

СРЕДООБРАЗУЮЩИЕ ФУНКЦИИ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Д.В. Лежнев^{1, 2}

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева), Россия, 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

²ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), Россия, 143030, Московская обл., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

lezhnev.daniil@yandex.ru

Приведен обзор российских и зарубежных литературных источников, посвященных изучению средообразующих функций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), включая накопление биомассы, сохранение среды обитания, в зависимости от типа лесорастительных условий. Показано, что эколого-биологические особенности вида-эдикатора, лесоводственно-таксационные характеристики древостоев и их пространственная структура определяют интенсивность ключевых экосистемных функций. Рассмотрено влияние структурной организации сосновых формаций на температуру и влажность воздуха, температурный режим почв, скорость ветра, осадки, снегоотложение и снеготаяние, пылезадержание, а также на экологические условия в целом на урбанизированной территории. Особое внимание уделено санитарно-гигиенической роли сосняков, обусловленной фитонцидной активностью хвои и коры. Показано, что максимальные значения продуцирования кислорода и запаса углерода характерны для сосновых экосистем низменных, нередко заболоченных ландшафтов с минимальным антропогенным воздействием, при этом в городских и пригородных лесах наблюдается снижение большинства средообразующих показателей.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, средообразующие функции, лесные экосистемы, экосистемные услуги, фитонциды, окружающая среда, изменение климата

Ссылка для цитирования: Лежнев Д.В. Средообразующие функции насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 45–61.
DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-45-61

Лес как наземная экосистема с самым высоким уровнем биоразнообразия широко известен своим значением в сохранении биоразнообразия и поддержании многофункциональности экосистем [1–5]. Лесные экосистемы, как правило, хорошо приспособлены для несения большинства экосистемных функций, перечисленных в современных концепциях [6, 7]. При этом смешанные леса способны поддерживать более высокий уровень функционирования экосистем, чем монопородные. Также известно, что важность разнообразия древостоя как движущей силы функционирования экосистем значительно варьирует в зависимости от типа леса, природной зоны и климатических условий [8–16].

Структурная организация леса имеет важное значение в регулировании циркуляции воды и воздуха. Сомкнутость полога, форма листьев и особенности ветвления считаются ключевыми факторами, влияющими на способность полога

накапливать воду. Высота деревьев влияет на смыкание крон и энергообмен с атмосферой. Полнота древостоя регулирует видовое разнообразие нижних ярусов леса. Кроме того, пространственное расположение и структура растительного покрова леса определяют средообразующие функции [17–20].

В настоящее время стремительно развиваются исследования, направленные на изучение биоразнообразия и функций лесных экосистем [21–26].

На снижение экосистемных функций и возникновение проблем в лесных экосистемах более всего влияет антропогенный фактор, который максимально проявляется в изменении интенсивности лесопользования. Изменение климата и высокая интенсивность лесопользования обуславливают изменения в структуре лесных экосистем и происходящих в них процессах, что впоследствии снижает способность экосистем нести свои экологические функции [20, 27].

Выделяют несколько групп природных экологических функций, которые выполняют

лесные насаждения: средообразующие, защитные и стабилизирующие функции [28].

Наиболее важной для состояния здоровья людей является группа средообразующих функций лесных экосистем — это выделение в процессе фотосинтеза кислорода и фитонцидов. Они улучшают качество атмосферного воздуха и создают необходимые для жизнедеятельности человека условия [29].

Средообразующие функции леса проявляются в формировании фитоценозов, зооценозов, микроценозов и их комплексном влиянии на воду, почвы и в целом на окружающую среду [30].

Средообразующие функции леса — это значение лесных биогеоценозов в формировании среды, обеспечивающей благоприятные условия [31].

А.И. Татаркин и В.Г. Логинов [32], проанализировавшие глобальное значение лесных экосистем в жизни общества, определили лесные ресурсы, как комплекс древесных и недревесных, а также иных, ей присущих природных ресурсов. Данная формулировка средообразующих функций леса появилась и благодаря идеям В.В. Докучаева [33] о взаимосвязи всех природных явлений, о целостности природных экосистем, а также появлению и развитию биогеоценотических представлений о лесе, разработанного академиком В.Н. Сукачевым [34].

Некоторые авторы в своих исследованиях средообразующих функций лесов в зоне хвойно-широколиственных лесов, в пределах которой расположена Московская агломерация, большое значение уделяют фитомассе, мортмассе, продуцированию кислорода и депонированию углерода [35–37].

Средообразующие функции лесных экосистем, произрастающих в различных природных зонах, будут отличаться так же, как и их реакция на антропогенный фактор [38–40].

А.Ф. Рудзким [41] был предложен термин «невесомые» полезности. М.М. Орлов [42] обратил внимание на примеры невесомой полезности лесных экосистем.

А.Б. Жуков и А.И. Бузыкин [43] считают, что средообразующее значение лесов обусловлено объемом фитомассы и ее качественными показателями. На этом основании данные авторы предложили термин «биогеоценотическая продуктивность» с разделением продуктивности на «весомую» и «невесомую».

«Невесомые полезности леса» в большей степени относятся к рекреационным, духовным и эстетическим свойствам лесных экосистем, а также стоит выделить продуцирование кислорода и депонирование углерода [44].

И.И. Яценко [45] сформулировал требование к оценке лесов с точки зрения их рекреационной роли: лес, кроме всего прочего, представляет высокую эстетическую ценность для человека.

Г.Ф. Морозов [46] придавал большое значение антропогенному фактору в жизни леса. Антропогенное воздействие на лесные насаждения проявляется по-разному и зависит от физико-географической обстановки.

Зарубежные авторы связывают «невесомые полезности леса» в основном с защитными функциями лесов и с недревесной продукцией [47, 48].

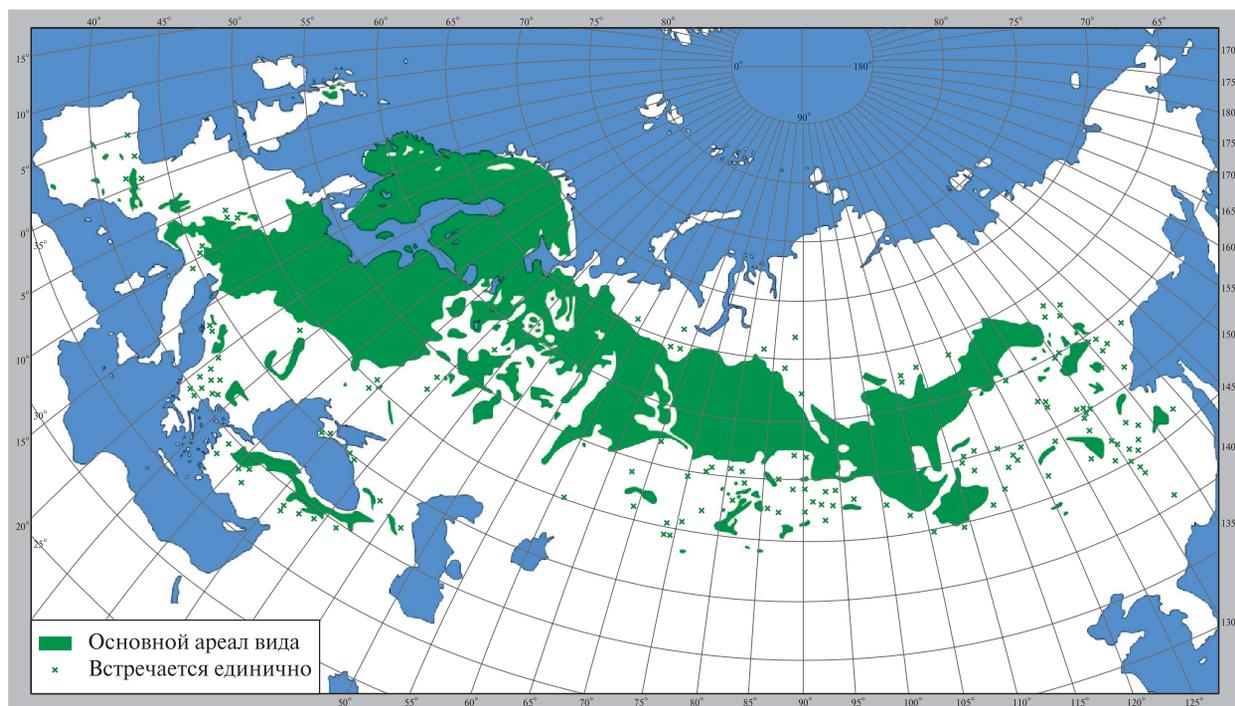
На данном этапе развития науки о лесе общество пришло к общему выводу о том, что оценка лесных ресурсов только с позиции древесной продукции не является полной. Увеличивающийся интерес к средообразующим функциям лесных экосистем предопределяет многоцелевое использование ресурсов, в том числе через расширение зоны интенсивной модели использования лесов, что в полном объеме соответствует действующей «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года» [49], где закреплено развитие многоцелевого использования и совершенствование системы лесопользования, что является важной государственной задачей в лесном комплексе.

Сосновые формации представляют собой ценные природные системы, выполняющие ключевые средообразующие, водоохранные, почвозащитные, климаторегулирующие и другие функции. Наибольшую ценность представляют средообразующие функции лесов.

Увеличение антропогенной нагрузки на лесные экосистемы в последние десятилетия обусловило обострение многих экологических проблем, особенно в густонаселенных регионах. Изучение средообразующих функций сосновых формаций составляет важное направление лесной экологии. Оно способствует глубокому пониманию механизмов взаимодействия природных процессов, разработке стратегий их сохранения и восстановления, что представляет собой актуальную проблему в условиях растущей антропогенной нагрузки и изменения климата.

Цель работы

Цель работы — изучение средообразующих функций сосновых насаждений и их значение для окружающей среды на урбанизированных территориях по литературным материалам.



Ареал распространения вида *Pinus sylvestris* L.
Distribution area of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

Результаты и обсуждение

Средообразующие функции лесных экосистем напрямую зависят от их породного состава, а также от эколого-биологических особенностей видов-эдикторов, которые образуют древостой. Подробно рассмотрим основные характеристики сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Эколого-биологические характеристики сосны обыкновенной. Хвойное растение, широко распространенный вид рода *Pinus* семейства *Pinaceae*. Занимает обширный ареал в Северном полушарии. В естественных условиях вид широко распространен в Евразии — от Испании и Великобритании на западе и до бассейна р. Алдан и среднего течения р. Амур в Восточной Сибири. На севере сосна обыкновенная встречается до широт Норвегии, на юге — имеет ареалы в Турции, Монголии и Китае. На севере ареала растение поднимается на высоту до 1000 м н. у. м., на юге — 1200...2500 м [50, 51]. В пределах Российской Федерации сосна распространена от г. Мурманска на севере до Кавказских гор на юге и от Калининграда на западе до Дальнего Востока (рисунок) [52–54].

