

Методологические основы комплексных исследований лесных фитоценозов

Д.В. Лежнев^{1,2)}

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
РФ, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

Институт лесоведения РАН,
РФ, 143030, Московская обл., Одинцовский г.о., с. Успенское, ул. Советская, д. 21

Адрес для переписки: *lezhnev.daniil@yandex.ru*

Реферат. В статье представлены методологические основы комплексных исследований лесных фитоценозов, направленных на оценку структурной организации, устойчивости и динамики лесных экосистем на постоянных пробных площадях. Описаны современные подходы к закладке и обследованию пробных площадей, включая классификацию ярусов растительности, методы инвентаризации древостоя, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова. В статье рассмотрены современные подходы к лесной таксации с применением мобильных устройств, оснащенных LiDAR-модулями. Особое внимание уделено методам получения высокоточных биометрических параметров древесной растительности, а также сравнительной оценке эффективности и точности, достигаемой с помощью специализированного приложения Arboreal Forest. Подчеркивается значение комплексного подхода в изучении фитоценозов, включающего оценку вертикальной и горизонтальной структуры, сомкнутости полога, описание подроста, подлеска и флористического состава живого напочвенного покрова, а также использование математико-статистических методов при камеральной обработке данных. Подробно рассмотрены особенности учёта видов живого напочвенного покрова, в том числе с использованием платформы iNaturalist. Работа демонстрирует интеграцию традиционных полевых методов с новыми цифровыми технологиями, повышающими точность, скорость и воспроизводимость данных при мониторинге лесных экосистем.

Ключевые слова. Методология, полевые работы, лесные экосистемы, мониторинг, лесная таксация, биометрические характеристики деревьев, инвентаризация насаждений, постоянная пробная площадь, Arboreal Forest, iPhone LiDAR, iNaturalist.

Methodological foundations of complex studies of forest phytocenoses

D.V. Lezhnev^{1,2)}

¹⁾Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49, Timiryazevskaya str., 127434, Moscow, Russian Federation

²⁾Institute of Forest Sciences RAS,
21, Sovetskaya str., 143030, Uspenskoe, Moscow region, Russian Federation

Correspondence address: *lezhnev.daniil@yandex.ru*

Abstract. The article presents the methodological foundations of complex studies of forest phytocenoses aimed at assessing the structural organization, stability and dynamics of forest ecosystems on permanent sample plots. Modern approaches to the establishment and survey of sample plots are described, including the classification of vegetation layers, methods for inventorying the stand, undergrowth, understory and living ground cover. The article considers modern approaches to forest taxation using mobile devices equipped with LiDAR modules. Particular attention is paid to methods for obtaining high-precision biometric parameters of woody vegetation, as well as a comparative assessment of the efficiency and accuracy achieved using a specialized Arboreal Forest application. The importance of an integrated approach to the study of phytocenoses is emphasized, including an assessment of the vertical and horizontal structure, canopy density, a description of the undergrowth, understory and floristic composition of the living ground cover, as well as the use of mathematical and statistical methods in office data processing. The features of accounting for species of living ground cover are considered in detail, including using the iNaturalist platform. The work demonstrates the integration of traditional field methods with new digital technologies that improve the accuracy, speed and reproducibility of data when monitoring forest ecosystems.

Keywords. Methodology, field work, forest ecosystems, monitoring, forest taxation, biometric characteristics of trees, inventory of stands, permanent sample plot, Arboreal Forest, iPhone LiDAR, iNaturalist.

Введение

Лесные экосистемы – наиболее распространённые наземные экосистемы на планете. Они служат средой обитания для более половины известных видов растений и животных, выполняя ключевые функции в поддержании биосферы. Лесные фитоценозы представляют собой природные экосистемы, которые обеспечивают ряд важнейших услуг для человека. В основном выделяют следующие группы экологических функций лесных насаждений: средообразующие, защитные и стабилизирующие функции (Васильев, 2020; Lezhnev et al., 2025).

В настоящее время сложились особые условия для роста и развития лесных насаждений. На сегодняшний день важной проблемой остается сохранение длительно и эффективно функционирующих лесных фитоценозов. Актуален вопрос отклика лесных экосистем на значительное изменение экзогенных факторов (Глазунов и др., 2016; Черненко и др., 2019; Дубенок и др., 2020; Коротков, 2023; Глазунов и др., 2024а).

Вместе с тем лесные фитоценозы являются частью биогеоценозов – более сложных природных систем, что важно учитывать при их изучении. Под структурой фитоценозов Т.А. Работнов (1992) понимает особенности размещения растений и их компонентов в пространстве и во времени. Структура характеризует объем среды, которая используется фитоценозом, а также особенности взаимодействия растительности со средой.

Структурная организация определяется составом и количественным соотношением компонентов растительных сообществ, условиями произрастания, а в эксплуатируемых человеком формой и интенсивностью воздействия на фитоценоз.

Важным признаком структуры лесных фитоценозов является степень сомкнутости растительности и особенность вертикального распределения, а также наличие или отсутствие нескольких ярусов.

В данный момент в науке существует две трактовки ярусности, исходя из жизненных форм видов, которые входят в состав ценозов и из расположения органов растений (Теоретические вопросы ..., 1971). Как правило, в современных исследованиях чаще применяют первый подход в ходе изучения структуры лесных фитоценозов.

Стоит отметить, что особенно четко ярусность наблюдается в лесах хвойно-широколиственной зоны, также значительную роль в определении структурной организации фитоценозов играет состав ценоэлементов, численность и жизненное состояние особей сосудистых растений (Работнов, 1992).

В современных исследованиях лесных экосистем рекомендуется использовать комплексный подход по изучению роста и производительности, а также структурной организации фитоценозов. Системный анализ позволяет рассматривать лесной фитоценоз как сложную систему, где все элементы взаимосвязаны и взаимодействуют между собой.

Применение комплексного подхода в современной лесной экологии позволяет дать оценку протекающих процессов, происходящих в лесах, прогнозировать состояние, оценивать параметры формирующихся насаждений.

Цель исследования – рассмотреть методологические подходы комплексного изучения основных ярусов лесных фитоценозов: древесный, древесно-кустарниковый и травяно-кустарничковый на постоянных пробных площадях в древостоях и на вырубках.

Задачи:

- проанализировать различные подходы при проведении полевых работ в насаждениях и на вырубках;
 - обосновать методологические подходы по проведению комплексных исследований структурной организации лесных экосистем;
-

– рассмотреть особенности сбора полевых данных с использованием мобильных устройств и их последующей обработки с использованием методов математической статистики.

Результаты и обсуждение

Методика комплексных исследований на постоянных пробных площадях в насаждениях. Постоянные пробные площади (ППП) закладываются на длительное время с целью изучения хода роста древостоев, изменения структурной организации или определения эффективности проведения различных лесохозяйственных мероприятий (рубки, внесение удобрений, осушительная мелиорация) (Пилипко, 2013).

Для этих целей подбирается однородный участок насаждения по количественным и качественным показателям, который характеризуется комплексом таксационных признаков. К ним относятся происхождение, форма, состав, возраст, средний диаметр и средняя высота, класс бонитета, тип леса, полнота, запас древесины и ряд других показателей.

Особенное значение имеют многолетние стационарные исследования на одних и тех же ППП, так как непрерывность получения данных позволяет объективно оценить динамику протекающих сукцессионных изменений в лесных фитоценозах (Абатуров, Меланхолин, 2004; Быков, 2008; Lezhnev et al., 2024).

Место расположения постоянной пробной площади выбирается в части древостоя однородного по всем таксационным показателям и условиям местопроизрастания, не ближе, чем 30 м от широких квартальных просек, дорог, опушек леса, вырубок и иных не покрытых лесом площадей.

Пробная площадь прямоугольной формы огораживается визирами. Иногда эффективно прокопать канавку глубиной 20-30 см по периметру ППП, это позволит закрепить границы на длительное время. Общая площадь ППП зависит от количества деревьев преобладающей породы. На пробной площади, заложенной в молодняках, должно быть не менее 400 деревьев, в приспевающих и средневозрастных – не менее 300, в спелых – не менее 200, в перестойных – не менее 150 деревьев главной породы. Указанное количество деревьев необходимо для получения достоверной информации и получения результатов с высокой достоверностью. При этом в молодняках рекомендуется пробные площади закладываются размером не менее 0.25 га.

Все деревья на постоянной пробной площади нумеруются масляной краской или наносятся ламинированные таблички с присвоением каждому дереву индивидуального номера. Для этого на высоте 1.3-1.5 м очищают место под номер или подрумянивают грубую кору (без повреждения луба). После этого на каждом наносят по трафарету номер дерева и отмечают высоту 1.3 м от шейки корня горизонтальной линией (рис. 1).

Обследование лесных экосистем, как правило, проводится по общепринятой лесоводственно-таксационной методике, в соответствии с требованиями ОСТ 56-69-83 «Пробные площади лесоустойчивые. Методы закладки»,

однако не всегда получается выполнить показатель по количеству деревьев главной породы, так как размер фитоценоза ограничен или момент закладки ППП был осуществлен ранее, чем вышли данные отраслевые стандарты.

