВл) <i>Pino-ulmetum convallariosum</i> (PUc)	0,8	21
	Итого Total	100	2500

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' calculations

В представленном типе леса, парцеллы подразделяются по доминантам растительного компонента, так как данное насаждение является чистым с примесью дуба. Внешний облик биогеоценоза, а также обменные процессы определяют две основные парцеллы – сосново-злаково-зеленомошная (Сззм) и сосново-злаковая (Сз). По занимаемой площади сосново-злаково-зеленомошная (Сззм) парцелла является доминирующей и составляет 43,8 % площади исследуемого участка. Проективное покрытие мха (*Dicranum undulatum*) в напочвенном по-

крове достигает 75 %, а доля участия травяного покрова с преобладанием мятлика борového (*Poa nemoralis*) составила не более 20 %.

Доминантное значение в мохово-лишайниковом ярусе парцеллы занимает дикранум волнистый (*Dicranum undulatum*), который способствует формированию единого фитогенного поля, в пределах которого формируется однонаправленное воздействие на почвенный покров и его свойства [37]. Сосново-злаковая (Сз) парцелла несколько уступает первой и занимает 14,9% площади. Геоботанические

исследования показали, что от предыдущей парцеллы она отличается выраженным злаковым травяным покровом, в котором значительное участие принимают два доминирующих вида – вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*) с проективным покрытием 45 % и мятлик боровой (*Poa nemoralis*) – проективное покрытие 40 %.

К дополняющим парцеллам, в составе которых находятся несколько эдификаторов – сосна и дуб, мы относим следующие с соответствующей долей в общей площади: сосново-дубово-злаковая

(СДз) – 7,0 %, сосново-дубово-злаково-купеново-зеленомошная (СДзкзм) – 6,6 %, сосново-дубово-злаково-ландышевая (СДзл) – 3,3 % и сосново-дубово-злаково-зеленомошная (СДззм) – 3,3 %. Однако их суммарное значение (около 20,6 %) может вносить значительный вклад в пространственную структуру лесного насаждения.

Рассмотрим рис. 2, иллюстрирующий парцеллярную структуру фитоценоза соснового бора и пространственное распределение содержания и запасов углерода в верхнем 10-сантиметровом слое почв.

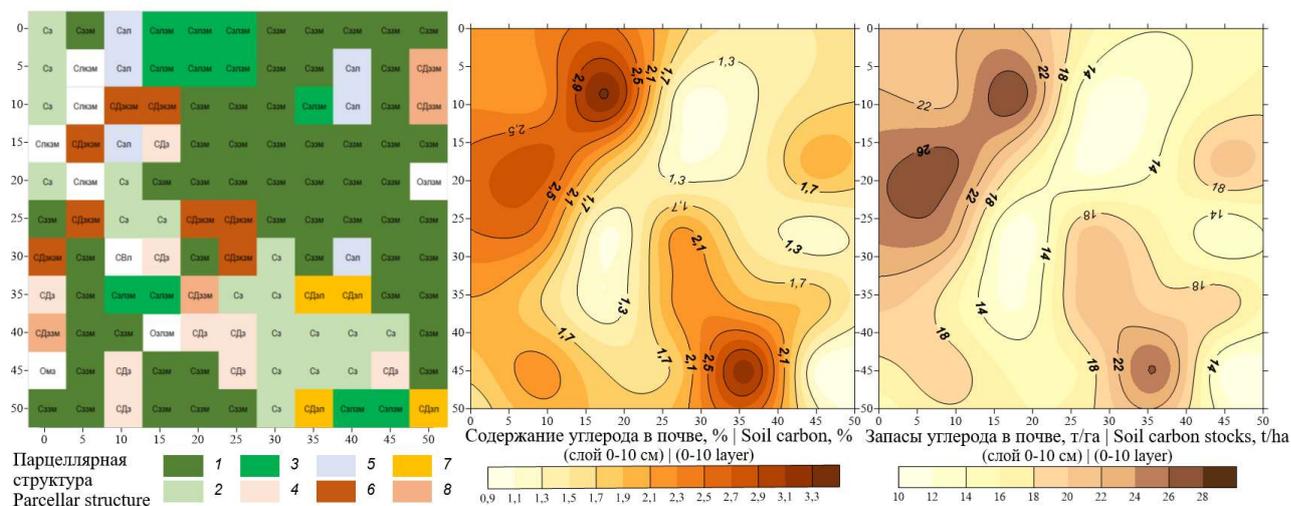


Рисунок 2. Парцеллярная структура фитоценоза, пространственное распределение содержания и запасов углерода в почвах соснового бора. Номера парцелл соответствуют таблице 1

Figure 2. Parcellar structure of phytocoenosis, spatial distribution of carbon content and stocks in soils of pine forest. Parcell numbers correspond to Table 1

Источник: собственная композиция авторов
Source: authors' composition

Наглядно видно, что парцеллярная структура характеризуется выраженным мозаичным распределением парцелл, каждая из которых имеет свои специфические черты, определяемые доминирующим растительным компонентом. Анализ карт пространственного распределения содержания и запасов углерода в почвах показывает их значительное сходство: лишь на двух-трёх участках фиксируются значения содержания углерода, превышающие 2,0 %, а запасы углерода достигают более 20 тС/га. На большей площади содержание углерода в верхнем слое почв не превышает 1,8 % (запасы – 18 тС/га).

Сравнение пространственного распределения углерода в почвах с картой распределения парцелл на рис. 1 позволяет предположить, что доминирующая в фитоценозе Сззм соотносится преимущественно с невысокими запасами углерода. Это может быть связано с низкой продуктивностью травяного компонента в парцелле и ограниченным поступлением органического вещества на поверхность почвы, поскольку плотный моховой покров препятствует этому. В отличие от этого, Сз демонстрирует более высокие значения содержания углерода в почве, что может быть следствием продуктивного злакового травяного покрова, и накопление углерода в таких парцеллах может быть связано с более

интенсивным разложением травяного компонента подстилки. Дополняющие парцеллы, такие как сосново-дубовые с различным составом травяного компонента в общей сумме составляют около 20% площади, при этом им соответствуют значения содержания углерода, сопоставимые или несколько превышающие показатели сосново-злаковой парцеллы. Вероятно, наличие дуба в насаждении, несмотря на его относительно небольшую долю и малый размер деревьев, способствует увеличению запасов углерода за счёт значительного объёма опада и более интенсивного процесса гумусообразования.

Заметим, что пространственная неоднородность содержания углерода выражена не только

между различными парцеллами, но и внутри одной парцеллы. Так, зеленомошные парцеллы, несмотря на общее преобладание, демонстрируют вариабельность запасов углерода, что, вероятно, связано с микроклиматическими факторами, а также с локальными особенностями состава подстилки. В травяных парцеллах это влияние может быть ещё более выраженным вследствие меньшей однородности растительного покрова.