В различных местах ареала сосна обыкновенная неоднородна по следующим особенностям: морфологическим, биологическим и

эколого-физиологическим, соответственно, и по лесоводственным свойствам в целом [55].

На сегодняшний день ареал сосны обыкновенной — самый обширный по сравнению с другими древесными породами, что в свою очередь обусловлено ее интразональностью. Обширность ареала сосны обыкновенной свидетельствует о том, что данный вид проявляет сильно выраженную географическую изменчивость [55, 56].

Часть авторов отмечают [57–60], что данный вид обладает широкой экологической пластичностью. Для сосны обыкновенной выделено множество экотипов, форм, рас и подвидов. Следовательно, данную породу можно отнести к полиморфным видам.

Сосна обыкновенная считается классическим примером непрерывной географической изменчивости популяционных систем. У нее при отсутствии выраженного горного рельефа происходит клинальная (плавная) изменчивость генетической структуры, фенотипических признаков и свойств, распространяясь в субширотном и субмеридиональном направлениях за изменением макроклиматических параметров [61]. В таких случаях границы внутривидовых таксонов проводятся достаточно условно [55, 62]. Однако региональные особенности географической изменчивости и популяционной структуры вида должны обязательно учитываться при ведении лесного хозяйства.

Сосна обыкновенная имеет способность к адаптации в различных экологических условиях. Преимуществом сосны по сравнению с другими лесообразующими породами является нетребовательность к почвенным условиям. Данная порода возобновляется только семенным путем. Наиболее успешно это происходит на бедных сухих и заболоченных почвах, так как в этих условиях конкуренция практически отсутствует [52, 57, 63, 64]. Наиболее благоприятными для роста сосны являются легкие песчаные и супесчаные почвы. В отличие от других древесных пород она обладает исключительной способностью формировать леса на бедных, а также сильно заболоченных почвах [65].

Что касается более богатых почв, следует отметить наличие конкуренции со стороны травянистой растительности и лиственных древесных пород (березы и липы), что приводит к значительному ухудшению условий для роста и развития особей сосны обыкновенной или вовсе к их отсутствию. Наиболее благополучно возобновление сосны происходит на сухих бедных и на торфяных почвах с избыточным увлажнением [66–69].

Сосна успешно приспосабливается к различным условиям произрастания, но ее возобновление имеет известные сложности. Во-первых, всходы сосны подвергаются сильному влиянию заморозков. Во-вторых, подрост последующего возобновления страдает от затенения при быстром росте лиственных пород [68].

Низкая конкурентоспособность сосны обусловлена ее светолюбием на всех стадиях онтогенеза, однако по некоторым лесоводственным свойствам она может значительно превосходить иные лесообразующие породы.

Корневая система у сосны очень пластична и способна изменяться в зависимости от почвенно-грунтовых факторов [70, 71]. Одновременно с мощным стержневым корнем она способна формировать один или несколько ярусов горизонтально ветвящихся корней, что повышает ее устойчивость [72]. Однако на болотистых территориях сосна формирует поверхностную корневую систему и становится ветровальной [73].

Способность сосны обыкновенной выживать в крайне засушливых условиях обеспечивается ксероморфной организацией вида. Она имеет повышенную устойчивость к иссушению почвы. На почвах с избыточным увлажнением и на сфагновых болотах успешное развитие сосны обусловлено устойчивостью корней к недостатку кислорода [74–76].

Сосну обыкновенную за счет сочетания универсальной хозяйственной ценности, продуктивности, распространенности и широкой

экологической нормы реакции по праву относят к одной из самых ценных древесных пород [61].

Среди лесообразующих пород в Российской Федерации сосна обыкновенная по площади занимает третье место и уступает только лиственнице и березе. Сосна обыкновенная распространена на обширных территориях не только в европейской части страны, но и в Западной Сибири, в частности в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре, Томской, Свердловской, Иркутской областях, в Забайкальском крае, где она является главной лесообразующей породой. При этом общий запас древесины сосны обыкновенной (по данным государственной инвентаризации лесов на 1 января 2021 г.) составляет 21 855,1 млн м³, или 19,5 % суммарного запаса древесины России [77].

Леса, окружающие мегаполисы, заслуживают особого внимания. В настоящее время отмечается тенденция по снижению площади лесных насаждений, однако территория Москвы и Московской области — самого густонаселенного региона Российской Федерации — остается в значительной степени покрыта лесами, здесь они занимают более 1,5 млн га. При этом доля сосновых насаждений составляет примерно 20 % всей лесопокрытой площади региона [78, 79].

Московский регион характеризуется высоким антропогенным воздействием на лесные экосистемы. Наиболее уязвимыми при техногенном развитии региона оказываются лесные массивы [80–82].

В настоящее время актуальна проблема сохранения лесных массивов, являющихся экологическими каркасами регионов [83]. Урбанизированная среда — это совокупность условий, созданных под воздействием природы и человека в границах городов и их пригородов. В условиях Московской городской агломерации большую ценность имеет эстетическое восприятие человеком ландшафта, неотъемлемой частью которого являются зеленые насаждения [84].

Для Московского региона сосновые формации имеют большое значение, так как они улучшают климат, поддерживают газовый баланс атмосферного воздуха, защищают ландшафты от разрушения и очищают воздух, а также дают разнообразную продукцию, применяемую в различных сферах деятельности человека. Последующее использование и сохранение сосновых биогеноценозов допустимо только при научно-обоснованном лесопользовании [85, 86].

Сосна отличается наилучшим ростом среди других лесообразующих пород на территории Московского региона. Значительная скорость роста в высоту осевого побега позволяет

данной породе господствовать при совместном произрастании в разновозрастных высокоплотных насаждениях. Сосна формирует основной полог на несколько метров выше других деревьев и впоследствии входит в господствующий полог насаждения [72, 87, 88].

Сосновые формации в условиях Московского региона отличаются достаточно высокой долговечностью. Они сохраняют высокую продуктивность в возрасте более 200 лет. Несмотря на комплекс негативных внешних воздействий, сосновые древостои продолжают оставаться высокобонитетными [89, 90]. В настоящее время авторы отмечают протекающую сукцессионную смену сосновых фитоценозов на широколиственные (с преобладанием липы мелколиственной (*Tilia cordata* Mill.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.), реже ели европейской (*Picea abies* (L.) N. Karst) [91–94]. Это в перспективе может привести к изменению средообразующих функций сосновых экосистем в Московском регионе.

Сосновые леса являются природными экосистемами, которые выполняют важные функции, в том числе и для человека. Функции лесных сообществ — это влияние на факторы окружающей среды, явления природы и компоненты биосферы, которые обусловлены характером взаимодействия с ними свойствами лесных экосистем [95].

Зарубежные и отечественные авторы отмечают значительный вклад лесных насаждений в регуляцию глобальных климатических изменений и углеродный баланс [36, 96, 97].

При количественной оценке отдельных показателей средообразующих функций сосняков (продуцирование кислорода, депонирование углерода, связывание химических загрязнителей, регулирование климата и выделение биологически активных веществ) используются данные об общей биологической продуктивности фитомассы и ее величине годичной продукции.

В.И. Рубцов [95] относит продуцирование кислорода и депонирование углерода к глобальным средообразующим функциям лесов, от которых зависит состояние климата Земли. Остальные средообразующие функции отнесены к локальным, которыми человек пользуется, находясь в лесу или рядом с ним.

В результате наблюдений О.Д. Васильевой [28] в различных физико-географических районах Московской области выявлено, что наибольшее продуцирование кислорода наблюдается в ландшафтах с низким антропогенным влиянием, в частности в пределах Верхневолжской и Мещерской низменностей. Их заболо-

ченность обуславливает относительно высокие значения запасов и депонирования углерода насаждениями. Условно-коренные сосново-еловые древостои продуцируют кислород в количестве примерно 5 т/га в год (средневзвешенное — 4,87 т/га в год), среднее депонирование углерода составляет чуть менее 2 т/га в год, а вегетационный индекс — 0,06...0,08.

Б.П. Чураковым и Е.В. Манякиной [98] была изучена биологическая продуктивность разновозрастных лесных культур сосны, в том числе созданных в рамках Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Исследуемые лесные культуры располагались в местообитаниях, соответствующих типам сосняков: черничному, лишайниковому и разнотравному. По результатам исследования выявлено, что в среднем по трем типам леса в 5-летних культурах на 1 га накапливается 0,54 т фитомассы, где сосредоточено 0,27 т углерода. В 10-летних культурах общая фитомасса составляет 21,6 т на 1 га, где депонировано 10,8 т углерода. С улучшением лесорастительных условий увеличиваются фитомасса и депонированный углерод.

Важной средообразующей функцией соснового леса является способность к пылезадержанию. Преимущество сосны перед лиственными породами заключается в том, что она имеет возможность задерживать пыль в зимний период. Для сосновых насаждений показатель пылезадержания в среднем составляет 5–6 г/м² хвои [99]. Способность сосняков к пылезадержанию составляет примерно 4...9 т/га в год, в зависимости от класса возраста насаждения [100].

А.В. Побединский [101] отмечает, что средообразующая роль леса велика и универсальна. Проанализировав влияние средообразующих функций лесов на окружающую среду, А.В. Побединский выделил следующие группы влияния: интенсивность солнечной радиации, термический режим воздуха, влажность воздуха, экологические условия под пологом леса, температуру почвы, скорость ветра, задержание осадков, снегоотложение и снеготаяние, замерзание и оттаивание почвы в лесу.

Интенсивность солнечной радиации, которая проникает под полог древостоя, зависит от нескольких факторов: возраста, состава, строения, густоты, сомкнутости полога и др. Сосновые древостои обладают меньшей трансформирующей способностью солнечной радиации, чем еловые древостои.

Ю.Л. Цельникер [102] выявила, что доля просветов в кронах сосны обыкновенной составляет около 30 %. Наименьшее количество солнечной радиации проходит под полог хвои-

ного леса в стадии молодняка и спелом возрасте. Вместе с тем стоит отметить, что можно изменять интенсивность солнечной радиации за счет проведения различных типов рубок в насаждениях [95].

Формации сосны обыкновенной оказывают влияние на термический режим воздуха как под пологом насаждения, так и на соседних участках, что обуславливает изменения в процессах снеготаяния и формирования стока. Летом температура воздуха под пологом древостоя ниже, чем на открытых пространствах и при увеличении температуры воздуха эта разница возрастает. В зимний сезон средняя температура воздуха в хвойном лесу выше, чем вне леса. Воздействие насаждения на изменение температуры воздуха сказывается на участках, расположенных вблизи леса и на значительном расстоянии от него.