А

Б



Рисунок 1. Общий вид древостоев на постоянных пробных площадях с нанесением на деревьях индивидуальных номеров: масляной краской (А), ламинированными табличками (Б)

Figure 1. General view of tree stands on permanent trial plots with individual numbers applied to trees: with oil paint (A), laminated plates (B)

Пробные площади различаются по форме: четырехугольные, ленточные и круговые. Основной формой пробных площадей, на которых производятся наиболее полные измерения, являются прямоугольные и квадратные.

Отграничение прямоугольных и квадратных пробных площадей в натуре производится инструментально с замером углов и сторон. Пробные площади отграничиваются визирами шириной до 0.5 м с нанесением на граничных деревьях пометок краской. По углам пробной площади устанавливают информационные знаки с указанием номера пробной площади, лесного квартала и лесотаксационного выдела, а также фиксируют координаты их местоположения с помощью специальных приборов (Приказ..., 2022). Для обеспечения необходимого количества деревьев пробу ограничивают визирами с трёх сторон, а четвёртую закрывают после перечёта, то есть, когда наберется нужное количество деревьев.

При закладке круговых ППП радиус заложения определяется в зависимости от густоты древостоя, как правило, площадь 0.3 га позволяет набрать

необходимое количество деревьев основного элемента леса. Однако, при изучении старовозрастных лесных экосистем (возраст более 150 лет), рекомендуется брать размер площади не менее 0.5 га. Круговые ППП постоянного радиуса обычно имеют небольшие размеры (радиус до 25-30 м), что обеспечивает достижение наибольшей однородности древостоя в пределах ППП, имеющей важное значение для точности и чистоты эксперимента.

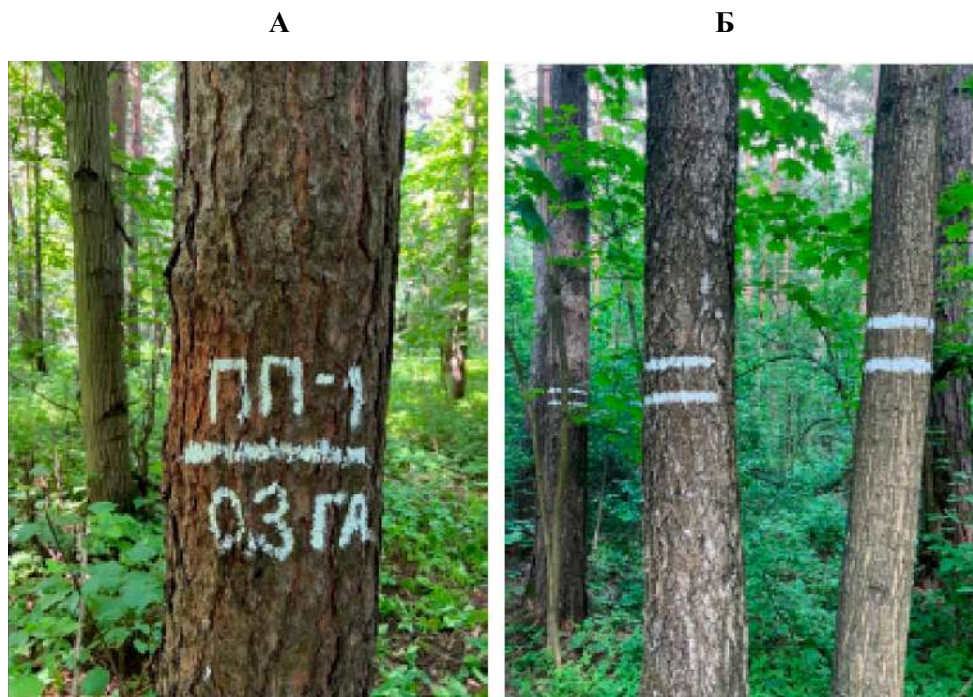


Рисунок 2. Общий вид на круговых постоянных пробных площадях: с нанесением на центральном дереве номера и размера пробной площади (А), с нанесением границ круговой пробной площади на деревьях (Б)

Figure 2. General view of circular permanent trial plots: with the number and size of the trial plot marked on the central tree (А), with the boundaries of the circular trial plot marked on the trees (Б)

При закладке круговой постоянной пробной площади отбирается здоровое, без механических повреждений и существенного наклона центральное дерево главной породы. На центральном дереве наносится первый порядковый номер, год закладки ППП, на обратной стороне ствола – номер и общая площадь ППП. Границы пробной площади отмечаются двумя горизонтальными линиями на деревьях, которые не входят в пробную площадь (рис. 2).

Древостой. После отбивки границ ППП начинается этап сплошного перечета деревьев с диаметром 6 см и более с точностью до 0.1 см. Перечет деревьев на высоте 1.3 м можно осуществлять двумя способами: с использованием мерной вилки – измерения осуществляются в двух направлениях (С-Ю; З-В) с последующим расчетом среднего диаметра или мерной лентой через длину окружности ствола с последующим расчетом диаметра ствола (рис. 3).



Рисунок 3. Определение среднего диаметра ствола на высоте 1.3 метра с использованием мерной ленты

Figure 3. Determining the average trunk diameter at a height of 1.3 meters using a measuring tape

Измерение высот модельных деревьев осуществляется высотомером или с применением приложения Arboreal Forest после завершения сплошного пере-
чета деревьев: для главного яруса 20-30 модельных деревьев и 10-20 деревьев
сопутствующего яруса по каждой породе (при наличии) для определения
дальнейшего определения средней высоты (рис. 4).



Рисунок 4. Измерение высот на пробной площади с использованием Haglof Vertex III

Figure 4. Measuring elevations on a test plot using the Haglof Vertex III

По форме насаждения различают: простые – одноярусные и сложные – двух-трехъярусные. Чаще всего встречаются двухъярусные насаждения, особенно в зоне хвойно-широколиственных лесов. Главным считается ярус, который имеет больший запас на 1 га (Загребев и др., 1992).

Выделение ярусов проводится по разнице в средних высотах по элементам леса с определением их основных таксационных характеристик (Сукачев, Зонн, 1961; Корчагин, 1976). Например, в смешанных лесах первый ярус выделяется по светолубивой хвойной породе: сосна и лиственница.

Второй ярус в насаждениях выделяется в следующих случаях:

- полнота каждого яруса должна быть не менее 0.3;
- разница в средних высотах ярусов должна составлять не менее 20%;
- при высоте нижнего яруса от 4 до 8 м ярус выделяется, если его средняя высота составляет не менее 1/4 высоты первого яруса.

Однако в ходе фитоценологических исследований второй ярус может выделяться без учета показателя полноты (Лежнев, Лебедев, 2023; Глазунов и др., 2024a; Korotkov et al., 2023).

Во время перечета деревьев также проводится глазомерная оценка жизненного состояния деревьев и распределение их по категориям санитарного состояния в соответствии с утвержденным «Порядком проведения лесопатологических обследований...» по 5 бальной шкале (Приказ..., 2020).

Следующим этапом проведения полевых работ в древостоях является отбор кернов древесины возрастным буравом у модельных деревьев в количестве 5-10 штук из различных ступеней толщины на высоте около 0.2-0.3 м с целью определения возраста насаждений (Глазунов и др., 2024). В древостоях сложных по форме также необходимо отбирать по несколько кернов из разных ступеней толщины у каждой древесной породы сопутствующего яруса, для определения возрастной структуры древесного яруса фитоценоза в целом (рис. 5).

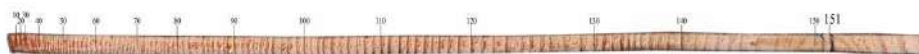


Рисунок 5. Возрастной керн сосны, отобранный на постоянной пробной площади

Figure 5. Age core of Scots pine collected from a permanent sample plot

Важно отметить, что на сегодняшний день в Российской Федерации существует высокая потребность в актуальной информации о количественных и качественных характеристиках насаждений на землях лесного фонда и городских озелененных территориях. Для удовлетворения этой потребности необходимы инновационные подходы к методам лесной таксации, нацеленным на повышение темпов и точности при сборе, обработке и анализе таксационной информации (Роувинен, 2014).

Совершенствование методов инвентаризации лесных насаждений, позволяет обеспечивать устойчивое управление лесами (Honkavaara et al., 2016). Классические полевые методы инвентаризации связаны с высокой трудоемко-

стью и значительными временными затратами, а также подвержены субъективным ошибкам в измерениях (Liang et al., 2016).

Одним из ключевых вопросов при проведении лесоустроительных работ и лесной таксации становится поиск способов увеличения результативности натурных работ. Развитие мобильных технологий сегодня способствует более объективному и точному измерению таксационных показателей, так как позволяет собирать первичные данные в цифровом формате и оперативно обрабатывать их в последующем.

Для высокоточной фиксации биометрических характеристик деревьев в последние годы разрабатывается широкая линейка специализированного программного обеспечения для смартфонов, в том числе с внедренными LiDAR-модулями.

Несмотря на то, что соответствующие мобильные приложения для учета древостоев и отдельных древесных растений пока еще находятся на стадии апробации, становится необходимым соотносить их результаты с информацией, получаемой классическими методами измерений в таксационной практике (Лебедев, 2023).