При анализе парцеллярной структуры смешанного широколиственного насаждения – дубнякосоко-снытьевый Досн, обращает на себя внимание сложная парцеллярная структура, связанная с разнообразием растительных компонентов (табл. 2).

Таблица 2

Распределение площадей биогеоценологических парцелл в нагорной дубраве на пробной площади № 6-1

Table 2

Distribution of biogeocoenotic parcels areas in upland oak forest at sample plot No. 6-1

№ п/п	Парцелла Parcell	Доля, % Percentage, %	Площадь, m ² Area, m ²
1	Липово-кленово-осоковая (ЛКос) <i>Tilio-aceretum caricosum</i> (ТАс)	30,6	764
2	Кленово-осоковая (Кос) <i>Aceretum caricosum</i> (Ас)	14,9	372
3	Липово-кленово-лещиново-осоковая (ЛКлщос) <i>Tilio-aceretum coryloso-caricosum</i> (ТАсрс)	11,6	289
4	Дубово-кленово-липово-осоково-снытьевая (ДКЛоссн) <i>Querceto-acero-tilietum caricoso-aegopodiosum</i> (QATca)	8,3	207
5	Липово-осоковая (Лос) <i>Tilietum caricosum</i> (Тс)	6,6	165
6	Липово-кленово-снытьевая (ЛКсн) <i>Tilio-aceretum aegopodiosum</i> (ТАа)	6,6	165
7	Липово-кленово-звездчатковая (ЛКз) <i>Tilio-aceretum stellariosum</i> (ТАс)	5,0	124
8	Липово-дубово-осоковая (ЛДос) <i>Tilio-quercetum caricosum</i> (ТQс)	3,3	83
9	Кленово-дубово-осоковая (КДос) <i>Acero-quercetum caricosum</i> (AQс)	3,3	83
10	Липово-кленово-осоково-снытьевая (ЛКоссн) <i>Tilio-aceretum caricoso-aegopodiosum</i> (ТАса)	3,3	83
11	Кленово-ясенево-осоковая (КЯос) <i>Acero-fraxinetum caricosum</i> (AFс)	3,3	83
12	Кленово-осоково-снытьевая (Коссн) <i>Aceretum caricoso-aegopodiosum</i> (Аса)	0,8	21
13	Дубово-осоковая (Дос) <i>Quercetum caricosum</i> (Qс)	0,8	21
14	Липово-ясенево-звездчатковая (ЛЯсз) <i>Tilio-fraxinetum stellariosum</i> (TFс)	0,8	21

15	Ясенево-осоковая (Ясос) <i>Fraxinetum caricosum</i> (Fc)	0,8	21
	Итого Total	100	2500

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' calculations

Рассматривая, парцеллярное строение насаждения можно выделить три основных парцеллы: липово-кленово-осоковая (ЛКос) 30,6 %, кленово-осоковая (Кос) 14,9 % и липово-кленово-лещиново-осоковая (ЛКлщос) 11,6 %. Необходимо отметить, что данная горизонтальная пространственная структура насаждения в Воронежской нагорной дубраве вызвана деградационными процессами, которые усугубляются активной конкурентной борьбой порослевого дуба с породами-спутниками (липой мелко-

листной, кленом остролистным, ясенем обыкновенным), что крайне препятствует естественному возобновлению дуба под пологом древостоя [38] и ведет к утрате его доминирующей роли в составе древесного яруса. Так, доля дополняющих парцелл с участием дуба составляет всего 15,7 % общей площади.

На рис. 3 представлена парцеллярная структура фитоценоза нагорной дубравы и пространственное распределение содержания и запасов углерода в верхнем 10-сантиметровом слое почв.

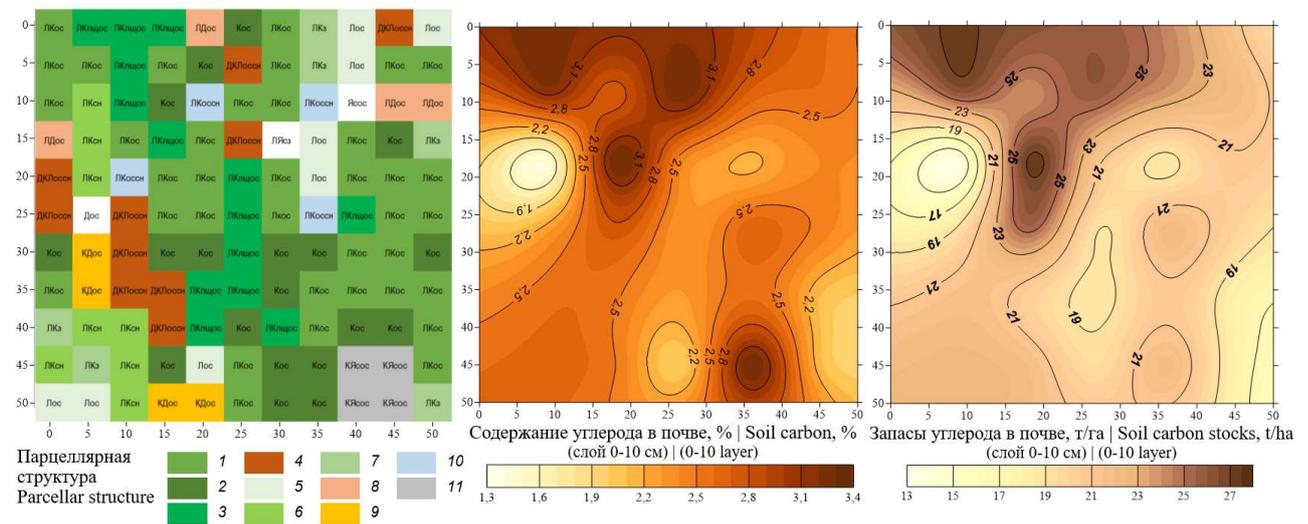


Рисунок 3. Парцеллярная структура фитоценоза, пространственное распределение содержания и запасов углерода в почвах нагорной дубравы. Номера парцелл соответствуют таблице 2

Figure 3. Parcellar structure of phytocoenosis, spatial distribution of carbon content and stocks in soils of upland oak forest. Parcell numbers correspond to Table 2

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Очевидно, что парцеллярная структура дубравы отличается высокой сложностью и очень выраженной мозаичностью. Сопоставление карт пространственного распределения содержания углерода и углеродных запасов показывает, что максимальные значения углерода характерны для участков с густым подростом клёна и подлеском из лещины. На таких участках содержание углерода составляет более 2,8 %, а запасы превышают 25 тС/га.

В то же время на значительной части площади содержание углерода варьирует от 1,8 до 2,5 % (запасы – от 13 до 23 тС/га).