А.А. Молчанов [103], исследовав влияние строения древостоя на температуру воздуха в 65-летнем сосновом древостое на территории Московской области, пришел к выводу о том, что в сосняке с полнотой 0,9 и подлеском средней густоты температура воздуха ниже на 1,7 °С по сравнению с безлесными участками. В сосновом древостое такого же возраста и полноты, но без подлеска, температура ниже на 0,5 °С по сравнению с безлесными участками. В сосняках с густым еловым ярусом температура под пологом ниже на 2,5 °С по сравнению с безлесными участками.

Сосновые насаждения оказывают влияние на влажность воздуха, следовательно, и на экологические условия в целом. В различных лесорастительных зонах относительная влажность воздуха под пологом леса выше в среднем на 4–5 % по сравнению с открытыми участками, а абсолютная влажность воздуха выше на 0,2 % [101].

Сосняки влияют на изменение температурного режима почвы. От температуры почвы зависят протекающие в ней гидрологические процессы, плодородие. Влияние лесов на температуру почвы зависит от некоторых факторов: состава, густоты, строения, возраста и иных таксационных показателей. А.А. Молчанов [103] оценивал температуру почвы в различных типах леса на территории Московского региона в летний период, данные его исследования, отражают то, что при одинаковой сомкнутости и составе древостоя значение температуры почвы снижается при увеличении влажности почвы.

Влияние лесов на скорость ветра зависит от лесоводственно-таксационных показателей насаждения. В спелом сосновом насаждении с полнотой 0,9 и высотой 20 м ветрозащитные

свойства проявляются на расстоянии до 100 м от его границ [101]. По результатам исследования В.М. Зюбиной и В.В. Протопоповым [104], установлено, что с повышением лесистости на 10 % скорость ветра понижается на 0,2–0,3 м/с.

Влияние сосняков на осадки обуславливается сезонностью, породным составом, интенсивностью осадков, лесоводственно-таксационной характеристикой. Сосновые насаждения по количеству осадков, проникающих к поверхности почвы, находятся между еловыми и лиственными. В условиях Московского региона сосновые формации задерживают 24...27 % дождевых осадков [105]. Повышение количества осадков под влиянием сосняков обусловлено тем, что насаждение, создавая шероховатость поверхности, тормозит передвижение воздуха. Данное обстоятельство приводит к возникновению вертикальных токов, которые понижают температуру, вызывая выпадение жидких осадков. Насаждение способствует увеличению как вертикальных, так и горизонтальных осадков, за счет чего повышается его водоохранно-защитная роль [101].

Вместе с тем сосновые леса оказывают влияние на снегоотложение в пределах своих границ. Осадки в виде снега в Московском регионе имеют значительный удельный вес. А.А. Молчанов [106] пришел к выводу о том, что древостои, накапливают больше снега по сравнению с открытыми пространствами, за исключением ельников. Также по мнению А.А. Молчанова [107] оттепели в Подмоскovie снижают запас воды в снеге в пределах 34...76 мм.

Сосняки оказывают влияние не только на снегоотложение, но и на снеготаяние. В насаждениях процесс снеготаяния длится дольше, чем на безлесных территориях. Он обусловлен снижением солнечной радиации и низкой скоростью ветра в лесу [101]. По данным исследования, в Московской области продолжительность снеготаяния в сосновых насаждениях составляет 15...20 сут., а на открытых пространствах – 6...12 сут. По материалам многолетних наблюдений в Подмоскovie, получены следующие показатели: на открытой территории средняя интенсивность снеготаяния в сосновых древостоях составляет 9,1 мм/сут., а в смешанных сосново-еловых, в том числе со вторым ярусом ели, таяние снега проходит в 1,5–2 раза медленнее [103]. Также примесь сосны к лиственным древостоям снижает интенсивность снеготаяния, вследствие этого увеличивается его длительность [101]. Таким образом, указанные выше данные свидетельствуют о том, что смена сосновых формаций на лиственные повышает интенсивность

и снижает длительность снеготаяния, что, в свою очередь, отрицательно влияет на стоко-регулирующую роль леса.

Насаждения оказывают трансформирующее воздействие на замерзание и оттаивание почвы. Данный показатель имеет большое гидрологическое значение. В сложных по форме сосняках со вторым ярусом почва промерзает глубже, чем в простых сосняках. Со снижением полноты древостоя промерзание почвы уменьшается в результате повышенной мощности снежного покрова. Наибольшая глубина промерзания отмечена в средневозрастных древостоях, так как в них высота снежного покрова ниже, чем в молодняке и спелых древостоях [101]. А.А. Молчановым [103] оценена глубина промерзания почвы в разных типах леса. Выявлено, что несмотря на большую высоту снежного покрова, почва промерзла ниже в брусничном и черничном сосняках, чем в ельнике-кисличнике. Данное явление обусловлено большей влажностью и иным механическим составом почвы в ельнике. Установлено, что в сосняках Московской области, произрастающих на суглинках, почва оттаивает медленнее, чем на песчаных, и процесс длится 10...15 сут. после исчезновения снега. В сосновых древостоях со вторым ярусом из ели почва оттаивает дольше на 5...8 сут., чем в чистых сосняках [106].

Вместе с тем среди средообразующих функций сосновых лесов выделяют санитарно-гигиенические, в значительной степени определяющиеся за счет фитонцидных свойств древостоя [108]. Важное значение для санитарно-гигиенического состояния насаждений имеют выделяемые сосной обыкновенной биологически активные вещества [109].

Г.Б. Федосеев, С.С. Скворцов и Е.П. Успенская [110] понимают фитонциды как фактор среды, оказывающий влияние на состав стабильности биоценозов, влияющим в регуляции биосферы, охране среды, а также имеет высокое гигиеническое значение.

М.В. Григорьевой [111] выявлены первичные и вторичные фитонциды на основании различной интенсивности выделения и состава. Первичные фитонциды вырабатываются здоровыми экземплярами, а вторичные — в результате ранения или механического повреждения растения.

По результатам исследования фитонцидных свойств сосны обыкновенной М.В. Кочергиной [108] установлено, что в средневозрастном насаждении период максимальной фитонцидной активности (около 60 %) приходится на июль — август. Весной и осенью фитонцидность заметно ниже (25,5...31,5 %) и значительно

снижается (5,5...14,5 %) в зимний период. Фитонцидная активность сосны варьирует и в течение суток — проявляется динамика фитонцидности с максимумом в дневные часы. Также экспериментально доказано, что в молодняках и средневозрастных сосняках продуцируются наиболее активные фитонциды, а минимальные значения фитонцидности получены в перестойных сосняках.

Выявлено, что состояние жизнеспособности соснового древостоя оказывает значительное влияние на фитонцидную активность хвои. Часть авторов определяет ее по степени подавления тест-культуры [108, 112]. Фитонцидная активность хвои здорового экземпляра сосны в среднем за вегетационный период составляет 44 %. При сравнении с данной категорией фитонцидность поврежденного дерева оказалась больше на 10 % за вегетационный период и составляет 54 % [108].

М.В. Кочергина [108] отмечает, что кора, корни и шишки сосны обыкновенной также вырабатывают и продуцируют биологически активные вещества, способствующие повышению санирующего эффекта в атмосфере, почве и воде на данной территории.

Н.Г. Холодный [113] исследовал концентрацию летучих выделений под пологом сосновых древостоев и установил, что концентрация выделений составляет 2–3 мг/м³ воздуха. Содержание органических продуктов в летучих выделениях с учетом фотосинтезирующей активности деревьев составляет примерно 1,5–2 кг/га в сутки. М.В. Колесниченко [114] установлено, что количество летучих выделений сосны составляет 1 мг/м² поверхности хвои.

В.В. Протопопов [38, 39], исследовавший выделение летучих веществ, отмечает, что сосняки за вегетационный период выделяют 400...550 кг/га летучих веществ. Согласно С.И. Лебедеву [115], на 1 га соснового древостоя выделяется за сутки около 5–6 кг биологически активных веществ.

Совокупность средообразующих функций, которые выполняются сосновыми насаждениями, поддерживают стабильность биосферы и обеспечивают благоприятные условия для существования всего живого, в том числе человека.

Наибольшее продуцирование кислорода наблюдается в насаждениях ландшафтов с низким антропогенным влиянием. Также заболоченность территории низменных ландшафтов обуславливает относительно высокие значения запасов и депонирования углерода насаждениями.

Сосновые экосистемы оказывают влияние на экологическую обстановку: регулируют температуру, влажность воздуха и почвы, солнечную

радиацию, твердые и жидкие осадки, снегоотложение и снеготаяние, промерзание и оттаивание почвы, водный баланс, формирование стока и гидрологический режим в целом. Вместе с тем сосняки продуцируют и выделяют биологически активные вещества, повышающие санитарно-гигиеническое состояние лесных экосистем и оказывающие санирующий эффект на воздух, воду и почву.

Сосновые леса изучаются в различных регионах Российской Федерации и за ее пределами. Однако недостаточное внимание сосновым экосистемам в условиях примыкания к мегаполису и потенциальное изменение климата, которое приводит к изменению структурной организации насаждений, что напрямую сказывается на средообразующих функциях.

При дальнейшем ведении хозяйственной деятельности в сосновых лесах, необходимо учитывать вопросы формирования устойчивых насаждений к различным факторам окружающей среды и антропогенному воздействию, так как сосновые формации выполняют множество рассмотренных средообразующих функций.

В урбанизированной среде комплексное действие негативных факторов приводит к снижению продуцирования кислорода, депонирования углерода, выделения биологически активных веществ и пылезадерживающей способности сосновых насаждений.