Альтернативным направлением, которое набирает обороты в лесоинвентаризационных исследованиях, выступают технологии наземного лазерного сканирования. Данный метод позволяет определять пространственную структуру насаждений и вычислять основные таксационные характеристики на основе трехмерных облаков точек (Кабонен, Иванова, 2023; Proudman et al., 2022), обеспечивая высокую степень детальности (Gollob, 2019).

Прикладное использование LiDAR-датчиков, интегрированных в мобильные устройства (телефоны и планшеты), для измерения основных морфометрических показателей деревьев активно развивается (Лебедев, 2023; Woo et al., 2021). Достоинства данного подхода связаны с оперативностью проведения полевых изысканий и мобильностью оборудования (Sandim et al., 2023), что особенно ценно при условии больших объемов работ или отдалённости территорий обследования.

Наиболее ярким примером такого решения является шведская разработка Arboreal Forest, совместимая исключительно с Apple-устройствами (iPhone, iPad), оснащенными LiDAR. Данное приложение позволяет осуществлять учет диаметра стволов на круговых пробных площадях, с помощью линейных маршрутов (трансектов), а также на произвольно определяемых участках (рис. 6).

Внедрение мобильных приложений для лесной таксации, в том числе биометрических измерений, способно существенным образом преобразовывает традиционные способы инвентаризации. Ряд исследователей (Pace et al., 2022; Sandim et al., 2023) указывает на высокую сопоставимость данных о таксационных признаках, полученных посредством Arboreal Forest, и информации, зафиксированной при помощи общепринятых таксационных приборов. Погрешность, выраженная в абсолютном отклонении диаметра деревьев, не превышала 5-7% для большинства случаев. При этом у крупных экземпляров иногда фиксировалось занижение размеров ствола, что может объясняться

особенностями отражения лазерного сигнала или ошибками распознавания границ ствола в условиях сильной затененности под пологом леса.

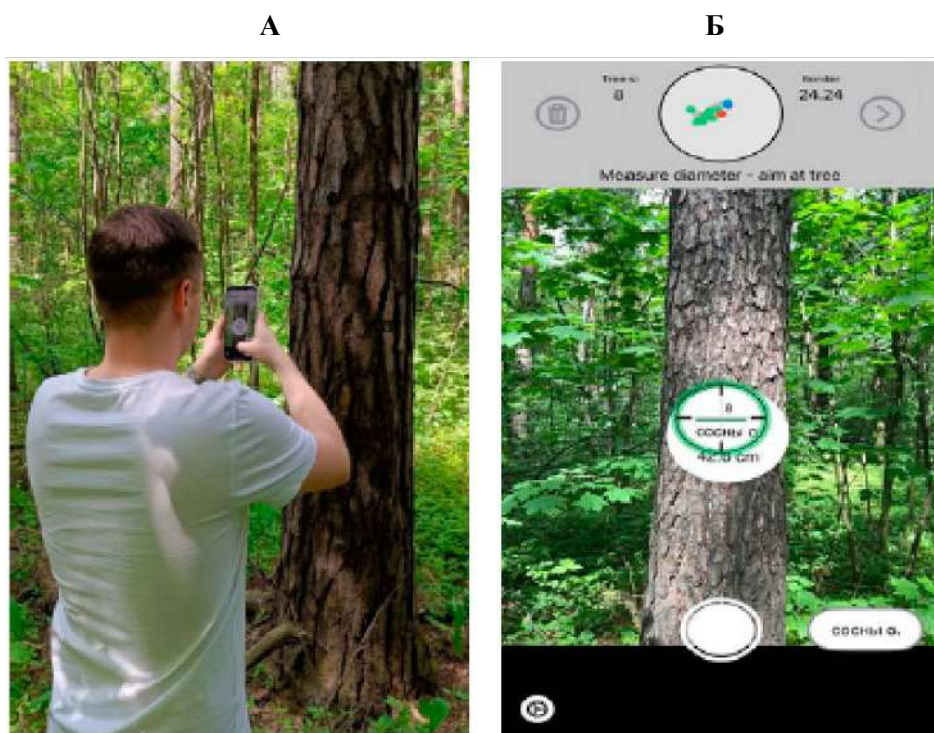


Рисунок 6. Измерение диаметра ствола сосны с использованием смартфона (А), интерфейс приложения Arboreal Forest в режиме перечета деревьев (Б)

Figure 6. Measuring the diameter of a pine tree using a smartphone (A), Arboreal Forest application interface in the menu for selecting the size of the sample plot (B)

При этом отмечается тенденция к небольшому занижению диаметров у деревьев крупных размеров. Тем не менее, расхождения с результатами классических измерений, например, при использовании мерной вилки, остаются в пределах допустимой погрешности (Лебедев, 2023).

Подрост и подлесок. Одним из важных элементов лесного фитоценоза является древесно-кустарниковая растительность нижних ярусов (подрост и подлесок). Наблюдение за ходом естественного возобновления под пологом древостоев позволяет глубже понять роль подроста в сохранении устойчивости и повышении продуктивности насаждения (Лежнев, 2024).

Кроме сохранения биоразнообразия, подрост и подлесок также может играть важную функциональную роль, регулируя естественные процессы в экосистеме, например, посредством влияния на лесообразовательный процесс (George, Bazzaz, 2014; Muller, 2014; Elliott et al., 2015; Thrippleton et al., 2018).

Подрост и подлесок активно реагируют на изменения в условиях освещенности и интенсивности рекреационного воздействия. В последнее время в центре внимания все чаще оказываются изменения в сообществах нижнего

яруса, вызванные изменением климата, наряду с последствиями увеличения инвазионных видов (Bertrand et al., 2011; Peebles-Spencer et al., 2017).

Наблюдение за ходом естественного возобновления под пологом древостоев, позволяет глубже понять роль подроста в сохранении устойчивости и повышении продуктивности насаждения (Беляева и др., 2012). Нижние ярусы насаждений являются важными с точки зрения биоразнообразия лесов умеренного пояса, которые имеют в среднем около 80% разнообразия сосудистых растений (Gilliam, 2007).

При пересчете не следует смешивать подрост с основным древостоем. К подросту относится молодое поколение леса, которое со временем может заменить основной древостой, но во время таксации имеет высоту менее 1/4 средней высоты основного яруса.

Для определения количественной и качественной характеристики нижних ярусов древесно-кустарниковой растительности фитоценозов выполняется закладка учетных площадок размером 25 м^2 , в количестве 5 шт., расположенных методом «конверта» (рис. 7).

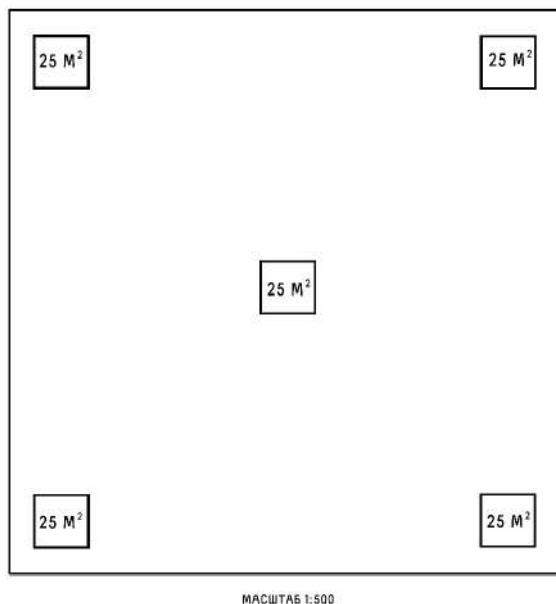


Рисунок 7. Расположение учетных площадок для изучения подроста и подлеска на постоянной пробной площади

Figure 7. Location of survey plots for studying undergrowth and understory on a permanent sample plot

Учётные работы по определению подроста осуществляли отдельно по породам, жизненному состоянию (жизнеспособные, нежизнеспособные и сухие). У каждого дерева на учетной площадке измеряют высоту с точностью до 1 см с последующим распределением их по категориям крупности. При этом к категории мелкого относят растения высотой от 0.1 до 0.5 м, среднего –

от 0.6 до 1.5 м, крупного – высотой более 1.5 м (Загребев и др., 1992; Дубенок и др., 2024; Лежнев, Коротков, 2024).

Живой напочвенный покров. Одним из основных компонентов лесных фитоценозов и важным источником многообразия растительного покрова является травяно-кустарниковый ярус (Уфимцев и др., 2018; Лежнев, Меняева, 2023а). Фитоценотическая роль живого напочвенного покрова в лесных экосистемах очень существенна. Принимая участие в биологическом круговороте веществ, он аккумулирует в собственной фитомассе значительную долю влаги и элементов минерального питания (Корчагин, Лавренко, 1964; Чижов, 2003; Лежнев, Меняева, 2024).

Флористический состав, структура, количественные и качественные показатели, травянистого яруса используются в качестве одного из диагностических показателей влияния ряда факторов на лесные фитоценозы. Соотношение экологических групп травянистого яруса могут использоваться для определения состояния лесных фитоценозов (Дубенок и др., 2023; Коновалова, Коновалов, 2023).