Сравнение пространственного распределения углерода в почвах с картой парцеллярной структуры на рисунке 3 показывает, что высокие значения содержания и запасов углерода характерны для липово-кленовых парцелл (ЛКос, Лклщос), занимающих более 40 % площади. Это может быть связано с высокой продуктивностью липы и клёна, а также

значительным объёмом опада, который активно разлагается, способствуя накоплению органического вещества в почве. Кроме того, локальный густой подрост лещины создаёт благоприятные условия для накопления углерода в почве. На участках кленово-осоковых (*Кос*) парцелл содержание углерода ниже. Это может быть обусловлено слабым развитием или отсутствием подроста и подлеска в этой парцелле, что приводит к меньшему объёму опада, поступающего на поверхность почвы. Участки с парцелл с участием дуба в качестве соэдификатора (*ДКЛосн, ЛДос*), несмотря на их относительно небольшую площадь, иногда также демонстрируют повышенные значения запасов углерода в почвах.

Липово-кленово-осоковые участки, несмотря на доминирование, демонстрируют заметную вариативность содержания углерода, что, вероятно, связано с локальными особенностями плотности дре-

весного покрова, состава подстилки и микроклиматических условий. В парцеллах с густым кленовым подростом и подлеском лещины содержание углерода может возрасти, в то время как на участках с травяным компонентом неоднородность содержания углерода может быть более выраженной. Дегра-дация дуба и утрата его доминирующего положения в составе древесного яруса, замещение его клёном и липой изменяет пространственное распределение углерода, снижает вклад дубовых парцелл в формирование пула углерода в почвах.

Статистический анализ данных, результаты которого обобщены в табл. 3, демонстрирует отсутствие статистически достоверных различий в содержании и запасах углерода в почвах между группами парцелл. Однако можно отметить определённые тенденции, которые прослеживаются в условиях двух контрастных типов леса.

Таблица 3

Статистические данные по содержанию и запасам углерода в лесных почвах (слой 0-10 см), соответствующих участкам парцелл

Table 3

Statistical data on carbon content and stocks in forest soils (0-10 cm layer) corresponding to parcel areas

Тип лесного биогеоценоза Forest type	Парцеллы Parcels	C, %		Запасы углерода, кгС/м ² Carbon stocks, kgC/m ²	
		M±SD	min-max	M±SD	min-max
Сосновый бор Pine forest	Зеленомошные (Сззм, Сзлзм, Слкзм) <i>Dicranosus</i> (Pgd, Pgcd, Pcpd)	1,89±0,62	1,05-3,19	1,81±0,51	1,03-2,68
	Травяные (Сз, Сзл) <i>Herbaceous</i> (Pg, Pgc)	1,48±0,35	1,14-1,83	1,57±0,40	1,12-1,92
	Дубовые (СДз, СДзкм, СДзл, СДззм) <i>Quercosus</i> (PQg, PQgpd, PQgc, PQgd)	1,81±0,78	1,06-3,29	1,72±0,58	1,13-2,73
Нагорная дубрава Upland oak forest	Липово-кленовые (ЛКос, ЛКлшос, ЛКсн, ЛКз, ЛКосн) <i>Tilio-acerosus</i> (TAc, TAcrc, TAc, TAcA)	2,56±0,45	1,44-3,28	2,13±0,30	1,38-2,71
	Кленовые (Кос, Косн) <i>Acerosus</i> (Ac, AcA)	2,28±0,20	2,10-2,50	1,96±0,20	1,79-2,19
	Дубовые (ДКЛосн, ЛДос, КДос, Дос) <i>Quercosus</i> (QATca, TQc, AQc, Qc)	2,63±0,44	2,17-3,26	2,26±0,34	1,86-2,57

Источник: собственные вычисления авторов
Source: authors' calculations

Для дубняка осоко-снытьевого (Д_{осн}) высокие значения содержания углерода наблюдаются в липово-кленовых парцеллах (2,56±0,45 %). В свою очередь, дубовые парцеллы, несмотря на их меньшую площадь, демонстрируют сопоставимые значения содержания углерода (2,63±0,44 %). Кленовые парцеллы показывают несколько более низкие значения содержания углерода (2,28±0,20 %) и запасов (1,96±0,20 кгС/м²).

В сосняке травяном с дубом (С_{срт}) выделяются зеленомошные парцеллы (С_{ззм}, С_{злзм}, С_{лкзм}) с содержанием углерода 1,89±0,62 % и запасами 1,81±0,51 кгС/м². Это можно объяснить особенностями мохового покрова, который, хотя и способствует стабилизации органического вещества, ограничивает поступление опада на поверхность почвы, что снижает общую продуктивность углеродных пулов. Травяные парцеллы в сосняке (С_з, С_{зл}) в среднем характеризуются ещё более низкими значениями содержания углерода (1,48±0,35 %) и запасов (1,57±0,40 кгС/м²).

Отсутствие статистически значимых различий между парцеллами может быть связано с несколькими причинами. Во-первых, углеродные процессы в почве зависят не только от растительного состава, но и от множества факторов, таких как микроклимат, свойства почв. Во-вторых, вариабельность данных внутри каждой группы парцелл может быть обусловлена локальными особенностями среды, включая влажность, освещённость и активность почвенной микрофлоры, сукцессионными процессами.

Данные, представленные в табл. 4, позволяют провести анализ содержания и запасов углерода в лесных почвах (слой 0–10 см) в зависимости от микрозон тессеры. Этот подход позволяет оценить, как изменяется углеродный статус в почвах под фитогенным полем одного вида дерева. Следует отметить, что исследование микрозон тессеры – приствольной, подкрановой и межкрановой – даёт возможность проследить закономерности распределения углерода, обусловленные взаимодействием эдификатора и почвы на локальном уровне.

Таблица 4

Статистические данные по содержанию и запасам углерода в лесных почвах (слой 0-10 см) в разных микрозонах тессеры

Table 4

Statistical data on carbon content and stocks in forest soils (0-10 cm layer) in different tessera microzones

Тип лесного биогеоценоза Forest type	Древесная порода Tree species	Микрозоны тессеры Tessera microzones	C, %		Запасы углерода, кгС/м ² Carbon stocks, kgC/m ²	
			M±SD	min-max	M±SD	min-max
Сосновый бор Pine forest	Сосна Pine	ПС NT	3,60±1,66	2,44-5,51	3,78±2,18	2,13-6,26
		ПК SC	2,62±0,31	2,30-2,91	2,73±0,35	2,33-3,02
		МК IC	2,37±0,45	1,89-2,78	2,67±0,62	2,03-3,28
	Сосна и дуб Pine and oak	ПС NT	3,07±0,72	2,33-3,78	3,18±0,91	2,32-4,14
		ПК SC	2,95±0,29	2,66-3,24	3,51±0,66	2,75-3,92
		МК IC	2,14±0,25	1,92-2,41	2,57±0,31	2,28-2,91
Нагорная дубрава Upland oak forest	Липа Linden	ПС NT	3,05±0,14	2,95-3,15	3,42±0,55	3,04-3,81
		ПК SC	2,89±0,40	2,61-3,18	3,02±0,28	2,82-3,22
		МК IC	2,48	–	2,80	–