Выводы

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) характеризуется широкой экологической пластичностью и обширным ареалом, формируя насаждения в различных лесорастительных условиях — от сухих бедных до заболоченных почв. Это обуславливает ее высокую средообразующую роль. В условиях Московской городской агломерации сосняки занимают значительную долю лесопокрытой площади и отличаются высокой долговечностью и продуктивностью. Сохраняют устойчивость даже в условиях сильного антропогенного воздействия. Средообразующие функции сосновых экосистем напрямую зависят от породного состава, возрастной структуры, полноты и сомкнутости полога, а также от лесоводственно-таксационных характеристик древостоев. Сосняки эффективно регулируют микроклимат: снижают температуру воздуха летом, повышают ее зимой, увеличивают относительную и абсолютную влажность, влияя на комфортность среды и устойчивость экосистем. Сосновые леса существенно изменяют температурный режим почвы, параметры промерзания и оттаивания, снегонакопление и

продолжительность снеготаяния, тем самым выполняя важные водоохранные и почвозащитные функции. В сосновых насаждениях реализуется значительный потенциал продуцирования кислорода и депонирования углерода; наибольшие значения характерны для ландшафтов с низким уровнем антропогенной нагрузки и повышенной заболоченностью. Хвоя сосны обладает высокой пылезадерживающей способностью (до нескольких тонн на гектар в год), причем круглогодичное наличие хвои обеспечивает преимущество сосняков перед лиственными древостоями в очистке воздушной среды. Существенную роль играют санитарно-гигиенические функции сосновых насаждений: продуцируют фитонциды и другие биологически активные летучие вещества, формируя санирующий эффект на воздух, воду и почву, с максимумом фитонцидной активности в молодняках и средневозрастных насаждениях в летний период. Показано, что урбанизация и техносферная нагрузка приводят к снижению продуцирования кислорода, запасов углерода, фитонцидной активности и пылезадерживающей способности, а также повышают уязвимость сосновых экосистем к стрессовым факторам. Отмечена тенденция сукцессионной смены сосновых формаций на широколиственные, что потенциально изменит количество и интенсивность средообразующих функций, поэтому при планировании лесопользования в защитных и городских лесах необходимо целенаправленно сохранять и формировать устойчивые сосновые насаждения как ключевой элемент экологического каркаса.

Список литературы

- [1] Wani A. M., Sahoo G. Forest ecosystem services and biodiversity // *Spatial modeling in forest resources management: Rural livelihood and sustainable development*, 2021, pp. 529–552.
- [2] Ge Y., Chen H., Zhang M., Li X. Area Threshold Interval of Urban Forest Patches Required to Maintain the Synergy between Biodiversity Conservation and Recreational Services: Case Study in Beijing, China // *Forests*, 2022, v. 13, p. 1848.
- [3] Takala T., Brockhaus M., Hujala T., Tanskanen M., Lehtinen A., Tikkanen J., Toppinen A. Discursive barriers to voluntary biodiversity conservation: The case of Finnish forest owners // *For. Policy Econ.*, 2022, v. 136, no. 102681.
- [4] Perez-Verdin G., Monarrez-Gonzalez J.C., Teclé A., Pompa-García M. Evaluating the Multi-Functionality of Forest Ecosystems in Northern Mexico // *Forests*, 2018, v. 9, p. 178.
- [5] Лукина Н.В., Гераськина А.П., Горнов А.В. Биоразнообразие и климаторегулирующие функции лесов: актуальные вопросы и перспективы исследований // *Вопросы лесной науки*, 2020. Т. 3. № 4. С. 1–90.

- [6] Finlayson M., Cruz R.D., Davidson N.C., Alder J. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Washington: World Resources Institute, 2005, 68 p.
- [7] Turkelboom F., Raquez P., Dufrière M. CICES going local: Ecosystem services classification adapted for a highly populated country // *Ecosystem services*. Elsevier, 2013, pp. 223–247.
- [8] Paquette A., Messier C. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests // *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2011, v. 20, pp. 170–180.
- [9] Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species // *Nat. Commun.*, 2023, v. 4, pp. 1–8.
- [10] Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870 // *Nat. Commun.*, 2014, v. 5, p. 4967.
- [11] Forrester D.I. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process // *For. Ecol. Manage.*, 2014, v. 312, pp. 282–292.
- [12] Grossiord C., Granier A., Ratcliffe S., Bouriaud O., Bruehlheide H., Checko E. Tree diversity does not always improve resistance of forest ecosystems to drought // *Proc. Natl Acad. Sci. U.S.A.*, 2014, v. 111, pp. 14812–14815.
- [13] Ratcliffe S., Liebergesell M., Ruiz Benito P., Madrigal González J., Muñoz Castañeda J.M., Kändler G. Modes of functional biodiversity control on tree productivity across the European continent // *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2016, v. 25, pp. 251–262.
- [14] Jucker T., Avăcăriței D., Bărnoaiea I., Duduman G., Bouriaud O., Coomes D.A. Climate modulates the effects of tree diversity on forest productivity // *J. Ecol.*, 2016, v. 104, pp. 388–398.
- [15] Liang J., Crowther T.W., Picard N., Wiser S., Zhou M., Alberti G. Positive biodiversity–productivity relationship predominant in global forests // *Science*, 2016, v. 354, aaf8957. DOI:10.1126/science.aaf8957
- [16] Ratcliffe S., Wirth C., Jucker T. Biodiversity and ecosystem functioning relations in European forests depend on environmental context // *Ecology letters*, 2017, v. 20, no. 11, pp. 1414–1426.
- [17] Li X., Niu J., Zhang L., Xiao Q., McPherson G.E., Van Doorn N., Yu X., Xie B., Dymond S., Li J. A study on crown interception with four dominant tree species: A direct measurement // *Hydrol. Res.*, 2016, v. 47, pp. 857–868.
- [18] Atkins J.W., Fahey R.T., Hardiman B.H., Gough C.M. Forest Canopy Structural Complexity and Light Absorption Relationships at the Subcontinental Scale // *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 2017, v. 123, pp. 1387–1405.
- [19] Dietz J., Hölscher D., Leuschner C. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia // *For. Ecol. Manage.*, 2006, v. 237, pp. 170–178.
- [20] Kong, L., Xiong, K., Zhang, S. Review on driving factors of ecosystem services: Its enlightenment for the improvement of forest ecosystem functions in karst desertification control // *Forests*, 2023, v. 14, no. 3, p. 582.
- [21] Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // *Вестник Российской академии наук*, 2020. Т. 90. № 6. С. 528–532. DOI 10.31857/S0869587320060080
- [22] Кузьмичев Е.П., Трушина И.Г., Трушина Н.И. Основные методические подходы к оценке экосистемных услуг в зарубежных странах: обзор проблемы // *Лесохозяйственная информация*, 2021, № 1. С. 144–164.
- [23] Биоразнообразие и функционирование лесных экосистем. М.: Наука, 2021. 327 с.
- [24] Kim J., Han S.H., Chang H. Quantitative assessment of climate regulating ecosystem services using carbon storage in major Korean ecosystems // *Korean J. of Environmental Biology*, 2016, v. 34, no. 1, pp. 8–17.
- [25] Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology // *J. of Applied Ecology*, 2017, v. 54, no. 1, pp. 12–27.
- [26] Brockerhoff E.G., Barbaro L., Castagneyrol B. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services // *Biodiversity and Conservation*, 2017, v. 26, pp. 3005–3035.
- [27] Chen Y., Liu Y., Yang S., Liu C. Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services in the Wuling Mountains from a Transport Development Perspective // *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, v. 20, p. 1323.
- [28] Васильев О.Д. Картографирование средообразующих функций лесов и их сравнительный анализ в ландшафтах Московской области // *Вестник Московского университета. Серия География*, 2020. № 6. С. 21–31.
- [29] Чистов С.В. Использование принципа рациональности природопользования в решении крупных программ Московского региона // *Проблемы землепользования в связи с развитием малоэтажного жилищного строительства в Московском регионе*. М.: [б.и.], 1993. С. 49–54.
- [30] Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Экологические функции насаждений в условиях мегаполиса на примере Лесной опытной дачи Тимирязевской сельскохозяйственной академии // *Экономические аспекты развития АПК и лесного хозяйства. Лесное хозяйство Союзного государства России и Белоруссии, Нижний Новгород, 26 сентября 2019 г / под ред. Н.Н. Бессчетновой*. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2019. С. 150–155.
- [31] Реймерс Н.Ф. Природопользование. М.: Мысль, 1990. 639 с.
- [32] Татаркин А.И., Логинов В.Г. Методологические вопросы оценки леса как экосистемы // *Управленец*, 2014. № 6 (52). С. 4–9.
- [33] Докучаев В.В. Русские Черноземы. СПб., 1883. Т. 3. 214 с.
- [34] Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 574 с.
- [35] Замолотчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Конверсионные коэффициенты фитомасса / Запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев // *Лесоведение*, 2005. № 6. С. 73–81.
- [36] Васильев О.Д., Чистов С.В. Исследование и картографирование экологических функций лесов Московского региона: методика и результаты // *ИнтерКарто. ИнтерГИС*, 2018. Т. 24. № 1. С. 348–367.
- [37] Васильев О.Д., Чистов С.В. Исследование и картографирование средообразующих функций лесов Новой Москвы // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2016. Т. 60. № 5. С. 128–133.