Травяно-кустарниковый ярус является наиболее мобильным компонентом лесного фитоценоза, быстро реагируя на изменение локальных экологических условий, в том числе антропогенное воздействие. В городах флористические и эколого-ценотические особенности живого напочвенного покрова служат индикатором степени рекреационного воздействия (Кузнецов и др., 2015; Беляева и др., 2015; Коротков, Ухов, 2021; Коротков и др., 2024).

При характеристике количественного участия видов в фитоценозе, как правило, используют одну из основных шкал обилия видов Ж. Браун-Бланке или О. Друде, однако зачастую в современных исследованиях предпочтение отдается последней (Коротков, 2023; Тихонова и др., 2023; Криницын и др., 2024).

При описании живого напочвенного покрова в лесных экосистемах фиксируют общие характеристики: дату, географическое положение, рельеф, тип почвы и условия местопроизрастания, а также описание фитоценоза. В пределах пробной площади размещают не менее 10 учетных площадок размером 1 м² (при высокой видовой насыщенности) или 4 м² (при низкой), расположенных по диагонали на равных расстояниях и отмеченных на местности. Каждая учетная площадка описывается на специальном бланке, содержащем сведения о номере, дате, микрорельефе и степени задернения, а также – о растительном покрове. В случаях упрощенного исследования пробная площадь выбирается визуально в наиболее типичном месте, без закладки учетных площадок, с последующим составлением флористического списка методом диагонального обхода (Терехина, 2022; Румянцев и др., 2023).

На постоянных пробных площадях определяется также обилие каждого вида травянистой растительности. Обилие – это количество экземпляров или наземных побегов конкретного вида растения на единице площади. Этот показатель является важным характеристическим признаком любого фитоценоза и отражает плотность популяций входящих в его состав видов (Хромова, 2022). Оценка обилия, как правило, осуществляется визуально (глазомерно).

Такая оценка проводится с использованием специальных шкал, наиболее распространенной из которых является шкала О. Друде (табл. 1) (Беляева и др., 2009).

Таблица 1. Шкала Друде для оценки обилия вида в фитоценозе

Table 1. Druce Scale for estimating species abundance in the phytocenoses

№	Обозначение	Проективное покрытие, %	Описание обилия
1	Socialis (Soc)	> 90	Растения образуют сплошной ковёр, надземные части смыкаются
2	Copiosus (Cop3)	70-90	Растения представлены очень обильно
3	Copiosus (Cop2)	50-60	Растения представлены обильно
4	Copiosus (Cop1)	30-40	Растения представлены довольно обильно по окраине
5	Sparsus (Sp)	10-20	Растения представлены обильно, но сплошного покрова не образует
6	Solitarius (Sol)	3-5	Несколько растений
7	Unicum (Un)	< 1	Единичное растение

Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова – это проекция частей растения вида на поверхность почвы, выраженная обычно в процентах от общей площади. Покрытие характеризует массу ценотических популяций различных видов и зависит от развития надземной части растений.

Встречаемость видов в фитоценозе отражает характер их распределения по площади. Для учета встречаемости в пределах пробной площади равномерно закладывают до 30 учетных площадок 1×1 м, на которых регистрируют все присутствующие виды. Вначале составляют общий флористический список растений изучаемого яруса и после завершения учета на всех площадках рассчитывают коэффициент встречаемости каждого вида по формуле:

$$R = \frac{a}{n}, \quad (1)$$

где:

a – число учетных площадок, на которых обнаружен данный вид;

n – общее число учетных площадок.

Для определения видов сосудистых растений на постоянных пробных площадках можно использовать приложение для смартфонов iNaturalist, которое является важным инструментом при проведении геоботанических изысканий. Благодаря высокой мобильности и доступности смартфонов, исследователи могут в реальном времени фиксировать наблюдения в различных природных условиях. iNaturalist позволяет загружать фотографии растений, которые

затем анализируются с помощью встроенной системы искусственного интеллекта и базы данных сообщества (Захаров, 2023; Seregin et al., 2020).

Данное приложение значительно ускоряет процесс идентификации и повышает его точность, особенно для начинающих специалистов. Автоматическая геолокация наблюдений позволяет фиксировать местоположение видов, что важно для картирования их распространения и отслеживания изменений в динамике популяций растений (Захаров, 2025). Использование платформы iNaturalist на мобильных устройствах упрощает процесс определения видов, позволяет начинающим специалистам принимать участие в геоботанических исследованиях и способствует сбору больших объемов данных о растительном мире (Chamberlain et al., 2022; La Sorte et al., 2022).

Камеральная обработка данных. Полная и окончательная обработка полевых материалов производится в камеральных условиях. Она начинается с обработки ведомости полевых работ.

По данным перечёта и обмера деревьев вычисляются таксационные показатели древостоя пробной площади: средний диаметр, средняя высота, полнота, запас и другие характеристики насаждения.

Средний диаметр насаждения определяется как среднеарифметическая величина диаметров на высоте 1.3 м деревьев, у которых измерялись высоты. Более точно он может быть определен как средневзвешенная величина количества деревьев по ступеням толщины, полученная в результате сплошного перечёта при таксации леса.

Для определения средней высоты элемента леса по данным измеренных модельных (учетных) деревьев строят график высот, где по оси абсцисс откладывают ступени толщины, а по оси ординат – высоты (рис. 8). Ордината, соответствующая среднему диаметру, и есть средняя высота элемента леса. Более точно средняя высота определяется как средневзвешенная их средних высот отдельных ступеней толщины по формуле:

$$H_{cp} = \frac{\sum h \cdot G}{\sum G}, \quad (2)$$

где

h – средняя высота n -й ступени толщины;

G – площадь сечения n -й ступени толщины;

$\sum G$ – сумма площадей сечений элемента леса.

Средний возраст элемента леса определяется как среднеарифметическая 5-10 измерений по кернам деревьев, близких по размерам и среднему.

Класс бонитета определяется для насаждения в целом по средней высоте и среднему возрасту основного элемента леса по шкале М.М. Орлова (1931).

Полнота насаждения бывает абсолютная и относительная. Абсолютная полнота выражается в $\text{м}^2/\text{га}$ как общая сумма площадей сечений, составляющих его деревьев на высоте 1.3 м или деревьев яруса леса. В таксационной практике чаще применяется относительная полнота, выраженная в долях единицы. Относительная полнота элемента леса определяется как частное от

деления суммы площадей сечений на 1 га на площадь сечения нормального (с полнотой 1.0) насаждения того же возраста и класса бонитета, взятого из местных таблиц хода роста или из стандартных таблиц сумм площадей сечения и запасов для соответствующей высоты и класса бонитета. Общая относительная полнота яруса (насаждения) определяется как сумма всех полнот составляющих ярус элементов леса.

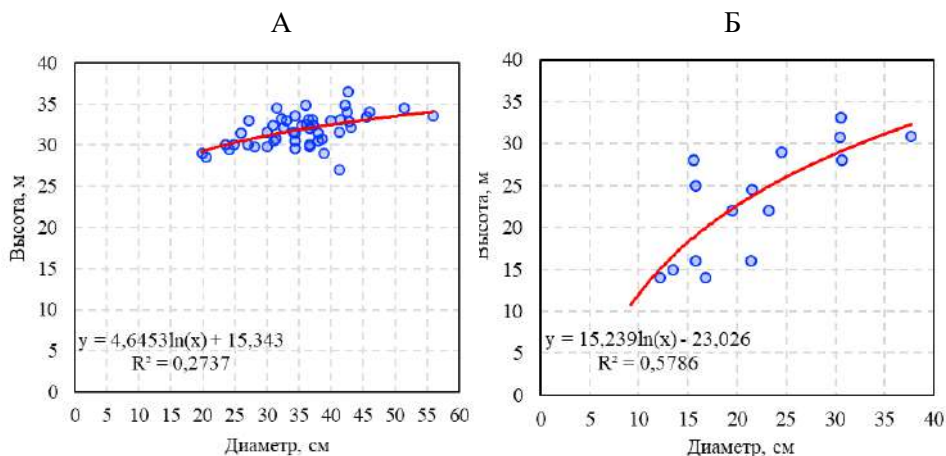


Рисунок 8. График высот главной породы (А) и сопутствующей (Б) в сосновом древостое

Figure 8. Graph of the heights of the main rock (A) and the accompanying (B) in the pine stand

При глазомерно-измерительном способе таксации лесов запас древесины определяется по сумме площадей поперечного сечения стволов деревьев, определенной на ППП, и средней высоте по таблицам, входящих в состав нормативно-справочной информации по следующей формуле:

$$M = G \cdot H \cdot F, \quad (3)$$

где:

M – запас древостоя на 1 га, в m^3 ;

G – среднее арифметическое значение суммы площадей поперечного сечения стволов деревьев на 1 га по данным измерений на ППП, м;

H – средневзвешенная по коэффициентам состава высота деревьев в насаждении (ярусе), м;

F – среднее видовое число, значение которого вычисляется по таблицам, применяемым для корректировки запасов древесины.