Клен Marple	ПК NT	3,03±0,19	2,90-3,16	3,45±0,28	3,25-3,66
	ПК SC	2,75±0,54	2,37-3,13	2,93±0,64	2,48-3,39
	МК IC	2,64	–	2,77	–
Дуб Oak	ПК NT	2,53±0,05	2,50-2,57	2,53±0,01	2,52-2,54
	ПК SC	2,43±1,47	1,39-3,48	2,64±1,73	1,41-3,86
	МК IC	2,34±0,75	1,81-2,87	2,43±0,73	1,92-2,95

Примечание – Микрзоны тессеры: ПК – приствольный участок, ПК – подкрановое пространство, МК – межкрановое пространство. Статистически значимые различия ($p < 0,05$) между парцеллами в пределах одного типа леса отмечены (*)

Note - Tessera microzones: NT – near trunk, SC – subcrown area, IC – intercrown area. Statistically significant differences ($p < 0,05$) between parcels within the same forest type are marked (*)

Источник: собственные вычисления авторов

Source: authors' calculations

В условиях хвойного леса ($C_{срт}$) в приствольной зоне сосны содержание углерода в почвах, как правило, достигает максимальных значений ($3,60 \pm 1,66$ %), варьируя от 2,4 до 5,51 %. В этой микроне происходит значительное накопление древесного опада, в том числе за счёт коры («приствольные повышения»). В подкрановых участках, находящихся в границах проекции кроны, содержание углерода несколько в среднем снижается до $2,62 \pm 0,31$ %, при этом диапазон варьирования оказывается более узким: от 2,30 до 2,91 %. Здесь влияние дерева на почвенные процессы определяется преимущественным поступлением опада хвои. В межкрановой зоне, расположенной за пределами кроны, содержание углерода минимально ($2,37 \pm 0,45$ %), что, очевидно, связано с ограниченным поступлением опада. Аналогичное распределение наблюдается и для запасов углерода, средние значения которого также убывают в последовательности (в kgC/m^2): ПК (3,78) > ПК (2,73) > МК (2,67). Радиально-концентрическое перекрытие фитогенных полей сосны (главного эдификатора) и дуба черешчатого нарушает эту последовательность и характеризуется увеличением запасов углерода в подкрановых пространствах. В дубняке осоко-снытьевом ($D_{осн}$) содержание углерода в среднем убывает также в классической последовательности по мере удаления от ствола у всех видов древесных пород, однако запасы углерода в почве в пределах фитогенного поля дуба характеризовались близкими средними значениями. Отметим также, что в условиях

высокой сомкнутости крон деревьев межкрановые участки либо не выделялись, либо соотносились с границей проекции кроны дерева.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что строгих статистически подтвержденных закономерностей в изменении углеродных пулов между парцеллами и микроне тессер не выявлено. При этом, можно отметить определённые тенденции, связанные с влиянием пространственной структуры фитоценоза на распределение углерода в лесных почвах. Высокая вариабельность данных внутри каждой группы парцелл может быть связана с локальными особенностями среды, включая уровень увлажнения, освещённости, активность почвенной микробиоты и сукцессионные процессы. Эти результаты отражают сложный характер взаимодействия биотических и абиотических факторов и хорошо согласуются с выводами, сделанными в аналогичных исследованиях [9, 39], в которых подчёркивалась значимость совместного влияния растительности и микроклиматических условий.

Особого внимания заслуживает анализ пространственной изменчивости запасов углерода в пределах микрон тессеры. Согласно полученным данным, в приствольных зонах, где наблюдается максимальная интенсивность влияния деревьев, запасы углерода достигают наибольших значений. Здесь создаются благоприятные условия для накопления органического вещества за счёт обильного опада. Напротив, в межкрановых зонах влияние де-

ревьев ослабевает, что приводит к снижению запасов углерода. Данная закономерность подтверждается исследованиями, описывающими радиально-концентрическую дифференциацию запасов углерода в пределах функционального поля дерева [40]. Однако, в сомкнутых насаждениях взаимное перекрывание функциональных полей деревьев и ярусов лесного биогеоценоза ограничивает выраженность этой дифференциации [41], что наблюдается в лиственном лесу. Исследования показывают, что виды деревьев не всегда оказывают значительное влияние на запасы углерода в верхнем слое почвы, во многих случаях такого влияния не прослеживается [32, 42, 43].

Сопоставляя два типа леса, можно отметить, что дубняк осоко-снытьевый характеризуется более высоким содержанием и запасами углерода в серогумусовых почвах, по сравнению с сосняком травяным с дубом. Это в определенной мере отражает различия в гранулометрическом составе почв. Кроме того, специфический состав лиственной подстилки способствует быстрому разложению опада в дубраве. Согласно эмпирическим исследованиям, разложение лиственной подстилки происходит быстрее, чем хвойного опада и мха [44–46], что обеспечивает интенсивное поступление углерода в почву. В хвойном лесу мох и травяной покров оказывают менее выраженное влияние на углеродные пулы из-за низкой интенсивности процессов гумусообразования и ограниченного поступления органики в минеральные горизонты почв.

Заключение

Проведённое исследование позволило установить, что распределение запасов органического углерода в верхнем минеральном слое лесных почв лесостепной зоны Воронежской области во многом

определяется совокупным влиянием доминирующих древесных пород и других компонентов фитоценозов, однако статистически значимых различий между выделенными парцеллами выявлено не было ($p > 0,05$). Наибольшее содержание (до 2,8–3,0 %) и максимальные запасы углерода (до 25 т С/га) обнаружены в условиях дубравы с участием клёна остролистного и липы мелколистной. В сосновом бору с небольшой долей дуба черешчатого содержание углерода, как правило, не превышало 2,0 %. Анализ распределения углерода по тессерам показал незначительное варьирование между приствольной, подкороновой и межкороновой зонами, указывая на отсутствие выраженной дифференциации микрозон внутри одного фитогенного поля.

Полученные результаты подтверждают, что участие лиственных пород, характеризующихся высокой продуктивностью и обильным листовым опадом, способствует увеличению пула углерода в лесных почвах, однако структурная мозаичность фитоценоза не формирует устойчивых закономерностей в пространственном распределении органического углерода. Это свидетельствует о комплексном характере взаимодействия биотических и абиотических факторов в лесных экосистемах лесостепной зоны и подчёркивает необходимость дальнейших исследований, направленных на детальное изучение влияния микроклиматических условий, видового состава и сукцессионных процессов на формирование запасов углерода в различных ярусах лесной экосистемы. Применение пространственного анализа, включающего учёт микрозональной структуры и факторов среды, открывает перспективы для получения более достоверной оценки углеродного баланса и его прогнозирования в условиях изменяющегося климата.