- [38] Протопопов В.В. Средобразующая роль темнохвойного леса. Новосибирск: Наука, 1975. 328 с.
- [39] Протопопов В.В. Анализ экологического значения темнохвойного леса // Проблемы лесоведения в Сибири. М.: Наука, 1977. С. 25–43.
- [40] Исаев А.С. Основные направления научных исследований: защитные и социальные аспекты // Лесное хозяйство, 1990. № 3. С. 6–10.
- [41] Рудзкий А.Ф. Руководство к устройству русских лесов. СПб.: А.Ф. Дервиен, 1893. 464 с.
- [42] Орлов М.М. Очерки по организации лесного опытного дела в России. Петроград: Типография М.А. Александрова, 1915. 271 с.
- [43] Жуков А.Б., Бузыкин А.И. Пути повышения продуктивности лесов // Лесоведение, 1977. № 5. С. 3–18.
- [44] Непомнящий В.В., Завадская А.В. Рекреационное природопользование. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения РАН, 2020. 108 с.
- [45] Яценко И.И. Эстетическая охрана лесов и лесостроительство // Лесной журнал, 1917. № 7–8. С. 369–386.
- [46] Морозов Г.Ф. Учение о лесе. М.: Гослесбуиздат, 1949. 368 с.
- [47] Alexander S.J., Weigand J.F., Blatner K. Nontimber forest products commerce // Nontimber forest products in the United States. Lawrence. KS: University Press of Kansas, 2002, pp. 115–151.
- [48] The Contribution of Criteria and Indicators to Sustainable Forest Management: the way forward, vol. 2, (22–26 July 2002; Guatemala City, Guatemala). Rome: FAO, 2003. URL: https://www.fao.org/4/j0077e/j0077e01.htm#P158_7279 (дата обращения 10.10.2024).
- [49] Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/551187885> (дата обращения 10.10.2024).
- [50] Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 247 с.
- [51] Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 570 с.
- [52] Булыгин Н.Е. Дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1985. 226 с.
- [53] Сазонова Т.А., Болондинский В.К., Придача В.Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Институт леса Карельского НЦ РАН. Петрозаводск: Verso, 2011. 207 с.
- [54] Санников С.Н., Петрова И.В. Филогенгеография и генотаксономия популяций вида *Pinus sylvestris* L. // Экология, 2012. № 4. С. 252–260.
- [55] Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М., 1964. 192 с.
- [56] Михайлова М.И. Состояние, рост и продуктивность экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах Воронежской области: дис. ... канд. геогр. наук, 2022. 219 с.
- [57] Шиманюк А.П. Дендрология. М.: Лесная пром-сть, 1974. 264 с.
- [58] Санников С.Н., Петрова И.В., Семериков В.Л. Генотаксономический анализ популяций *Pinus sylvestris* L. на трансекте от северной до южной границы ареала // Экология, 2002. № 2. С. 97–102.
- [59] Качалов А.А. Деревья и кустарники. М.: Лесная пром-сть, 1970. 408 с.
- [60] Kuzmin S. R., Kuzmina N. A. Growth Regularities of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial under Different Soil Conditions // Contemporary Problems of Ecology, 2023, v. 16, no. 5, pp. 645–656.
- [61] Раевский Б.В. Селекция и семеноводство сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и сосны скрученной (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) на северо-западе таежной зоны России: специальность 06.03.01: дис. ... д-ра с.-х. наук. Петрозаводск, 2015. 322 с.
- [62] Бобров Е.Г. Лесообразующие хвойные СССР. М.: Наука, Ленинградское отделение, 1978. 190 с.
- [63] Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: База данных и география / отв. ред. С.Г. Шиятов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. 708 с.
- [64] Hanner M., Almqvist C., Hornfeldt R. Timing of seed dispersal in *Pinus sylvestris* stands in central Sweden // Silva Fennica, 2002, v. 36 (4), pp. 757–765.
- [65] Киреев Д.М. Лесное ландшафтоведение. СПб.: Изд-во СПбГЛТУ, 2007. 540 с.
- [66] Лежнев Д.В., Куликова Д.Д., Полякова Г.А. Восстановительная динамика сосновых фитоценозов на вырубках в надпойменных террасах реки Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2023. Т. 31. № 4. С. 447–467.
- [67] Глазунов Ю.Б., Полякова Г.А., Коротков С.А., Лежнев Д.В. Естественное возобновление на вырубках в Серебряноборском опытном лесничестве // Сибирский лесной журнал, 2024. № 2. С. 74–83.
- [68] Побединский А.В. Сосна. М.: Лесная пром-сть, 1979. 125 с.
- [69] Бабич Н.А., Корчагов С.А., Конюшатов О.А. Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства // ИзВУЗ Лесной журнал, 2013. № 2 (332). С. 74–83.
- [70] Куркин К.А. Критерии, факторы, типы и механизмы устойчивости фитоценозов // Ботанический журнал, 1994. Т. 79. № 1. С. 3–13.
- [71] Феклистов П.А., Евдокимов В.Н., Барзут В.М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне европейской тайги. Архангельск: ИПЦ АГТУ, 1997. 140 с.
- [72] Абатуров А.В., Меланхолин П.Н. Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскowie. Тула: Гриф и К°, 2004. 333 с.
- [73] Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф., Софронова Г.И. Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере. Л.: Наука, 1985. 156 с.
- [74] Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. Л.: Гослесбуиздат, 1952. 598 с.
- [75] Клушевская Е.С., Кузнецова Н.Ф. Оценка устойчивости сосны обыкновенной к засухе по физиологическим характеристикам хвои // Лесоведение, 2016. № 3. С. 216–222.
- [76] Тихонова Н.А., Тихонова И.В. Индивидуальная изменчивость сосны обыкновенной по признакам засухоустойчивости в лесостепных борах Южной Сибири // Сибирский лесной журнал, 2016. № 5. С. 114–124.
- [77] Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Золина Т.А., Федоров С.В., Бердов А.М., Косицын В.Н., Югов А.Н., Кинигопуло П.С. Аналитический обзор количественных и качественных характеристик лесов

- Российской Федерации: итоги первого цикла государственной инвентаризации лесов // Лесохозяйственная информация, 2022. № 1. С. 5–34.
- [78] Лежнев Д.В., Лебедев А.В. Динамика и устойчивость сосновых древостоев в урбоэкосистемах лесной опытной дачи РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2023. № 245. С. 93–111.
- [79] Луферов А.О. Ход естественного возобновления соснового подроста под пологом насаждений с проведенными рубками промежуточного пользования и постепенными рубками главного пользования // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов, 2020. № 1 (228). С. 39–47.
- [80] Васильев О.Д., Огуреева Г.Н., Чистов С.В. Оценка ценогического разнообразия лесного покрова и его динамики в эталонных ландшафтах Московского региона по данным дистанционного зондирования // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2019. Т. 64 (2). С. 185–205.
- [81] Лебедев А.В., Гостев В.В. Адвентивный компонент флоры лесной опытной дачи Тимирязевской академии // Тимирязевский биологический журнал, 2023. № 1. С. 8–14.
- [82] Захаров В.П., Коротков С.А. Динамика лесов восточного Подмосковья и их использование // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича, г. Москва, 3–5 июня 2024 г. Сборник статей. М.: РГАУ–МСХА, 2024. Т. 1. С. 144–149.
- [83] Кравченко П.Н. Экологическая оценка территории Тверской области в интересах сохранения редких видов *in situ* на основе каркасно-геоэкологического моделирования: дис ... канд. геогр. наук. Тверь, 2015. 181 с.
- [84] Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized environment of Moscow // RUDN J. of Agronomy and Animal Industries, 2019, v. 14, no. 2, pp. 154–161. DOI 10.22363/2312-797X-2019-14-2-154-161
- [85] Рысин Л.П. Леса Подмосковья. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 255 с.
- [86] Коротков С.А. Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины. М.: Доблесть эпох, 2023. 168 с.
- [87] Торгашев Р.Е., Голованов В.И. Управление природоохранно-рекреационным лесопользованием Московского столичного региона // Муниципальная академия, 2022. № 1. С. 148–160.
- [88] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862 // J. of Forestry Research, 2022, pp. 34–36.
- [89] Черненко Т.В., Пузаченко М.Ю., Беляева Н.Г., Котлов И.П., Морозова О.В. Характеристика и перспективы сохранения сосновых лесов Московской области // Лесоведение, 2019. № 5. С. 449–464.
- [90] Korotkov S., Stonozhenko L., Lezhnev D., Eregina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region // II Int. Conf. «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), Karshi, 21–22 april 2023 year. Vol. 3011. New York: AIP PUBLISHING, 2023, p. 20031.
- [91] Черненко Т.В., Сулова Е.Г., Морозова О.В. Биоразнообразие лесов Московского региона // Экосистемы: экология и динамика, 2020. Т. 4. № 3. С. 61–144.
- [92] Мартыненко О.В., Карминов В.Н., Щепашенко Д.Г., Онтиков П.В. Зависимость продуктивности сосновых насаждений от почвенно-грунтовых условий в Московском учебно-опытном лесничестве // Лесоведение, 2017. № 6. С. 411–417.
- [93] Лебедев А.В. Обобщенная модель распределения диаметров деревьев в сосновых древостоях // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 4. С. 53–62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62
- [94] Липаткин В.А., Коротков С.А. О современных тенденциях формирования насаждений Подмосковья // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 г. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского государственного университета, 2021. С. 105–106.
- [95] Рубцов В.И. Классификация функций и роли леса // Лесоведение, 1984. № 2. С. 3–9.
- [96] Woodward F.I., Smith T.M., Emanuel V.R. A global and primary productivity and phytogeography model // Global biogeochemical cycles, 1995, v. 9, iss. 4, pp. 471–490
- [97] Schimal D.S., House J.L., Hibbard K.A. Reset patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems // Nature, 2001, v. 414, no. 8. pp. 169–178.
- [98] Чураков Б.П., Манякина Е.В. Депонирование углерода разновозрастными культурами сосны // Ульяновский медико-биологический журнал, 2012. № 1. С. 125–129.
- [99] Плужников А.А. Оценка состояния и средообразующих функций сосновых насаждений Центральной лесостепи (на примере Воронежской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пушкино, 2014. 21 с.
- [100] Поляков А.Н., Ипатов П.Ф., Успенский В.В. Продуктивность лесных культур. М.: Агропромиздат, 1986. 240 с.
- [101] Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2013. 208 с.
- [102] Цельникер Ю.Л. Световой режим и формирование фотосинтетического аппарата лесных древесных растений: дис. ... д-ра биол. наук 03.00.12. М., 1977. 332 с.
- [103] Молчанов А.А. Лес и климат. Академия наук СССР. Лаборатория лесоведения. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. 279 с.
- [104] Зюбина В.И., Прогопопов В.В. Трансформация лесами климатических факторов на окружающей территории в связи с количеством сконцентрированной в них фитомассы // Водоохранно-защитное значение леса: Материалы Всесоюз. конф. 15–19 октября 1974 г. Владивосток: Изд-во Биолого-почвенного института ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 10–11.
- [105] Молчанов А.А. Сосновые леса и влага. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 140 с.
- [106] Молчанов А.А. Гидрологическая роль леса. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 487 с.
- [107] Молчанов А.А. Влияние леса на окружающую среду. М.: Наука, 1973. 359 с.

- [108] Кочергина М.В. Основы лесопаркового хозяйства. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2018. 59 с.
- [109] Плужников А.А. Оценка состояния и средообразующих функций сосновых насаждений центральной лесостепи: на примере Воронежской области: дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.02. Воронеж, 2014. 167 с.
- [110] Федосеев Г.Б., Скворцов С.С., Успенская Е.П. Роль летучих фракций фитонцидов в медицинской практике // Тезисы докл. VIII совещ. по проблеме фитонцидов. Киев: Наукова думка, 1979. 117 с.
- [111] Григорьева М.В. Фитонцидные свойства насаждений лесопарковой части зеленой зоны города Воронежа: дис. ... канд. биол. наук 11.00.11. Воронеж, 2000. 202 с.
- [112] Слепых В.В. Природные и антропогенные факторы и фитонцидная активность древесных пород // Лесное хозяйство, 2004. № 6. С. 17–19.
- [113] Холодный Н.Г. Биологическое значение фитогенных органических веществ атмосферы // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, 1948. Т. 53. Вып. 1. С. 53–71.
- [114] Колесниченко М.В. О взаимовлиянии древесных растений посредством фитонцидов // Тезисы докл. VII совещ. по проблеме фитонцидов. Киев: Наукова думка, 1975. С. 46–47.
- [115] Лебедев С.И. Физиология растений. М.: Агропромиздат, 1988. 544 с.