В смешанных лесах общий запас древостоя определяется как сумма запасов всех составляющих его пород. Деревья с индивидуальными обмерами диаметров группируются в ступени толщины отдельно по породам и качественным категориям годности. Степень толщины принимается в зависимости от среднего диаметра древостоя: при среднем диаметре до 6 см степень толщины принимается равной 1 см, при среднем диаметре от 7 до 15 см – 2 см и более 16 см – 4 см. В древостоях со средним диаметром более 16 см перечень начинается со ступени толщины 8 см (табл. 2).

Таблица 2. Распределение диаметров деревьев по ступеням толщины
Table 2. Distribution of tree diameters by thickness steps

Шаг ступени толщины, см	Средний диаметр древостоя	Степень толщины, см	Диапазон диаметра, см
1	≤ 6.0 см	1	0.6-1.5
		2	1.6-2.5
		3	2.6-3.5
		4	3.6-4.5
		5	4.6-5.5
2	от 7.0 до 16.0 см	2	1.0-2.9
		4	3.0-4.9
		6	5.0-6.9
		8	7.0-8.9
		10	9.0-10.9
4	> 16.0 см	8	6.0-9.9
		12	10.0-13.9
		16	14.0-17.9
		20	18.0-21.9
		24	22.0-25.9

В ходе обработки результатов перечета строятся графики, которые отображают высотную структуру с разделением древостоя на ярусы (рис. 9), а также горизонтальную структуру с распределением числа деревьев по ступеням толщины (рис. 10).

По результатам сплошного перечета деревьев вычисляют средний диаметр, среднюю высоту, полноту, запасы по элементам леса, по соотношению которых изучается породный состав и вертикальная структура древостоев. Для характеристики вертикальной структуры насаждений высота первого яруса принимается равной средней высоте главного элемента леса (например, в сосняках – сосна, в лиственничниках – лиственница). Выделяется фитоцено- тический второй ярус, к которому относятся деревья, высота которых составляет менее 80% от средней высоты первого яруса.

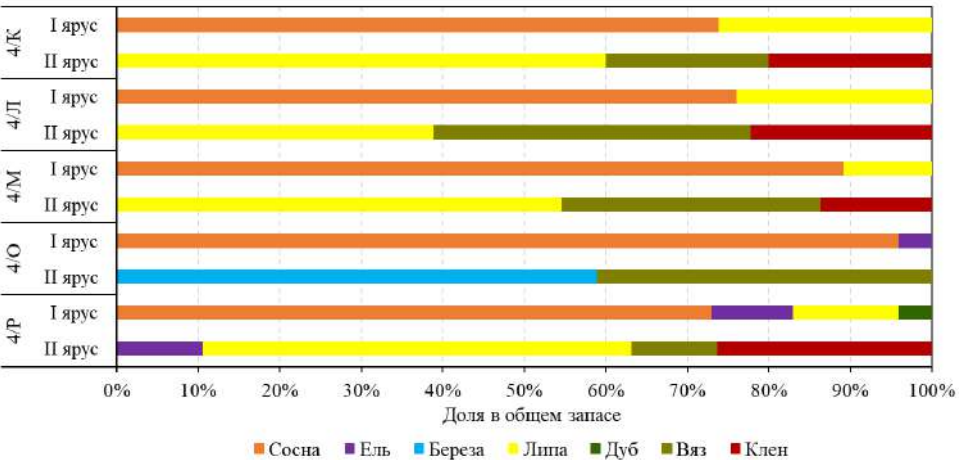


Рисунок 9. Вертикальная структура двухъярусных древостоев на ППП

Figure 9. Vertical structure of forest stands on the POP

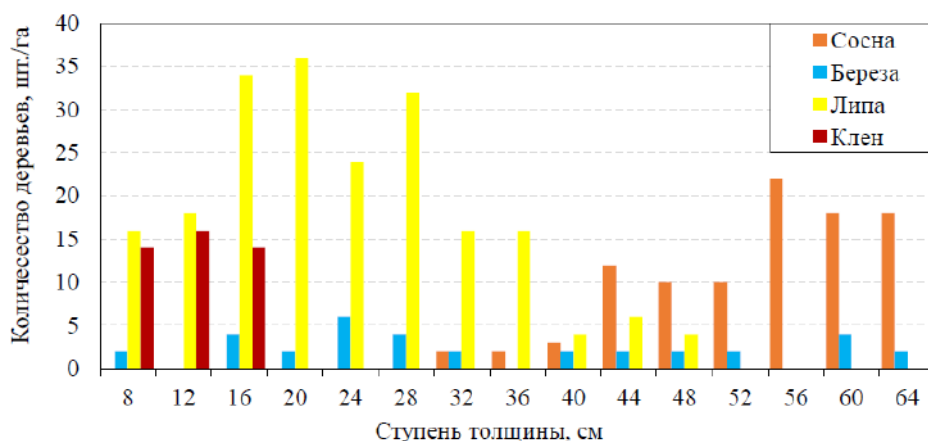


Рисунок 10. Распределение деревьев по четырехсантиметровым ступеням толщины

Figure 10. Distribution of trees by four-centimeter thickness steps

Традиционным способом характеристики структуры насаждений по диаметру является распределение деревьев по ступеням толщины. По мере увеличения возраста насаждения ряды распределения деревьев по диаметру, как правило, растягиваются. Из-за уменьшения числа деревьев в насаждении график становится более плоским. Двухвершинный график возникает в случае разделения насаждения на главный и подчиненный полог, например, после подселения подроста под основной полог и его выхода во второй ярус (рис. 9).

Распределение деревьев по ступеням толщины в смешанных насаждениях, состоящих из светолюбивых и теневыносливых пород, также характеризуется двух- или многовершинными кривыми (Киселева и др., 2012).

При анализе живого напочвенного покрова таксономическая принадлежность названия видов сосудистых растений приводятся по П.Ф. Маевскому (2014). Адвентивные виды определяются в соответствии с региональными сводками такой флоры, например, для Московского региона можно использовать сводку С.Р. Майорова с соавторами (2012). Для оценки экосистемного и структурного разнообразия растительного покрова виды живого напочвенного покрова дифференцируют по эколого-ценотическим (Список сосудистых..., 2006) и фитоценотическим группам (Жмылев и др., 2021).

Систематический анализ флоры заключается в определении её состава: составляются флористические списки основных таксонов – видов, родов, семейств (табл. 3). Данный подход позволяет сформировать флористические спектры, в которых семейства ранжируются по количеству представленных в них видов или родов, выраженному в процентах от общего числа таксонов соответствующего уровня (Румянцев и др., 2023).

Таблица 3. Таксаномическое разнообразие живого напочвенного покрова

Table 3. Taxonomic diversity of the live ground cover

№	Название семейства		Число родов	Число видов	% от общего числа видов
	русское	латинское			
1	Розовые	<i>Rosaceae</i>	4	6	20.7
2	Астровые	<i>Asteraceae</i>	5	5	17.3
3	Яснотковые	<i>Lamiaceae</i>	4	4	13.8
4	Лютиковые	<i>Ranunculaceae</i>	3	4	13.8
5	Бальзаминовые	<i>Balsaminaceae</i>	1	3	10.3
6	Злаковые	<i>Poaceae</i>	3	3	10.3
7	Зонтичные	<i>Apiaceae</i>	2	2	6.9
8	Сложноцветные	<i>Compositae</i>	2	2	6.9
Итого			24	29	100

Анализ флористических спектров способствует выявлению различий в структурных особенностях растительных сообществ в различных географических регионах, а именно – определению доминирующих семейств, что зависит от их таксаномического богатства и распространенности.

Методика исследования естественного возобновления на вырубках. Лесные фитоценозы формируются различными способами, в том числе в результате катастрофических нарушений. Их внешний облик определяется характером протекающих сукцессионных процессов. Изучение динамики развития таких сообществ позволяет прогнозировать рост и развитие древесной растительности в различных условиях и использовать эти данные для решения практических задач. Особый интерес представляет динамика восстановления фитоценозов на начальных стадиях их формирования, поскольку именно на этом этапе закладываются основные направления развития сообщества после проведения сплошной рубки (Глазунов и др., 2024б).

После таких нарушений, как ветровалы, пожары или сплошные рубки, резко меняются экологические условия. Изменение светового режима способствует быстрой смене живого напочвенного покрова. Характер и степень влияния травянистых растений на естественное восстановление зависят от их видового состава и проективного покрытия. Важно определить направление восстановления леса на месте погибших насаждений после катастрофических явлений (Киселева, 2019; Лежнев и др., 2023).

При изучении восстановительной динамики древесно-кустарниковой растительности на вырубках после сплошной санитарной рубки определяется: возраст, высота, вертикальная структура и количество древесно-кустарниковой растительности в шт./га, встречаемость и благонадежность подроста на круговых площадках и прирост осевого побега в высоту у хвойных пород.

Для учета численности подроста и подлеска на вырубках закладываются круговые учетные площадки с постоянным радиусом 1.78 м (площадь 10 м²) (Лежнев, 2022). Учетные площадки располагаются по направлению ходовых линий от стены леса до противоположной стены леса (рис. 11).



Рисунок 11. Расположение учетных площадок на ходовых линиях на вырубке

Figure 11. The location of the accounting platforms on the running lines at the cutting

Количество площадок зависит от размеров вырубки. При оценке жизнеспособности подроста используют количественные и качественные показатели: цвет хвои, протяженность кроны и доля сухих ветвей. В основном, учитывают только жизнеспособные особи с подразделением его по категориям крупности (Грязькин, 2001).