Список литературы

1. IPCC. Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee, J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. – 2023. – pp. 35–115. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
2. Stavi I., Lal R. Agroforestry and biochar to offset climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013; 33(1): 81–96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0081-1>
3. Lal R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008; 363(1492): 815–830. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>

4. Calvo De Anta R., Luís E., Febrero-Bande M., Galiñanes J., Macías F., Ortíz R., Casás F. Soil organic carbon in peninsular Spain: Influence of environmental factors and spatial distribution. *Geoderma*. 2020; 370: 114365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114365>
5. Дылис Н.В. Структура лесного биогеоценоза: Комаровские чтения, XXI. – Москва: Наука, 1969. – 55 с.
6. Уранов А.А. Фитогенное поле. Проблемы современной ботаники. Т. 1. – М.–Л.: Наука, 1965. – С. 251–254.
7. Zaharescu D.G., Burghilea C.I., Dontsova K., Reinhard C.T., Chorover J., Lybrand R. Biological Weathering in the Terrestrial System: An Evolutionary Perspective. In: *Geophysical Monograph Series / K. Dontsova, Z. Balogh-Brunstad, G. Le Roux (eds.)*. – Wiley, 2020. – P. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119413332.ch1>
8. Hooper D.U., Bignell D.E., Brown V.K., Brussard L., Mark Dangerfield J., Wall D.H., Wardle D.A., Coleman D.C., Giller K.E., Lavelle P., Van Der Putten W.H., De Ruiter P.C., Rusek J., Silver W.L., Tiedje J.M., Wolters V. Interactions between Aboveground and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems: Patterns, Mechanisms, and Feedbacks. *BioScience*. 2000; 50(12): 1049. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[1049:IBAABB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[1049:IBAABB]2.0.CO;2)
9. Vanbergen A.J., Watt A.D., Mitchell R., Truscott A.-M., Palmer S.C.F., Ivits E., Eggleton P., Jones T.H., Sousa J.P. Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient. *Oecologia*. 2007; 153(3): 713–725. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0766-3>
10. Карпачевский Л.О., Ашинов Ю.Н., Березин Л.В. Курс лесного почвоведения. – Майкоп: Аякс, 2009. – 345 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23114990>
11. Лукина Н.В., Орлова М.А., Исаева Л.Г. Плодородие лесных почв как основа взаимосвязи почва-растительность. *Лесоведение*. – 2010. – № 5. – С. 45–56. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15201407>
12. Орлова М.А., Лукина Н.В., Кульпина Т.С., Камаев И.О., Смирнов В.Э., Кравченко Т.В. Мозаичность лесных биогеоценозов и продуктивность почв. *Лесоведение*. – 2011. – № 6. – С. 39–48. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17097643>
13. Арчегова И.Б., Кузнецова Е.Г. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов. *Лесоведение*. – 2011. – № 3. – С. 34–43. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16367346>
14. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. – Москва: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.
15. Luysaert S., Schulze E.-D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature*. 2008; 455(7210): 213–215. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07276>
16. Angst G., Messinger J., Greiner M., Häusler W., Hertel D., Kirfel K., Kögel-Knabner I., Leuschner C., Rethemeyer J., Mueller C.W. Soil organic carbon stocks in topsoil and subsoil controlled by parent material, carbon input in the rhizosphere, and microbial-derived compounds. *Soil Biology and Biochemistry*. 2018; 122: 19–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.026>
17. Poorter L., Craven D., Jakovac C.C., Van Der Sande M.T., Amissah L., Hérault B., et al. Multidimensional tropical forest recovery. *Science*. 2021; 374(6573): 1370–1376. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abh3629>
18. Heinrich V.H.A., Vancutsem C., Dalagnol R., Rosan T.M., Fawcett D., Silva-Junior C.H.L., Cassol H.L.G., Achard F., Jucker T., Silva C.A., House J., Sitch S., Hales T.C., Aragão L.E.O.C. The carbon sink of secondary and degraded humid tropical forests. *Nature*. 2023; 615(7952): 436–442. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05679-w>
19. Cao J., Wang X., Tian Y., Wen Z., Zha T. Pattern of carbon allocation across three different stages of stand development of a Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) forest. *Ecological Research*. 2012; 27(5): 883–892. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-012-0965-1>

20. Li S., Su J., Liu W., Lang X., Huang X., Jia C., Zhang Z., Tong Q. Changes in Biomass Carbon and Soil Organic Carbon Stocks following the Conversion from a Secondary Coniferous Forest to a Pine Plantation. *PLOS ONE*. 2015; 10(9): e0135946. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135946>
21. Sariyildiz T., Savaci G., Kravkaz I. Effects of tree species, stand age and land-use change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2016; 9(1): 165–170. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor1567-008>
22. Balesdent J., Chenu C., Balabane M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*. 2000; 53(3–4): 215–230. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5)
23. Подвезенная М.А., Рыжова И.М. Зависимость вариабельности запасов углерода в почве от пространственной структуры растительного покрова лесных биогеоценозов. *Вестник Московского Университета. Серия 17: Почвоведение*. – 2010. – № 4. – С. 3–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16903495>
24. Mayer S., Wiesmeier M., Sakamoto E., Hübner R., Cardinael R., Kühnel A., Kögel-Knabner I. Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2022; 323: 107689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
25. Osei R., Del Río M., Ruiz-Peinado R., Titeux H., Bielak K., Bravo F., Collet C., Cools C., Cornelis J.-T., Drössler L., Heym M., Korboulewsky N., Löf M., Muys B., Najib Y., Nothdurft A., Pretzsch H., Skrzyszewski J., Ponette Q. The distribution of carbon stocks between tree woody biomass and soil differs between Scots pine and broadleaved species (beech, oak) in European forests. *European Journal of Forest Research*. 2022; 141(3): 467–480. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01453-9>
26. Getino-Álvarez M., San-Martin R., Pretzsch H., Pach M., Bravo F., Turrión M.-B. Assessing soil C stock and C to N ratio of soil organic matter under mixed pine-beech forests at different scales. *European Journal of Forest Research*. 2023; 142(5): 1081–1098. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01578-5>
27. Dawud S.M., Raulund-Rasmussen K., Domisch T., Finér L., Jaroszewicz B., Vesterdal L. Is Tree Species Diversity or Species Identity the More Important Driver of Soil Carbon Stocks, C/N Ratio, and pH? *Ecosystems*. 2016; 19(4): 645–660. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9958-1>
28. López-Marcos D., Martínez-Ruiz C., Turrión M.-B., Jonard M., Titeux H., Ponette Q., Bravo F. Soil carbon stocks and exchangeable cations in monospecific and mixed pine forests. *European Journal of Forest Research*. 2018; 137(6): 831–847. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1143-y>
29. Shi Y., Baumann F., Ma Y., Song C., Kühn P., Scholten T., He J.-S. Organic and inorganic carbon in the topsoil of the Mongolian and Tibetan grasslands: pattern, control and implications. *Biogeosciences*. 2012; 9(6): 2287–2299. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-9-2287-2012>
30. Simons C.H., Williams R.A. Influence of Oak and Maple Species on Soil Carbon: A Case Study. *Agricultural Research and Technology*. 2024; 28(4): 556419
31. Vesterdal L., Clarke N., Sigurdsson B.D., Gundersen P. Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *Forest Ecology and Management*. 2013; 309: 4–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.017>
32. Boča A., Van Miegroet H., Gruselle M.-C. Forest Overstory Effect on Soil Organic Carbon Storage: A Meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal*. 2014; 78(S1). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.08.0332nafsc>
33. Peng Y., Schmidt I.K., Zheng H., Heděnc P., Bachega L.R., Yue K., Wu F., Vesterdal L. Tree species effects on topsoil carbon stock and concentration are mediated by tree species type, mycorrhizal association, and N-fixing ability at the global scale. *Forest Ecology and Management*. 2020; 478: 118510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118510>
34. Fleck S., Eickenscheidt N., Ahrends B., Evers J., Grüneberg E., Ziche D., Höhle J., Schmitz A., Weis W., Schmidt-Walter P., Andreae H., Wellbrock N. Nitrogen Status and Dynamics in German Forest Soils. In: *Status and Dynamics of Forests in Germany: Ecological Studies / N*. Wellbrock, A. Bolte (eds.). – Cham: Springer International Publishing, 2019. – Vol. 237. – P. 123–166. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_5