Сведения об авторе

Лежнев Даниил Викторович – начальник отдела НИР студентов и молодых ученых, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева); мл. науч. сотр. лаборатории лесоводства и биологической продуктивности, ФГБУН Институт лесоведения Российской академии наук (ИЛАН РАН), lezhnev.daniil@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.12.2024.

Одобрено после рецензирования 12.09.2025.

Принята к публикации 25.11.2025.

HABITAT-FORMING FUNCTIONS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

D.V. Lezhnev^{1,2}

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 127434, Moscow, Russia

²Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

lezhnev.daniil@yandex.ru

The review of Russian and foreign literature devoted to the study of the habitat-forming functions of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is presented. The review focuses on the biomass accumulation and habitat conservation depending on forest-growing conditions. It is shown that the ecological and biological characteristics of the pine, as well as forestry and taxation parameters of stands and their spatial structure, determine the intensity of ecosystem functions. The influence of pine formations' structural organization on air temperature, humidity, soil temperature, wind speed, precipitation, snowfall and snowmelt, as well as dust retention and environmental conditions in urban areas, is considered. The special attention is paid to the sanitary and hygienic role of pine forests due to their phytoncidal activity. It has been shown that the maximum values of oxygen production and carbon stock are typical for pine forests in low-lying, often swampy areas with minimal human impact. In contrast, in urban and suburban areas, there is a decline in most habitat-forming indicators.

Keywords: Scots pine, habitat-forming functions, forest ecosystems, ecosystem services, phytoncides, environment, climate change

Suggested citation: Lezhnev D.V. *Sredooobrazuyushchie funktsii nasazhdeniy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.)* [Habitat-forming functions of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 45–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-45-61

References

- [1] Wani A. M., Sahoo G. Forest ecosystem services and biodiversity. Spatial modeling in forest resources management: Rural livelihood and sustainable development, 2021, pp. 529–552.
- [2] Ge Y., Chen H., Zhang M., Li X. Area Threshold Interval of Urban Forest Patches Required to Maintain the Synergy between Biodiversity Conservation and Recreational Services: Case Study in Beijing, China. *Forests*, 2022, v. 13, p. 1848.
- [3] Takala T., Brockhaus M., Hujala T., Tanskanen M., Lehtinen A., Tikkanen J., Toppinen A. Discursive barriers to voluntary biodiversity conservation: The case of Finnish forest owners. *For. Policy Econ.*, 2022, v. 136, no. 102681.
- [4] Perez-Verdin G., Monarrez-Gonzalez J.C., Teclé A., Pompa-Garcia M. Evaluating the Multi-Functionality of Forest Ecosystems in Northern Mexico. *Forests*, 2018, v. 9, p. 178.
- [5] Lukina N.V., Geras'kina A.P., Gornov A.V. *Bioraznoobrazie i klimatoreguliruyushchie funktsii lesov: aktual'nye voprosy i perspektivy issledovaniy* [Biodiversity and climate-regulating functions of forests: current issues and research prospects]. *Voprosy lesnoy nauki* [Issues of Forest Science], 2020, v. 3, no. 4, pp. 1–90. DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-4-1-90.
- [6] Finlayson M., Cruz R.D., Davidson N.C., Alder J. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis. Washington: World Resources Institute, 2005, 68 p.
- [7] Turkelboom F., Raquez P., Dufrêne M. CICES going local: Ecosystem services classification adapted for a highly populated country. *Ecosystem services*. Elsevier, 2013, pp. 223–247.
- [8] Paquette A., Messier C. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2011, v. 20, pp. 170–180.
- [9] Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species. *Nat. Commun.*, 2023, v. 4, pp. 1–8.
- [10] Pretzsch H., Biber P., Schütze G., Uhl E., Rötzer T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nat. Commun.*, 2014, v. 5, p. 4967.
- [11] Forrester D.I. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. *For. Ecol. Manage.*, 2014, v. 312, pp. 282–292.
- [12] Grossiord C., Granier A., Ratcliffe S., Bouriaud O., Bruelheide H., Checko E. Tree diversity does not always improve resistance of forest ecosystems to drought. *Proc. Natl Acad. Sci. U.S.A.*, 2014, v. 111, pp. 14812–14815.
- [13] Ratcliffe S., Liebergesell M., Ruiz Benito P., Madrigal González J., Muñoz Castañeda J.M., Kändler G. Modes of functional biodiversity control on tree productivity across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2016, v. 25, pp. 251–262.
- [14] Jucker T., Avăcăriței D., Bărnoaiea I., Duduman G., Bouriaud O., Coomes D.A. Climate modulates the effects of tree diversity on forest productivity. *J. Ecol.*, 2016, v. 104, pp. 388–398.
- [15] Liang J., Crowther T.W., Picard N., Wiser S., Zhou M., Alberti G. Positive biodiversity–productivity relationship predominant in global forests. *Science*, 2016, v. 354, aaf8957. DOI:10.1126/science.aaf8957
- [16] Ratcliffe S., Wirth C., Jucker T. Biodiversity and ecosystem functioning relations in European forests depend on environmental context. *Ecology letters*, 2017, v. 20, no. 11, pp. 1414–1426.
- [17] Li X., Niu J., Zhang L., Xiao Q., McPherson G.E., Van Doorn N., Yu X., Xie B., Dymond S., Li J. A study on crown interception with four dominant tree species: A direct measurement. *Hydrol. Res.*, 2016, v. 47, pp. 857–868.
- [18] Atkins J.W., Fahey R.T., Hardiman B.H., Gough C.M. Forest Canopy Structural Complexity and Light Absorption Relationships at the Subcontinental Scale. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 2017, v. 123, pp. 1387–1405.
- [19] Dietz J., Hölscher D., Leuschner C. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. *For. Ecol. Manage.*, 2006, v. 237, pp. 170–178.
- [20] Kong, L., Xiong, K., Zhang, S. Influence on driving factors of ecosystem services: Its enlightenment for the improvement of forest ecosystem functions in karst desertification control. *Forests*, 2023, v. 14, no. 3, p. 582.
- [21] Lukina N.V. *Global'nye vyzovy i lesnye ekosistemy* [Global challenges and forest ecosystems]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2020, v. 90, no. 6, pp. 528–532. DOI 10.31857/S0869587320060080
- [22] Kuz'michev E.P., Trushina I.G., Trushina N.I. *Osnovnye metodicheskie podkhody k otsenke ekosistemnykh uslug v zarubezhnykh stranakh: obzor problemy* [Basic methodological approaches to the assessment of ecosystem services in foreign countries: an overview of the problem]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2021, no 1, pp. 144–164.
- [23] *Bioraznoobrazie i funkcionirovanie lesnykh ekosistem* [Biodiversity and functioning of forest ecosystems]. Moscow: Nauka, 2021, p. 327.
- [24] Kim J., Han S.H., Chang H. Quantitative assessment of climate regulating ecosystem services using carbon storage in major Korean ecosystems. *Korean J. of Environmental Biology*, 2016, v. 34, no. 1, pp. 8–17.
- [25] Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *J. of Applied Ecology*, 2017, v. 54, no. 1, pp. 12–27.
- [26] Brockerhoff E.G., Barbaro L., Castagneyrol B. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 2017, v. 26, pp. 3005–3035.
- [27] Chen Y., Liu Y., Yang S., Liu C. Impact of Land-Use Change on Ecosystem Services in the Wuling Mountains from a Transport Development Perspective. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2023, v. 20, p. 1323.

- [28] Vasil'ev O.D. *Kartografirovaniye sredobrazuyushchikh funktsiy lesov i ikh sravnitel'nyy analiz v landshaftakh Moskovskoy oblasti* [Mapping of the environment-forming functions of forests and their comparative analysis in the landscapes of the Moscow region]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya* [Bulletin of Moscow University. Geography Series], 2020, no. 6, pp. 21–31.
- [29] Chistov S.V. *Ispol'zovaniye printsipa ratsional'nosti prirodopol'zovaniya v reshenii krupnykh programm Moskovskogo regiona* [Using the principle of rational nature management in solving large-scale programs of the Moscow region]. *Problemy zemlepol'zovaniya v svyazi s razvitiem maloetazhnogo zhilishchnogo stroitel'stva v Moskovskom regione* [Problems of land use in connection with the development of low-rise housing construction in the Moscow region]. Moscow: [b.i.], 1993, pp. 49–54.
- [30] Dubenok N.N., Kuz'michev V.V., Lebedev A.V. *Ekologicheskie funktsii nasazhdeniy v usloviyakh megapolisa na primere Lesnoy opytnoy dachi Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Ecological functions of plantings in a megalopolis using the example of the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Agricultural Academy]. *Ekonomicheskie aspekty razvitiya APK i lesnogo khozyaystva. Lesnoe khozyaystvo Soyuznogo gosudarstva Rossii i Belorussii* [Economic aspects of the development of the agro-industrial complex and forestry. Forestry of the Union State of Russia and Belarus], Nizhny Novgorod, September 26, 2019 / Ed. N.N. Besschetnova. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, 2019, pp. 150–155.
- [31] Reymers N.F. *Prirodopol'zovaniye* [Nature management]. Moscow: Mysl, 1990, 639 p.
- [32] Tatarkin A.I., Loginov V.G. *Metodologicheskie voprosy otsenki lesa kak ekosistemy* [Methodological issues of assessing a forest as an ecosystem]. *Upravlenets*, 2014, no. 6 (52), pp. 4–9.
- [33] Dokuchaev V.V. *Russkie Chernozemy* [Russian Chernozems]. St. Petersburg, 1883, v. 3, 214 p.
- [34] Sukachev V.N. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of forest biogeocenology]. Moscow: Nauka, 1964, 574 p.
- [35] Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. *Konversionnye koeffitsienty fitomassa* [Conversion coefficients of phytomass / Stock in connection with dendrometric indicators and composition of tree stands]. *Lesovedenie*, 2005, no. 6, pp. 73–81.
- [36] Vasil'ev O.D., Chistov S.V. *Issledovaniye i kartografirovaniye ekologicheskikh funktsiy lesov Moskovskogo regiona: metodika i rezul'taty* [Study and mapping of ecological functions of forests of the Moscow region: methods and results]. *InterCarto*, 2018, v. 24, no. 1, pp. 348–367.
- [37] Vasil'ev O.D., Chistov S.V. *Issledovaniye i kartografirovaniye sredobrazuyushchikh funktsiy lesov Novoy Moskvy* [Study and mapping of habitat-forming functions of forests of New Moscow]. *zvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka* [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 2016, v. 60, no. 5, pp. 128–133.
- [38] Protopopov V.V. *Sredobrazuyushchaya rol' temnokhvonnogo lesa* [Habitat-forming role of dark coniferous forest]. Novosibirsk: Nauka, 1975, 328 p.
- [39] Protopopov V.V. *Analiz ekologicheskogo znacheniya temnokhvonnogo lesa* [Analysis of the ecological significance of dark coniferous forests]. *Problemy lesovedeniya v Sibiri* [Problems of forestry in Siberia]. Moscow: Nauka, 1977, pp. 25–43.
- [40] Isaev A.S. *Osnovnye napravleniya nauchnykh issledovaniy: zashchitnye i sotsial'nye aspekty* [Main directions of scientific research: protective and social aspects]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1990, no. 3, pp. 6–10.
- [41] Rudzkiy A.F. *Rukovodstvo k ustroystvu russkikh lesov* [Guide to the organization of Russian forests]. St. Petersburg: A.F. Devrien, 1893, 464 p.
- [42] Orlov M.M. *Ocherki po organizatsii lesnogo opytного dela v Rossii* [Essays on the organization of experimental forestry in Russia]. Petrograd: Printing house of M.A. Alexandrov, 1915, 271 p.
- [43] Zhukov A.B., Buzynkin A.I. *Puti povysheniya produktivnosti lesov* [Ways to Increase Forest Productivity]. *Lesovedenie*, 1977, no. 5, pp. 3–18.
- [44] Nepomnyashchiy V.V., Zavadskeya A.V. *Rekreatsionnoe prirodopol'zovaniye* [Recreational Nature Management]. Novosibirsk: Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2020, 108 p.
- [45] Yatsenko I.I. *Esteticheskaya okhrana lesov i lesoustroystvo* [Aesthetic Protection of Forests and Forest Management]. *Russian Forestry Journal*, 1917, no. 7–8, pp. 369–386.
- [46] Morozov G.F. *Uchenie o lese* [Theory of the Forest]. Moscow: Goslesbumizdat, 1949, 368 p.
- [47] Alexander S.J., Weigand J.F., Blatner K. *Nontimber forest products commerce*. Nontimber forest products in the United States. Lawrence, KS: University Press of Kansas, 2002, pp. 115–151.
- [48] *The Contribution of Criteria and Indicators to Sustainable Forest Management: the way forward*. Vol. 2, (22–26 July 2002; Guatemala City, Guatemala). Rome: FAO, 2003. URL: https://www.fao.org/4/j0077e/J0077E01.htm#P158_7279 (дата обращения 10.10.2024).
- [49] *Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 20.09.2018 № 1989-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda»* [Order of the Government of the Russian Federation of September 20, 2018 No. 1989-r «On Approval of the Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030»]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/551187885> (accessed 10.10.2024).
- [50] Takhtadzhyan A.L. *Floristicheskie oblasti Zemli* [Floristic regions of the Earth]. Leningrad: Science, 1978, 247 p.
- [51] Usol'tsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii* [Phytomass and primary production of Eurasian forests]. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2010, 570 p.
- [52] Bulygin N.E. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Lesnaya Promyshlennost, 1985, 226 p.
- [53] Sazonova T.A., Bolondinskiy V.K., Pridacha V.B. *Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika sosny obyknovennoy. Institut lesa Karel'skogo NTs RAN* [Ecological and physiological characteristics of Scots pine. Forest Institute, Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. Petrozavodsk: Verso, 2011, 207 p.