Учет количества и измерение высот у всех древесных и кустарниковых растений осуществляют на каждой учетной площадке. Дополнительно определяется флористический состав травянистой растительности, обилие видов, а также общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса и каждого вида отдельно по общепринятым геоботаническим шкалам.

Камеральная обработка данных. В ходе исследования на вырубках определяется общее количество подроста в переводе на крупный, средняя численность на учетной площадке, ошибка средней численности, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, показатель точности наблюдений и коэффициент гомогенности по следующим формулам:

Общее количество подростка, шт./га (Мга):

$$M_{га} = K_j = \frac{\Sigma N \cdot 10000}{n \cdot S}, \quad (4)$$

где:

ΣN – общее количество подростка на учетных площадках с учетом коэффициентов перевода,

n – количество учетных площадок,

S – площадь площадки (10 м²).

Итоговое количество подростка с учетом перевода мелкого и среднего в крупный, шт.:

$$\Sigma N = 0.5 \Sigma N_m + 0.8 \Sigma N_{cp} + 1.0 \Sigma N_{kp}, \quad (5)$$

где:

N_m – количество мелкого подростка, шт.;

N_{cp} – количество среднего подростка, шт.;

N_{kp} – количество крупного подростка, шт.

Коэффициент встречаемости τ , %

$$\tau = \frac{n_1}{n} \cdot 100, \quad (6)$$

где:

n_1 – количество круговых площадок с наличием подростка.

Ошибка репрезентативности среднего количества подростка, шт.:

$$M_m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (7)$$

Выборочное среднеквадратическое отклонение σ , шт.:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M_{уч.пл.})^2}{n - 1}}, \quad (8)$$

Фактический коэффициент вариации v , %, характеризующий разброс (рассеивание) измеряемой величины относительно среднего значения:

$$v = \frac{\sigma}{M_{уч.пл.}} \cdot 100. \quad (9)$$

Результат исследования оценивается показателем точности наблюдений. Показатель точности наблюдений P , %:

$$P = \frac{v}{\sqrt{n}}. \quad (10)$$

Для исследований лесных экосистем точность наблюдения является удовлетворительной, если значение находится в пределах 10-15% (Мартынов, 1996; Мандрыкин, 2019).

Коэффициент гомогенности (КГ) характеризует размещение подроста по исследуемой площади:

$$KG = \frac{\sigma^2}{M_{\text{уч.пл.}}}. \quad (11)$$

Для изучения высотной структуры основных лесообразующих пород на вырубках производили расчет редукционных чисел (R_h) по следующей методике:

- построение ранжированного ряда по высотам от минимальной до максимальной;
- разделение полученного ряда на 10 классов с одинаковым числом экземпляров в классе;
- определение средней высоты каждого класса: $h_{cp}(n)$;
- определение относительной высоты каждого класса:

$$R_h(n) = \frac{h_{cp}(n)}{h_{cp}}, \quad (12)$$

где $h_{cp}(n)$ – средняя высота каждого класса,

h_{cp} – средняя высота всех классов,

- расчет показателя ΔR_h как разницы относительной высоты 1 и 10 классов:

$$\Delta R_h = \Delta R_h(10) - R_h(1), \quad (13)$$

где:

$R_h(10)$ – редукционное число десятого класса,

$R_h(1)$ – редукционное число первого класса.

Оценка сходство видового состава сообществ на вырубках проводится с использованием коэффициента флористической общности Жаккара (K_j), который вычисляется по формуле (Миркин, Розенберг, 1978; Уланова и др., 2023):

$$K_j = \frac{N_{A+B}}{(N_A + N_B - N_{A+B})}, \quad (14)$$

где:

N_{A+B} – число общих видов в сравниваемых описаниях А и В,

N_A и N_B – число видов в каждом из описаний.

Обработку результатов, полученных в ходе полевых работ необходимо осуществлять с использованием математико-статистических методов анализа, применяемых в естественных науках. Все статистические выводы должны соответствовать $p = 0.05$. Полевые материалы, собранные на ППП в ходе исследований, в последующем обрабатываются с применением компьютерных программ «STATISTICA» и «Microsoft Excel».

Заключение

Важно отметить необходимость комплексного подхода при изучении лесных экосистем: сочетание полевых работ с современными цифровыми технологиями и использованием методов математической статистики (описательная статистика, корреляционный и регрессионный анализ, методы проверки статистических гипотез), применяемых в естественных науках. Такой подход способствует более точной оценке состояния лесов, прогнозированию их развития и принятию обоснованных управленческих решений для обеспечения устойчивого развития.

Особое значение приобретает внедрение инновационных технологий: мобильных приложений с LiDAR-модулями и наземного лазерного сканирования. Эти методы значительно повышают точность и эффективность сбора первичных данных, сокращая трудозатраты и минимизируя субъективизм измерений. Примеры таких решений, как Arboreal Forest, демонстрируют перспективы автоматизации лесной инвентаризации и мониторинга.

Анализ научной литературы и функционала современных мобильных приложений показал, что лидарная съемка с помощью встроенных в мобильных устройствах сенсоров позволяет получать точность измерений высоты и диаметра деревьев на уровне 90-95% относительно эталонных данных (Лебедев, 2023; Carle et al., 2017).

Расширение возможностей по оперативному и достоверному сбору больших массивов лесотаксационных показателей становится движущей силой в совершенствовании учетных технологий. Сокращение времени полевых исследований напрямую влияет на снижение финансовых издержек, позволяя, к примеру, многократное обследование одной и той же постоянной пробной площади выполнить в более короткие сроки, что в условиях интенсивного лесопользования является крайне важным обстоятельством.

Таким образом, современные мобильные приложения, использующие лидарную съемку, уже сейчас позволяют повысить эффективность и точность инвентаризации лесных экосистем. При дальнейшем развитии этой технологии и совершенствовании устройств можно ожидать еще более высоких показателей точности и производительности.

Замеры таксационных параметров деревьев по данной методике указаны в количестве, обеспечивающем достоверность различия между показателями на 95% доверительном уровне.

Данные методологические основы комплексных исследований структурной организации, естественной динамики и устойчивости лесных экосистем, а также восстановительных сукцессий после катастрофических нарушений в насаждениях апробирована автором на конференциях различного уровня и публикациях в ведущих научных журналах (Лежнев, 2023; Лежнев, Лебедев, 2023; Лежнев, Меняева, 2023б; Лежнев, Лебедев, 2024; Глазунов и др., 2024б; Лежнев, Купченко, 2024).

Список литературы

Абатуров, А.В. Меланхолин, П.Н. (2004) *Естественная динамика леса на постоянных пробных площадях в Подмоскowie*, Российская академия наук, Институт лесоведения, Тула, Гриф и К°, 333 с.

Беляева, Н.В., Григорьева, О.И., Гуталь, М.М. (2009) Обилие и константность как показатели участия вида в сложении растительной ассоциации, *Актуальные проблемы лесного комплекса*, № 22, с. 68-75.

Беляева, Н.А., Кузнецов, Е.Н., Григорьева, О.И. (2015) Изменение структуры живого напочвенного покрова под воздействием рекреационной нагрузки (на примере городского парка «Сосновка»), *Аграрный научный журнал*, с. 8-12.

Беляева, Н.В., Грязькин, А.В., Кази, И.А. (2012) Влияние выборочных рубок на развитие нижних ярусов растительности, *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, № 3 (86), с. 34-41.

Быков, А.В. (2008) *Стационарные исследования влияния рекреации на лесные биогеоценозы*, отв. редактор М.В. Рубцов, Институт лесоведения РАН, Тула, Гриф и К°, 358 с.

Васильев, О.Д. (2020) Картографирование средообразующих функций лесов и их сравнительный анализ в ландшафтах Московской области, *Вестник Московского университета. Серия География*, № 6, с. 21-31.

Глазунов, Ю.Б., Мельник, П.Г., Мерзленко, М.Д. (2016) Рост саратовского климатипа сосны обыкновенной в условиях Подмоскowie, *Аграрный научный журнал*, № 9, с. 9-14.

Глазунов, Ю.Б., Коротков, С.А., Лежнев, Д.В., Титовец, А.В. (2024а) Формирование сосняков сложных в Серебряноборском опытном лесничестве, *Лесоведение*, № 6, с. 595-603, doi: 10.31857/S0024114824060018.

Глазунов, Ю.Б., Полякова, Г.А., Коротков, С.А., Лежнев, Д.В., (2024б) Естественное возобновление на вырубках в Серебряноборском опытном лесничестве, *Сибирский лесной журнал*, № 2, с. 74-83, doi:10.15372/SJFS20240209.

Грязькин, А.В. (2001) *Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России): монография*, Санкт-Петербург, СПбГЛТА, 188 с.

Дубенок, Н.Н., Кузьмичев, В.В., Лебедев, А.В. (2020) *Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, Москва, Наука, 382 с.

Дубенок, Н.Н., Лебедев, А.В., Чистяков, С.А., Гемонов, А.В. (2024) Естественное возобновление в насаждениях ядра заповедника «Кологривский лес», *Природообустройство*, № 3, с. 99-105, doi: 10.26897/1997-6011-2024-3-99-105.