35. Rodeghiero M., Vesterdal L., Marcolla B., Vescovo L., Aerts W., Martinez C., Di Cosmo L., Gasparini P., Gianelle D. Soil nitrogen explanatory factors across a range of forest ecosystems and climatic conditions in Italy. *Forest Ecology and Management*. 2018; 408: 25–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.039>
36. Steffens C., Beer C., Schelfhout S., De Schrijver A., Pfeiffer E., Vesterdal L. Do tree species affect decadal changes in soil organic carbon and total nitrogen stocks in Danish common garden experiments? *European Journal of Soil Science*. 2022; 73(1): e13206. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13206>
37. Карпачевский Л.О. Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 312 с.
38. Харченко Н.Н., Мельников Е.Е., Миронов Д.С. К вопросу об особенностях сукцессионных процессов в порослевых дубравах Центрального Черноземья. Сборник научных статей «Леса, лесной сектор и экология Республики Татарстан». – Казань: Школа, 2007. – Т. 3. – С. 374–376. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22669496>
39. Pedrotti E., Rydin H., Ingmar T., Hytteborn H., Turunen P., Granath G. Fine-scale dynamics and community stability in boreal peatlands: revisiting a fen and a bog in Sweden after 50 years. *Ecosphere*. 2014; 5(10): 1–24. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES14-00202.1>
40. Ипатов В.С., Журавлева Е.Н., Лебедева В.Х., Тиходеева М.Ю. Фитогенное поле *Picea abies*, *P. obovate* (Pinaceae). *Ботанический журнал*. – 2009. – Т. 94, № 4. – С. 558–568. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17009165>
41. Крышень А.М. Фитогенное поле: теория и проявление в природе. *Известия АН. Серия биологическая*. – 2000. – № 4. – С. 437–443. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23090127>
42. Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A., Augusto L., Cécillon L., Ferreira G.W.D., James J., Jandl R., Katzensteiner K., Laclau J.-P., Laganière J., Nouvellon Y., Paré D., Stanturf J.A., Vanguelova E.I., Vesterdal L. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management*. 2020; 466: 118127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>
43. Vesterdal L., Clarke N., Sigurdsson B.D., Gundersen P. Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? *Forest Ecology and Management*. 2013; 309: 4–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.017>
44. Dorrepaal E., Cornelissen J.H.C., Aerts R., Wallén B., Van Logtestijn R.S.P. Are growth forms consistent predictors of leaf litter quality and decomposability across peatlands along a latitudinal gradient? *Journal of Ecology*. 2005; 93(4): 817–828. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01024.x>
45. Lang S.I., Cornelissen J.H.C., Klahn T., Van Logtestijn R.S.P., Broekman R., Schweikert W., Aerts R. An experimental comparison of chemical traits and litter decomposition rates in a diverse range of subarctic bryophyte, lichen and vascular plant species. *Journal of Ecology*. 2009; 97(5): 886–900. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01538.x>
46. Straková P., Niemi R.M., Freeman C., Peltoniemi K., Toberman H., Heiskanen I., Fritze H., Laiho R. Litter type affects the activity of aerobic decomposers in a boreal peatland more than site nutrient and water table regimes. *Biogeosciences*. 2011; 8(9): 2741–2755. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-8-2741-2011>

References

1. IPCC. Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee, J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2023; pp. 35–115. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
2. Stavi I., Lal R. *Agroforestry and biochar to offset climate change: a review*. *Agronomy for Sustainable Development*. 2013; 33(1): 81–96. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0081-1>
3. Lal R. *Carbon sequestration*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2008; 363(1492): 815–830. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>