- [54] Sannikov S.N., Petrova I.V. *Filogenogeografiya i genotaksonomiya populyatsiy vida Pinus sylvestris L.* [Phylogenogeography and genotaxonomy of *Pinus sylvestris* L. populations]. *Ekologiya* [Ecology], 2012, no. 4, pp. 252–260.
- [55] Pravdin L.F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Scots pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow, 1964, 192 p.
- [56] Mikhaylova M.I. *Sostoyanie, rost i produktivnost' ekotipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh lesnykh kul'turakh Voronezhskoy oblasti* [State, growth and productivity of Scots pine ecotypes in geographical forest cultures of the Voronezh region]. Diss. Cand. Sci. (Geogr.), 2022, 219 p.
- [57] Shimanyuk A.P. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry], 1974, 264 p.
- [58] Sannikov S.N., Petrova I.V., Semerikov V.L. *Genofenogeograficheskiy analiz populyatsiy Pinus sylvestris L. na transekte ot severnoy do yuzhnoy granitsy areala* [Genophenogeographic analysis of *Pinus sylvestris* L. populations on a transect from the northern to the southern boundary of the range]. *Ekologiya* [Ecology], 2002, no. 2, pp. 97–102.
- [59] Kachalov A.A. *Derev'ya i kustarniki* [Trees and shrubs]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry], 1970, 408 p.
- [60] Kuzmin S. R., Kuzmina N. A. *Growth Regularities of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial under Different Soil Conditions* [Growth Regularities of Scots Pine Climatypes in the Provenance Trial under Different Soil Conditions]. *Contemporary Problems of Ecology* [Contemporary Problems of Ecology], 2023, v. 16, no. 5, pp. 645–656.
- [61] Raevskiy B.V. *Selektsiya i semenovodstvo sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) i sosny skruchennoy (Pinus contorta Dougl. ex Loud. var. latifolia Engelm) na Severo-Zapade taezhnoy zony Rossii* [Breeding and seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. var. *latifolia* Engelm) in the North-West taiga zone of Russia]. Dis. Dr. Sci. (Agric.). Petrozavodsk, 2015, 322 p.
- [62] Bobrov E.G. *Lesoobrazuyushchie khvoynye SSSR* [Forest-forming conifers of the USSR]. Moscow: Nauka, Leningrad branch, 1978, 190 p.
- [63] Usol'tsev V.A. *Fitomassa lesov Severnoy Evrazii: Baza dannykh i geografiya* [Forest biomass of Northern Eurasia: database and geography]. Ed. S.G. Shiyatov. Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001, 708 p.
- [64] Hanner M., Almqvist C., Hornfeldt R. Timing of seed dispersal in *Pinus sylvestris* stands in central Sweden. *Silva Fennica*, 2002, v. 36 (4), pp. 757–765.
- [65] Kireev D.M. *Lesnoe landshaftovedenie* [Forest landscape science]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2007, 540 p.
- [66] Lezhnev D.V., Kulikova D.D., Polyakova G.A. *Vosstanovitel'naya dinamika sosnovykh fitotsenozov na vyrubkakh v nadpoyemnykh terrasakh reki Moskvy* [Restoration dynamics of pine phytocenoses in clearings on floodplain terraces of the Moskva River]. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nostim* [Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and Life Safety], 2023, v. 31, no. 4, pp. 447–467.
- [67] Glazunov Yu.B., Polyakova G.A., Korotkov S.A., Lezhnev D.V. *Estestvennoe vozobnovlenie na vyrubkakh v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Natural regeneration in clearings in the Serebryanobor experimental forestry]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry J.], 2024, no. 2, pp. 74–83.
- [68] Pobedinskiy A.V. *Sosna* [Sosna]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forestry], 1979, 125 p.
- [69] Babich N.A., Korchagov S.A., Konyushatov O.A. *Aktual'nye problemy lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe Rossii v ramkakh perekhoda k intensivnoy modeli vedeniya lesnogo khozyaystva* [Actual problems of reforestation in the European North of Russia within the framework of the transition to an intensive model of forestry]. *Russian Forestry J.*, 2013, no. 2 (332), pp. 74–83.
- [70] Kurkin K.A. *Kriterii, faktory, tipy i mekhanizmy ustoychivosti fitotsenozov* [Criteria, factors, types and mechanisms of phytocenosis stability]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical J.], 1994, v. 79, no. 1, pp. 3–13.
- [71] Feklistov P.A., Evdokimov V.N., Barzut V.M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone evropeyskoy taygi* [Biological and ecological features of pine growth in the northern subzone of the European taiga]. Arkhangelsk: IPC AGTU, 1997, 140 p.
- [72] Abaturov A.V., Melankholin P.N. *Estestvennaya dinamika lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyakh v Podmoskov'e* [Natural forest dynamics on permanent sample plots in the Moscow region]. Tula: Grif i K°, 2004, 333 p.
- [73] Novitskaya Yu.E., Chikina P.F., Sofronova G.I. *Fiziologo-biokhimicheskie osnovy rosta i adaptatsii sosny na Severe* [Physiological and biochemical bases of pine growth and adaptation in the North]. Leningrad: Science. Leningrad branch, 1985, 156 p.
- [74] Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General forestry]. Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 598 p.
- [75] Klushevskaya E.S., Kuznetsova N.F. *Otsenka ustoychivosti sosny obyknovennoy k zasukhe po fiziologicheskim kharakteristikam khvoi* [Assessment of Scots pine drought resistance based on physiological characteristics of needles]. *Lesovedenie*, 2016, no. 3, pp. 216–222.
- [76] Tikhonova N.A., Tikhonova I.V. *Individual'naya izmenchivost' sosny obyknovennoy po priznakam zasukhoustoychivosti v lesostepnykh borakh Yuzhnoy Sibiri* [Individual variability of Scots pine based on drought resistance traits in forest-steppe pine forests of Southern Siberia]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest J.], 2016, no. 5, pp. 114–124.
- [77] Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Zolina T.A., Fedorov S.V., Berdov A.M., Kositsyn V.N., Yugov A.N., Kinigopulo P.S. *Analiticheskiy obzor kolichestvennykh i kachestvennykh kharakteristik lesov Rossiyskoy Federatsii: itogi pervogo tsikla gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Analytical review of quantitative and qualitative characteristics of forests of the Russian Federation: results of the first cycle of state forest inventory]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2022, no. 1, pp. 5–34.
- [78] Lezhnev D.V., Lebedev A.V. *Dinamika i ustoychivost' sosnovykh drevostoev v urboekosistemakh lesnoy opytnoy dachi RGAU – MSKha imeni K.A. Timiryazeva* [Dynamics and stability of pine stands in urban ecosystems of the forest experimental dacha of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Bulletin of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], 2023, no. 245, pp. 93–111.