Дубенок, Н.Н., Лебедев, А.В., Миронова, Г.М., Гостев, В.В. (2023) Таксономический анализ флоры сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской академии, *Природообустройство*, № 1, с. 108-114.

Жмылев, П.Ю., Уланова, Н.Г., Чередниченко, О.В. (2021) *Биоразнообразие флористического состава фитоценозов. Подходы и методы*, М., МАКС Пресс, 112 с.

Загреев, В.В. и др. (1992) *Общесоюзные нормативы для таксации лесов*, Колос, Москва, 495 с.

Захаров, В.П. (2023) Как самые обычные люди помогают науке, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. 34, № 1-2, с. 143-151, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-143-151.

Захаров, В.П. (2025) Влияние *Amelanchier spicata* (Rosaceae) на естественное возобновление сосняков в условиях Орехово-Зуевского лесничества Московской области, *Российский журнал биологических инвазий*, т. 18, № 1, с. 60-69, doi: 10.35885/1996-1499-18-1-060-069.

Кабонен, А.В., Иванова, Н.В. (2023) Оценка биометрических характеристик деревьев по данным наземного lidar и разносезонной аэрофотосъемки в искусственных насаждениях, *Nature Conservation Research. Заповедная наука*, т. 8(1), с. 64-83, doi: <https://doi.org/10.24189/ncr.2023.005>.

Киселева, В.В. (2019) Динамика типов леса и типов насаждений национального парка «Лосиный остров», *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, т. 23, № 2, с. 20-28, doi:10.18698/2542-1468-2019-2-20-28.

Киселева, В.В., Коротков, С.А., Истомин, Н.А., Стоноженко, Л.В. (2012) К структуре ценопопуляций ели на пробных площадях в Национальном парке «Лосиный остров», *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*, № 4, с. 23-31.

Коновалова, И.С., Коновалов, Д.Ю. (2023) Динамика живого напочвенного покрова на начальных этапах формирования лесных культур средней подзоны тайги, *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, № 2 (27), с. 27-37.

Коротков, С.А., Лежнев, Д.В., Фейзрахманов, А.Р. (2024) Индикационная роль живого напочвенного покрова сосновых лесов в урбанизированной среде, *Труды НОЦ – Ботанический сад МГУ, Материалы Всероссийской*

научно-практической конференции с международным участием, Москва, 12-13 февраля 2024 года, Москва, Издательство Московского университета, с. 150-158, doi: 10.55959/MSU012129-2-2024-8-150-158.

Коротков, С.А. (2023) *Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины*, Москва, Доблесть эпох, 168 с.

Коротков, С.А., Ухов, М.В. (2021) Оценка устойчивости лесных сообществ города Троицк (Новая Москва) в условиях возрастающей антропогенной нагрузки, *Вклад особо охраняемых природных территорий в экологическую устойчивость регионов: Современное состояние и перспективы: материалы II Всероссийской (с международным участием) конференции, приуроченной к 15-летию создания заповедника «Кологривский лес»*, Москва, с. 44-53.

Корчагин, А.А., Лавренко, Е.М. (1964) *Полевая геоботаника. Методическое руководство*, Изд-во Академии Наук СССР, т. 3, с. 531.

Корчагин, А.А. (1976) *Строение растительных сообществ. Полевая геоботаника*, Ленинград, Наука, т. 5, 313 с.

Криницын, И.Г. и др. (2024) Особенности структуры травянистого покрова и естественного возобновления в ельниках заповедника «Кологривский лес», *Тимирязевский биологический журнал*, № 1, с. 57-87.

Кузнецов, В.А., Рыжова, И.М., Телеснина, В.М., Стома, Г.В. (2015) Количественная оценка влияния рекреации на растительность, подстилку и плотность почв, *Вестник Московского университета*, № 1, с. 21-29.

Лебедев, А.В. (2023) Инвентаризация древесных насаждений урбанизированных территорий с использованием смартфона, *Лесотехнический журнал*, т. 13, № 3(51), с. 56-70, doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/5.

Лежнев, Д.В. (2022) Возобновление под пологом сосняков и на вырубках в ближайшем Подмоскowie, *Повышение эффективности лесного комплекса, Материалы Восьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием (Петрозаводск, 24 мая 2022 г.)*, Петрозаводск, Петрозаводский государственный университет, с. 95-97.

Лежнев, Д.В. (2023) Строение сосновых фитоценозов в Московском регионе под влиянием климатических трансформаций, *Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг*, № 9, с. 63-73, doi: 10.25686/foreco.2023.10.66.007.

Лежнев, Д.В., Меняева, В.А. (2023а) Живой напочвенный покров сосновых фитоценозов Яузского лесопарка "Лосиногостовского острова", *Проблемы озеленения крупных городов, Сборник статей XXII Научно-практического форума, Москва, 29-30 августа 2023 года*, Москва, ООО "МК-ИНТЕРТРЕЙД", ООО "ИНТЕК", с. 113-118.

Лежнев, Д.В., Меняева, В.А. (2023б) Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка "Лосиный остров", *Безопасность природопользования в условиях устойчивого раз-*

виятия, *Материалы III Международной научно-практической конференции, приуроченной к 75-летию географического факультета, Иркутск, 21-23 июня 2023 года*, Иркутск, Иркутский государственный университет, с. 156-161.

Лежнев, Д.В. Меняева В.А. (2024) Эколого-фитоценотический анализ травяно-кустарничкового яруса в сосновых лесах национального парка «Лосинный остров», *Природоподобные растительные сообщества в городе: от теории к практике, Сборник статей Научно-практического симпозиума, Москва, 29 августа 2024 г.*, Москва, ООО "Эксперт-Печать", с. 52-56.

Лежнев, Д.В., Куликова, Д.Д., Полякова, Г.А. (2023) Восстановительная динамика сосновых фитоценозов на вырубках в надпойменных террасах реки Москвы, *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, т. 31, № 4, с. 447-467, doi: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467.

Лежнев, Д.В., Лебедев А.В. (2023) Динамика и устойчивость сосновых древостоев в урбоэкосистемах Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, № 245, с. 93-111, doi: 10.21266/2079-4304.2023.245.93-111.

Лежнев, Д.В., Лебедев, А.В. (2024) Онтогенетическая структура ценопопуляций древесных растений в спелых сосновых насаждениях Москвы, *Поволжский экологический журнал*, № 4, с. 471-486, doi: 10.35885/1684-7318-2024-4-471-486.

Лежнев, Д.В., Коротков, С.А. (2024) Естественное возобновление под пологом сосновых фитоценозов в Московском регионе, *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, № 248, с. 6-26, doi: 10.21266/2079-4304.2024.248.6-26.

Лежнев, Д.В., Купченко, К.М. (2024) Восстановительная динамика сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после ветровала на вырубках в Ближнем Подмоскowie, *Актуальные проблемы развития лесного комплекса, Материалы XXII Международной научно-технической конференции, Вологда, 05 декабря 2024 г.*, Вологда, Вологодский государственный университет, с. 316-321.

Маевский, П.Ф. (2014) *Флора средней полосы европейской части России*, 11-е изд., Москва, Товарищество научных изданий КМК, 635 с.

Майоров, С.Р. и др. (2012) *Адвентивная флора Москвы и Московской области*, 412 с.

Орлов, М.М. (1931) *Лесная вспомогательная книжка*, Москва, Гостехиздат, 729 с.

Пилипко, Е.Н. (2013) *Методология исследований лесных экосистем: методическое пособие*, сост. Е. Н. Пилипко, Вологда, Молочное, ИЦ ВГМХА, 100 с.

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 09.11.2020 № 910 "Об утверждении Порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования" (2020) 31с.

Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 05.08.2022 № 510 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции» (2022) URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696> (дата обращения 05.04.2025).

Работнов, Т.А. (1992) *Фитоценология: учебное пособие для вузов по направлению «Биология» и специальности «Ботаника»*, 3-е изд., Москва, Издательство МГУ, 349 с.

Роувинен, Т. (2014) Трестима – цифровые фотографии для таксации леса, *Сибирский лесной журнал*, № 5, с. 69-76, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22740162>.

Румянцев, Д.Е., Липаткин, В.А., Загреева, А.Б. (2023) *Основы геоботаники*, Москва, Профессиональная наука, 68 с., ISBN 978-5-907607-50-7.

Список сосудистых растений с указанием их принадлежности к эколого-ценотическим группам (2006) Электронный ресурс, URL: <http://cepl.rssi.ru/bio/flora/ecogroup.html> (дата обращения: 22.04.2025).

Сукачев, В.Н., Зонн, С.В. (1961) *Методические указания к изучению типов леса*, Москва, Издательство академии наук СССР, 143 с.

Теоретические вопросы фитоиндикации: сборник статей (1971) Отв. ред. А.А. Корчагин, Академия наук СССР, Всесоюзное ботаническое общество, Ленинград, Наука, Ленинградское отделение, 214 с.

Терехина, Н.В. (2022) *Полевая учебная практика по биогеографии: учебно-методическое пособие*, Санкт-Петербург, СПбГУ, 106 с., ISBN 978-5-28806283-4.