4. Calvo De Anta R., Luis E., Febrero-Bande M., Galiñanes J., Macías F., Ortíz R., Casás F. *Soil organic carbon in peninsular Spain: Influence of environmental factors and spatial distribution*. Geoderma. 2020;370:114365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114365>
5. Dylis N. V. *Struktura lesnogo biogeotsenoza: Komarovskie chteniya, XXI* [Structure of the forest biogeocoenosis: Komarov Readings, XXI]. Moscow: Nauka; 1969. 55 p. (In Russ.)
6. Uranov A. A. *Fitogennoe pole* [Phytogenic field]. In: Problemy sovremennoy botaniki. Vol. 1. Moscow–Leningrad: Nauka; 1965. p. 251–254. (In Russ.)
7. Zaharescu D. G., Burghelea C. I., Dontsova K., Reinhard C. T., Chorover J., Lybrand R. *Biological Weathering in the Terrestrial System: An Evolutionary Perspective*. In: Dontsova K., Balogh-Brunstad Z., Le Roux G. (eds.). Geophysical Monograph Series. Wiley; 2020. p. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119413332.ch1>
8. Hooper D. U., Bignell D. E., Brown V. K., Brussard L., Mark Dangerfield J., Wall D. H., Wardle D. A., Coleman D. C., Giller K. E., Lavelle P., Van Der Putten W. H., De Ruiter P. C., Rusek J., Silver W. L., Tiedje J. M., Wolters V. *Interactions between Aboveground and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems: Patterns, Mechanisms, and Feedbacks*. BioScience. 2000;50(12):1049. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[1049:IBAABB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[1049:IBAABB]2.0.CO;2)
9. Vanbergen A. J., Watt A. D., Mitchell R., Truscott A.-M., Palmer S. C. F., Ivits E., Eggleton P., Jones T. H., Sousa J. P. *Scale-specific correlations between habitat heterogeneity and soil fauna diversity along a landscape structure gradient*. Oecologia. 2007;153(3):713–725. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0766-3>
10. Karpachevskiy L. O., Ashinov Yu. N., Berezin L. V. *Kurs lesnogo pochvovedeniya* [Course in forest soil science]. Maykop: Ayaks; 2009. 345 p. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23114990>
11. Lukina N. V., Orlova M. A., Isaeva L. G. *Plodorodie lesnykh pochv kak osnova vzaimosvyazi pochva-rastitel'nost'* [Fertility of forest soils as a basis for the soil–vegetation relationship]. Lesovedenie = Russian Forestry Sciences. 2010;(5):45–56. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15201407>
12. Orlova M. A., Lukina N. V., Kulpina T. S., Kamaev I. O., Smirnov V. E., Kravchenko T. V. *Mozaichnost' lesnykh biogeotsenozov i produktivnost' pochv* [Mosaic nature of forest biogeocoenoses and soil productivity]. Lesovedenie = Russian Forestry Sciences. 2011;(6):39–48. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17097643>
13. Arhegova I. B., Kuznetsova E. G. *Vliyaniye drevesnykh rasteniy na khimicheskiy sostav atmosferynykh osadkov v protsesse vosstanovleniya srednetaezhnykh lesov* [Influence of woody plants on the chemical composition of atmospheric precipitation during the restoration of middle-taiga forests]. Lesovedenie = Russian Forestry Sciences. 2011;(3):34–43. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16367346>
14. Karpachevskiy L. O. *Les i lesnye pochvy* [Forest and forest soils]. Moscow: Lesnaya promyshlennost'; 1981. 264 p. (In Russ.)
15. Luysaert S., Schulze E.-D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B. E., Ciais P., Grace J. *Old-growth forests as global carbon sinks*. Nature. 2008;455(7210):213–215. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature07276>
16. Angst G., Messinger J., Greiner M., Häusler W., Hertel D., Kirfel K., Kögel-Knabner I., Leuschner C., Rethemeyer J., Mueller C. W. *Soil organic carbon stocks in topsoil and subsoil controlled by parent material, carbon input in the rhizosphere, and microbial-derived compounds*. Soil Biology and Biochemistry. 2018;122:19–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.026>
17. Poorter L., Craven D., Jakovac C. C., Van Der Sande M. T., Amissah L., Hérault B., et al. *Multidimensional tropical forest recovery*. Science. 2021;374(6573):1370–1376. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abh3629>
18. Heinrich V. H. A., Vancutsem C., Dalagnol R., Rosan T. M., Fawcett D., Silva-Junior C. H. L., Cassol H. L. G., Achard F., Jucker T., Silva C. A., House J., Sitch S., Hales T. C., Aragão L. E. O. C. *The carbon sink of secondary and degraded humid tropical forests*. Nature. 2023;615(7952):436–442. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05679-w>

19. Cao J., Wang X., Tian Y., Wen Z., Zha T. *Pattern of carbon allocation across three different stages of stand development of a Chinese pine (Pinus tabulaeformis) forest*. Ecological Research. 2012;27(5):883–892. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-012-0965-1>
20. Li S., Su J., Liu W., Lang X., Huang X., Jia C., Zhang Z., Tong Q. *Changes in Biomass Carbon and Soil Organic Carbon Stocks following the Conversion from a Secondary Coniferous Forest to a Pine Plantation*. PLOS ONE. 2015;10(9):e0135946. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135946>
21. Sariyildiz T., Savaci G., Kravkaz I. *Effects of tree species, stand age and land-use change on soil carbon and nitrogen stock rates in northwestern Turkey*. iForest - Biogeosciences and Forestry. 2016;9(1):165–170. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifer1567-008>
22. Balesdent J., Chenu C., Balabane M. *Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage*. Soil and Tillage Research. 2000;53(3–4):215–230. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5)
23. Podvezennaya M. A., Ryzhova I. M. *Zavisimost' variabel'nosti zapasov ugloroda v pochve ot prostanstvennoy struktury rastitel'nogo pokrova lesnykh biogeotsenozov* [Dependence of the variability of carbon stocks in soil on the spatial structure of the plant cover of forest biogeocoenoses]. Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie = Moscow University Soil Science Bulletin. 2010;(4):3–9. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16903495>
24. Mayer S., Wiesmeier M., Sakamoto E., Hübner R., Cardinael R., Kühnel A., Kögel-Knabner I. *Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta-analysis*. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2022;323:107689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
25. Osei R., Del Río M., Ruiz-Peinado R., Titeux H., Bielak K., Bravo F., Collet C., Cools C., Cornelis J.-T., Drössler L., Heym M., Korboulewsky N., Löff M., Muys B., Najib Y., Nothdurft A., Pretzsch H., Skrzyszewski J., Ponette Q. *The distribution of carbon stocks between tree woody biomass and soil differs between Scots pine and broadleaved species (beech, oak) in European forests*. European Journal of Forest Research. 2022;141(3):467–480. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-022-01453-9>
26. Getino-Álvarez M., San-Martin R., Pretzsch H., Pach M., Bravo F., Turrión M.-B. *Assessing soil C stock and C to N ratio of soil organic matter under mixed pine-beech forests at different scales*. European Journal of Forest Research. 2023;142(5):1081–1098. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01578-5>
27. Dawud S. M., Raulund-Rasmussen K., Domisch T., Finér L., Jaroszewicz B., Vesterdal L. *Is Tree Species Diversity or Species Identity the More Important Driver of Soil Carbon Stocks, C/N Ratio, and pH?* Ecosystems. 2016;19(4):645–660. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9958-1>
28. López-Marcos D., Martínez-Ruiz C., Turrión M.-B., Jonard M., Titeux H., Ponette Q., Bravo F. *Soil carbon stocks and exchangeable cations in monospecific and mixed pine forests*. European Journal of Forest Research. 2018;137(6):831–847. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10342-018-1143-y>
29. Shi Y., Baumann F., Ma Y., Song C., Kühn P., Scholten T., He J.-S. *Organic and inorganic carbon in the topsoil of the Mongolian and Tibetan grasslands: pattern, control and implications*. Biogeosciences. 2012;9(6):2287–2299. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-9-2287-2012>
30. Simons C. H., Williams R. A. *Influence of Oak and Maple Species on Soil Carbon: A Case Study*. Agricultural Research and Technology. 2024;28(4):556419
31. Vesterdal L., Clarke N., Sigurdsson B. D., Gundersen P. *Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests?* Forest Ecology and Management. 2013;309:4–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.017>
32. Boča A., Van Miegroet H., Gruselle M.-C. *Forest Overstory Effect on Soil Organic Carbon Storage: A Meta-analysis*. Soil Science Society of America Journal. 2014;78(S1). DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.08.0332nafsc>
33. Peng Y., Schmidt I. K., Zheng H., Heděnc P., Bachega L. R., Yue K., Wu F., Vesterdal L. *Tree species effects on topsoil carbon stock and concentration are mediated by tree species type, mycorrhizal association, and*