- [79] Lufarov A.O. *Khod estestvennogo vozobnovleniya sosnovogo podrosta pod pologom nasazhdeniy s provedennymi rubkami promezhutochnogo pol'zovaniya i postepennymi rubkami glavnogo pol'zovaniya* [The course of natural regeneration of pine undergrowth under the canopy of stands with intermediate felling and gradual final felling]. Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaystvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov [Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, nature management and processing of renewable resources], 2020, no. 1 (228), pp. 39–47.
- [80] Vasil'ev O.D., Ogureeva G.N., Chistov S.V. *Otsenka tsenoticheskogo raznoobraziya lesnogo pokrova i ego dinamiki v etalonnykh landshaftakh Moskovskogo regiona po dannym distantsionnogo zondirovaniya* [Assessment of the cenotic diversity of forest cover and its dynamics in reference landscapes of the Moscow region based on remote sensing data]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle [Bulletin of the St. Petersburg University. Earth Sciences], 2019, v. 64 (2), pp. 185–205.
- [81] Lebedev A.V., Gostev V.V. *Adventivnyy komponent flory lesnoy opytной dachi Timiryazevskoy akademii* [Adventive component of the flora of the forest experimental dacha of the Timiryazev Academy]. Timiryazevskiy biologicheskiy zhurnal [Timiryazev Biological J.], 2023, no. 1, pp. 8–14.
- [82] Zakharov V.P., Korotkov S.A. *Dinamika lesov vostochnogo Podmoskov'ya i ikh ispol'zovanie* [Dynamics of forests in the eastern Moscow region and their use]. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchennykh i spetsialistov, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya A.Ya. Milovicha [Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists dedicated to the 150th anniversary of the birth of A.Ya. Milovich], Moscow, June 3–5, 2024. Collection of articles. Vol. 1. Moscow: Russian State Agrarian University–Moscow Agricultural Academy, 2024, pp. 144–149.
- [83] Kravchenko P.N. *Ekologicheskaya otsenka territorii Tverskoy oblasti v interesakh sokhraneniya redkikh vidov in situ na osnove karkasno-geoekologicheskogo modelirovaniya* [Ecological assessment of the territory of the Tver region for the sake of conservation of rare species in situ based on frame-geoecological modeling]. Dis. Cand. Sci. (Geogr.). Tver, 2015, 181 p.
- [84] Dubenok N.N., Kuzmichev V.V., Lebedev A.V. Ecological functions of forest stands in urbanized environment of Moscow. RUDN J. of Agronomy and Animal Industries, 2019, v. 14, no. 2, pp. 154–161. DOI 10.22363/2312-797X-2019-14-2-154-161
- [85] Rysin L.P. *Lesа Podmoskov'ya* [Forests of the Moscow region]. Moscow: Partnership of scientific publications KMK, 2012, 255 p.
- [86] Korotkov S.A. *Smena sostava drevostoev i ustoychivost' zashchitnykh lesov tsentral'noy chasti Russkoy ravniny* [Change in the composition of tree stands and stability of protective forests of the central part of the Russian Plain]. Moscow: Doblest' epokh, 2023, 168 p.
- [87] Torgashev R.E., Golovanov V.I. *Upravlenie prirodookhranno-rekreatsionnym lesopol'zovaniem Moskovskogo stolichnogo regiona* [Management of nature conservation and recreational forest use in the Moscow metropolitan region]. Munitsipal'naya akademiya [Municipal Academy], 2022, no. 1, pp. 148–160.
- [88] Lebedev A.V. Changes in the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in an urban environment in European Russia since 1862. J. of Forestry Research, 2022, pp. 34–36.
- [89] Chernen'kova T.V., Puzachenko M.Yu., Belyaeva N.G., Kotlov I.P., Morozova O.V. *Kharakteristika i perspektivy sokhraneniya sosnovykh lesov Moskovskoy oblasti* [Characteristics and prospects for preserving pine forests in the Moscow region]. Lesovedenie [Forest Science], 2019, no. 5, pp. 449–464.
- [90] Korotkov S., Stonozhenko L., Lezhnev D., Eregina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region. II International Conference «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), Karshi, 21–22 апреля 2023 года. Vol. 3011. New York: AIP PUBLISHING, 2023, p. 20031.
- [91] Chernen'kova T.V., Suslova E.G., Morozova O.V. *Bioraznoobraziye lesov Moskovskogo regiona* [Biodiversity of forests of the Moscow region]. Ekosistemy: ekologiya i dinamika [Ecosystems: ecology and dynamics], 2020, v. 4, no. 3, pp. 61–144.
- [92] Martynenko O.V., Karminov V.N., Shepashchenko D.G., Ontikov P.V. *Zavisimost' produktivnosti sosnovykh nasazhdeniy ot pochvenno-gruntovykh usloviy v Moskovskom uchebno-opytном lesnichestve* [Dependence of pine plantation productivity on soil and ground conditions in the Moscow educational and experimental forestry]. Lesovedenie [Forest Science], 2017, no. 6, pp. 411–417.
- [93] Lebedev A.V. *Obobshchennaya model' raspredeleniya diametrov derev'ev v sosnovykh drevostoyakh* [Generalized model of pine trees diameter distribution]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 53–62. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-4-53-62
- [94] Lipatkin V.A., Korotkov S.A. *O sovremennykh tendentsiyakh formirovaniya nasazhdeniy Podmoskov'ya* [On modern trends in the formation of plantations in the Moscow region]. Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: mater. Sed'moy Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Improving the efficiency of the forest complex: materials. Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation], Petrozavodsk, May 25, 2021. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021, pp. 105–106.
- [95] Rubtsov V.I. *Klassifikatsiya funktsiy i roli lesa* [Classification of functions and roles of the forest]. Lesovedenie, 1984, no. 2, pp. 3–9.
- [96] Woodward F.I., Smith T.M., Emanuel V.R. A global and primary productivity and phypogeography model. Global biogeochemical cycles, 1995, v. 9, iss. 4, pp. 471–490
- [97] Schimal D.S., House J.L., Hibbard K.A. Reset patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems. Nature, 2001, v. 414, no. 8. pp. 169–178.

- [98] Churakov B.P., Manyakina E.V. *Deponirovanie ugleroda raznovozrastnymi kul'turami sosny* [Carbon sequestration by pine crops of different ages]. *Ul'yanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk Medical and Biological J.], 2012, no. 1, pp. 125–129.
- [99] Pluzhnikov A.A. *Otsenka sostoyaniya i sredoobrazuyushchikh funktsiy sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi (na primere Voronezhskoy oblasti)* [Assessment of the state and environment-forming functions of pine plantations in the Central forest-steppe (using the Voronezh region as an example)]. Author's abstract. Diss. Cand. Sci. (Agric.). Pushkino, 2014, 21 p.
- [100] Polyakov A.N., Ipatov P.F., Uspenskiy V.V. *Produktivnost' lesnykh kul'tur* [Productivity of forest crops]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 240 p.
- [101] Pobedinskiy A.V. *Vodookhrannaya i pochvozashchitnaya rol' lesov* [Water protection and soil protection role of forests]. Pushkino: All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, 2013, 208 p.
- [102] Tsel'niker Yu.L. *Svetovoy rezhim i formirovanie fotosinteticheskogo apparata lesnykh drevesnykh rasteniy* [Light regime and formation of the photosynthetic apparatus of forest woody plants]. Dis. Dr. Sci. (Biol.) 03.00.12. Moscow, 1977, 332 p.
- [103] Molchanov A.A. *Les i klimat. Akademiya nauk SSSR. Laboratoriya lesovedeniya* [Forest and climate. USSR Academy of Sciences. Laboratory of forestry]. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1961, 279 p.
- [104] Zyubina V.I., Protopopov V.V. *Transformatsiya lesami klimaticheskikh faktorov na okruzhayushchey territorii v svyazi s kolichestvom skontsentrirovannoy v nikh fitomassy* [Transformation of climatic factors in the surrounding area by forests in connection with the amount of phytomass concentrated in them]. *Vodookhranno-zashchitnoe znachenie lesa: mater. Vsesoyuz. konf. 15–19 oktyabrya 1974 g.* [Water protection and protective significance of the forest: Proc. All-Union Conf. October 15–19, 1974]. Vladivostok: Publishing House of the Biology and Soil Institute of the Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1974, pp. 10–11.
- [105] Molchanov A.A. *Sosnovye lesa i vlaga* [Pine Forests and Moisture]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1953, 140 p.
- [106] Molchanov A.A. *Gidrologicheskaya rol' lesa* [Hydrological Role of the Forest]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960, 487 p.
- [107] Molchanov A.A. *Vliyaniye lesa na okruzhayushchuyu sredu* [Impact of the Forest on the Environment]. Moscow: Nauka, 1973, 359 p.
- [108] Kochergina M.V. *Osnovy lesoparkovogo khozyaystva* [Fundamentals of Forest Park Management]. Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov, 2018, 59 p.
- [109] Pluzhnikov A.A. *Otsenka sostoyaniya i sredoobrazuyushchikh funktsiy sosnovykh nasazhdeniy Tsentral'noy lesostepi: na primere Voronezhskoy oblasti* [Assessment of the state and environment-forming functions of pine plantations in the Central forest-steppe: on the example of the Voronezh region]. Dis. Cand. Sci. (Agric.) 06.03.02. Voronezh, 2014, 167 p.
- [110] Fedoseev G.B., Skvortsov S.S., Uspenskaya E.P. *Rol' letuchikh fraktsiy fitontsidov v meditsinskoj praktike* [The role of volatile fractions of phytoncides in medical practice]. *Tezisy докладов VIII soveshchaniya po probleme fitontsidov* [Abstracts of reports of the VIII meeting on the problem of phytoncides]. Kyiv: Naukova Dumka, 1979, 117 p.
- [111] Grigor'eva M.V. *Fitontsidnye svoystva nasazhdeniy lesoparkovoy chasti zelenoy zony goroda Voronezha* [Phytoncidal properties of plantings of the forest park part of the green zone of the city of Voronezh]. Dis. Cand. Sci. (Biol.) 11.00.11. Voronezh, 2000, 202 p.
- [112] Slepikh V.V. *Prirodnye i antropogennyye faktory i fitontsidnaya aktivnost' drevesnykh porod* [Natural and anthropogenic factors and phytoncidal activity of tree species]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2004, no. 6, pp. 17–19.
- [113] Kholodnyy N.G. *Biologicheskoe znachenie fitogennykh organicheskikh veshchestv atmosfery* [Biological significance of phytogenic organic substances of the atmosphere]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskii* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological Department], 1948, v. 53, iss. 1, pp. 53–71.
- [114] Kolesnichenko M.V. *O vzaimovliyaniy drevesnykh rasteniy posredstvom fitontsidov* [On the mutual influence of woody plants by means of phytoncides]. *Tezisy докладов VII soveshchaniya po probleme fitontsidov* [Abstracts of reports of the VII meeting on the problem of phytoncides]. Kyiv: Naukova Dumka, 1975, pp. 46–47.
- [115] Lebedev S.I. *Fiziologiya rasteniy* [Plant physiology]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 544 p.

Author's information

Daniil Viktorovich Lezhnev — Head of the Research Department for Students and Young Scientists, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Jr. Scientific Associate of the Laboratories of Forestry and Biological Productivity of the Institute of Forestry Sciences, lezhnev.daniil@yandex.ru

Received 03.12.2024.

Approved after review 12.09.2025.

Accepted for publication 25.11.2025.