N-fixing ability at the global scale. Forest Ecology and Management. 2020;478:118510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118510>

34. Fleck S., Eickenscheidt N., Ahrends B., Evers J., Grüneberg E., Ziche D., Höhle J., Schmitz A., Weis W., Schmidt-Walter P., Andreae H., Wellbrock N. Nitrogen Status and Dynamics in German Forest Soils. In: Wellbrock N., Bolte A. (eds.). *Status and Dynamics of Forests in Germany: Ecological Studies*. Cham: Springer International Publishing; 2019. Vol. 237. p. 123–166. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_5

35. Rodeghiero M., Vesterdal L., Marcolla B., Vescovo L., Aertsen W., Martinez C., Di Cosmo L., Gasparini P., Gianelle D. *Soil nitrogen explanatory factors across a range of forest ecosystems and climatic conditions in Italy*. Forest Ecology and Management. 2018;408:25–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.039>

36. Steffens C., Beer C., Schelfhout S., De Schrijver A., Pfeiffer E., Vesterdal L. *Do tree species affect decadal changes in soil organic carbon and total nitrogen stocks in Danish common garden experiments?* European Journal of Soil Science. 2022;73(1):e13206. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13206>

37. Karpachevskiy L.O. *Pestrota pochvennogo pokrova v lesnom biogeotsenoze* [Variation of the soil cover in a forest biogeocoenosis]. Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta; 1977. 312 p. (In Russ.)

38. Kharchenko N.N., Melnikov E.E., Mironov D.S. *K voprosu ob osobennostyakh sukstsiionnykh protsessov v poroslevykh dubravakh Tsentral'noy Chernozem'ya* [On the issue of the features of successional processes in coppice oak forests of the Central Chernozem region]. In: Sbornik nauchnykh statey «Lesa, lesnoy sektor i ekologiya Respubliki Tatarstan» [Collection of scientific articles “Forests, the forestry sector, and ecology of the Republic of Tatarstan”]. Kazan: Shkola; 2007. Vol. 3. p. 374–376. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22669496>

39. Pedrotti E., Rydin H., Ingmar T., Hyttborn H., Turunen P., Granath G. *Fine-scale dynamics and community stability in boreal peatlands: revisiting a fen and a bog in Sweden after 50 years*. Ecosphere. 2014;5(10):1–24. DOI: <https://doi.org/10.1890/ES14-00202.1>

40. Ipatov V. S., Zhuravleva E. N., Lebedeva V. Kh., Tikhodeeva M. Yu. *Fitogennoe pole Picea abies, P. obovate (Pinaceae)* [Phytogenic field of *Picea abies*, *P. obovata* (Pinaceae)]. Botanicheskiy zhurnal = Botanical Journal. 2009;94(4):558–568. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17009165>

41. Kryschen' A. M. *Fitogennoe pole: teoriya i proyavlenie v prirode* [Phytogenic field: theory and manifestation in nature]. Izvestiya AN. Seriya biologicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series. 2000;(4):437–443. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23090127>

42. Mayer M., Prescott C. E., Abaker W. E. A., Augusto L., Cécillon L., Ferreira G. W. D., James J., Jandl R., Katzensteiner K., Laclau J.-P., Laganière J., Nouvellon Y., Paré D., Stanturf J. A., Vanguelova E. I., Vesterdal L. *Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis*. Forest Ecology and Management. 2020;466:118127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>

43. Vesterdal L., Clarke N., Sigurdsson B. D., Gundersen P. *Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests?* Forest Ecology and Management. 2013;309:4–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.017>

44. Dorrepaal E., Cornelissen J. H. C., Aerts R., Wallén B., Van Logtestijn R. S. P. *Are growth forms consistent predictors of leaf litter quality and decomposability across peatlands along a latitudinal gradient?* Journal of Ecology. 2005;93(4):817–828. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01024.x>

45. Lang S. I., Cornelissen J. H. C., Klahn T., Van Logtestijn R. S. P., Broekman R., Schweikert W., Aerts R. *An experimental comparison of chemical traits and litter decomposition rates in a diverse range of subarctic bryophyte, lichen and vascular plant species*. Journal of Ecology. 2009;97(5):886–900. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01538.x>

46. Straková P., Niemi R. M., Freeman C., Peltoniemi K., Toberman H., Heiskanen I., Fritze H., Laiho R. *Litter type affects the activity of aerobic decomposers in a boreal peatland more than site nutrient and water table regimes*. Biogeosciences. 2011;8(9):2741–2755. DOI: <https://doi.org/10.5194/bg-8-2741-2011>

Сведения об авторах

Шешницан Татьяна Леонидовна – аспирант, ассистент 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: <http://orcid.org/0009-0006-2288-4929>, e-mail: tatianasheshnitsan@gmail.com

Матвеев Сергей Михайлович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства, лесной таксации и лесоустройства, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8532-1484>, e-mail: lisovod@bk.ru

✉ *Шешницан Сергей Сергеевич* – кандидат биологических наук, руководитель лаборатории мониторинга и проектирования лесов инжинирингового центра НИИ Инновационных технологий и лесного комплекса, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, e-mail: sheshnitsan@gmail.com.

Information about the authors

Tatiana L. Sheshnitsan – post-graduate student, Assistant of Department of Forest genetics, Biotechnology and Plant Physiology, G.F. Morozov Voronezh State Forest Engineering University, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2288-4929>, e-mail: tatianasheshnitsan@gmail.com

Sergey M. Matveev – Doct. Sci. (Biol.), Head of Department of Silviculture, Forest Taxation and Forest Management, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8532-1484>, e-mail: lisovod@bk.ru.

✉ *Sergey S. Sheshnitsan* – Cand. Sci. (Biol.), Head of the Forest Monitoring and Planning Laboratory, Engineering Centre of the Research Institute of Innovative Technologies and Forestry Complex, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture and Soil Science, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russian Federation, 394087, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8027-855X>, e-mail: sheshnitsan@gmail.com

✉ Для контактов | Corresponding author