Тихонова, М.В., Спыну, М.Т., Александров, Н.А. и др. (2023) Описание фитоценозов с оценкой биомассы на различных сукцессионных стадиях развития лесной экосистемы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника, *АгроЭкоИнфо*, № 6(60), doi: 10.51419/202136627.

Уфимцев, В.И., Стрельникова, Т.О., Куприянов, О.А. (2018) Структура живого напочвенного покрова в сосняках на участках рекультивации Кузбасса, *Вестник Томского ГУ. Биология*, № 44, с. 36-58.

Хромова, Т.М. (2022) *Учебная полевая практика по ботанике: учебное пособие для вузов*, 2-е изд., Санкт-Петербург, Лань, 164 с., ISBN 978-5-507-44800-5.

Черненкова, Т.В. и др. (2019) Характеристика и перспективы сохранения сосновых лесов Московской области, *Лесоведение*, № 5, с. 449-464.

Чижов, Б.Е. (2003) *Регулирование травяного покрова при лесовосстановлении*, М., ВНИИЛМ, 174 с.

Bertrand, R. et al. (2011) Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests, *Nature*, vol. 479, no. 7374, pp. 517-520.

Carle, J., Holmgren, J. (2017) LiDAR in Forest Inventory and Biometric Analysis, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 58, pp. 16-28.

Chamberlain, S.A. et al. (2022) Assessing plant biodiversity and distribution using citizen science data: A case study with iNaturalist, *Ecology and Evolution*, vol. 12(3), e9300, doi: 10.1002/ece3.9300.

Elliott, K. et al. (2015) Functional role of the herbaceous layer in eastern deciduous forest ecosystems, *Ecosystems*, no. 18, pp. 221-236.

George, L.O., Bazzaz, F.A. (2014) The herbaceous layer as a filter determining spatial pattern in forest tree regeneration, *The herbaceous layer in forests of eastern North America*, in F.S. Gillam (ed.), New York, Oxford University Press, pp. 340-355.

Gilliam, F.S. (2007) The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems, *BioScience*, vol. 57, no. 10, pp. 845-858.

Gollob, C., Ritter, T., Wassermann, C., Nothdurft, A. (2019) Influence of Scanner Position and Plot Size on the Accuracy of Tree Detection and Diameter Estimation Using Terrestrial Laser Scanning on Forest Inventory Plots, *Remote Sens.*, vol. 11, p. 1602, doi: <https://doi.org/10.3390/rs11131602>.

Honkavaara, E., Hakala, T., Viljanen, N. et al. (2016) Geospatial Solutions in Forest Inventory Using Low-Altitude Drone Imagery and LiDAR, *Remote Sensing*, vol. 8(10), pp. 1-17.

Korotkov, S., Stonozenko, L., Lezhnev, D., Ereghina S. (2023) Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region, *II International Conference "Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology" (VMAEE-II-2023)*, vol. 3011, Karshi, New York, AIP PUBLISHING, p. 20031, doi: 10.1063/5.0161107.

La Sorte, F.A. et al. (2022) Global patterns of plant observations on iNaturalist reveal insights into citizen science contributions to geobotanical research, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 20, pp. 123-130, doi: 10.1002/fee.2500.

Lezhnev, D. et al. (2025) Vertical and horizontal structure of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the central part of the Russian Plain, *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, vol. 623, p. 01023.

Lezhnev, D., Korotkov, S., Stonozenko, L., Popova, A. (2024) The Growing Dynamic of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in the Moscow Region, *III International Conference Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology (VMAEE-III-2024)*, *AIP Conference Proceedings*, Karshi, Melville, AIP PUBLISHING, p. 20045, doi: 10.1063/5.0211896.

Liang, X., Hyypä, J., Kaartinen, H. et al. (2016) The Use of a Mobile Phone-Based LiDAR for Individual Tree Detection in Forest Inventory, *Forestry*, vol. 89(2), pp. 79-87.

Muller, R.N. (2014) Nutrient relations of the herbaceous layer in deciduous forest ecosystems, *The herbaceous layer in forests of eastern North America*, in F.S. Gilliam (ed.), New York, NY, Oxford University Press, pp. 13-34.

Pace, R., Masini, E., Giuliarelli, D., Biagiola, L., Tomao, A., Guidolotti, G., Agrimi, M., Portoghesi, L., De Angelis, P., Calfapietra, C. (2022) Tree Measurements in the Urban Environment: Insights from Traditional and Digital Field Instruments to Smartphone Applications, *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, vol. 48(2), pp. 113-123, doi: <https://doi.org/10.48044/jauf.2022.009>.

Peebles-Spencer, J.R., Gorchov, D.L., Crist, T.O. (2017) Effects of an invasive shrub, *Lonicera maackii*, and a generalist herbivore, white-tailed deer, on forest floor plant community composition, *Forest Ecology and Management*, vol. 402, pp. 204-212.

Proudman, A., Ramezani, M., Digumarti, S.T., Chebrolu, N., Fallon, M. (2022) Towards real-time forest inventory using handheld LiDAR, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 157, p. 104240, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104240>.

Sandim, A., Amaro, M., Silva, M.E., Cunha, J., Morais, S., Marques, A., Ferreira, A., Lousada, J.L., Fonseca, T. (2023) New Technologies for Expedited Forest Inventory Using Smartphone Applications, *Forests*, vol. 14, p. 1553, doi: <https://doi.org/10.3390/f14081553>.

Seregin, A.P., Seregin, A.P., Bochkov, D.A., Shner, J.V. et al. (2020) "Flora of Russia" on iNaturalist: A dataset, *Biodiversity Data Journal*, vol. 8, p. 59249, doi: 10.3897/BDJ.8.e59249.

Thrippleton, T. et al. (2018) Overstorey – understorey interactions intensify after drought-induced forest die-off: Long-term effects for forest structure and composition, *Ecosystems*, vol. 21, no. 4, pp. 723-739.

Woo, H., Kim, I., Choi, B. (2021) Computer Vision Techniques in Forest Inventory Assessment: Improving Accuracy of Tree Diameter Measurement Using Smartphone Camera and Photogrammetry, *Sensors and Materials*, vol. 33(11), pp. 3835-3845, doi: <https://doi.org/10.18494/SAM.2021.3605>.

References

Abaturov, A.V. Melankholin, P.N. (2004) *Yestestvennaya dinamika lesa na postoyannykh probnykh ploshchadyakh v Podmoskov'ye* [Natural Forest dynamics on permanent sample plots in the Moscow region], Grif i K°, Russian Academy of Sciences, Institute of Forest Science, Tula, Russia, 333 p.

Belyaeva, N.V., Grigorieva, O.I., Gutal, M.M. (2009) Obiliye i konstantnost' kak pokazateli uchastiya vida v slozhenii rastitel'noy assotsiatsii [Abundance and constancy as indicators of species participation in the formation of a plant association], *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], no. 22, pp. 68-75.

Belyaeva, N.A., Kuznetsov, E.N., Grigorieva, O.I. (2015) *Izmeneniye struktury zhivogo napochvennogo pokrova pod vozdeystviyem rekreatsionnoy nagruzki (na primere gorodskogo parka «Sosnovka»)* [Changes in the structure of the living ground cover under the influence of recreational load (on the example of the city park "Sosnovka")], *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, pp. 8-12.

Belyaeva, N.V., Gryazkin, A.V., Kazi, I.A. (2012) *Vliyaniye vyborochnykh rubok na razvitiye nizhnikh yarusov rastitel'nosti* [The Impact of Selective Felling on the Development of Lower Vegetation Layers], *Forestry Bulletin*, no. 3 (86), pp. 34-41.

Bykov, A.V. (2008) *Statsionarnyye issledovaniya vliyaniya rekreatsii na lesnyye biogeotsenozy* [Stationary Studies of the Impact of Recreation on Forest Biogeocenoses], in M.V. Rubtsov (ed.), *Grif i K°*, Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, Tula, Russia, 358 p.

Vasiliev, O.D. (2020) *Kartografirovaniye sredobrazuyushchikh funktsiy lesov i ikh sravnitel'nyy analiz v landshaftakh Moskovskoy oblasti* [Mapping of forest habitat-forming functions and their comparative analysis in the landscapes of the Moscow region], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya*, no. 6, pp. 21-31.

Glazunov, Yu.B., Melnik, P.G., Merzlenko, M.D. (2016) *Rost saratovskogo klimatipa sosny obyknovennoy v usloviyakh Podmoskov'ya* [Growth of the Saratov climatype of Scots pine in the Moscow region], *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, no. 9, pp. 9-14.

Glazunov, Yu.B., Korotkov, S.A., Lezhnev, D.V., Titovets, A.V. (2024a) *Formirovaniye sosnyakov slozhnykh v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Formation of complex pine forests in the Serebryanobor experimental forestry], *Lesovedeniye*, no. 6, pp. 595-603, doi: 10.31857/S0024114824060018.

Glazunov, Yu.B., Polyakova, G.A., Korotkov, S.A., Lezhnev, D.V., (2024b) *Yestestvennoye vozobnovleniye na vyrubkakh v Serebryanoborskom opytном lesnichestve* [Natural regeneration in clear-cut areas of the Serebryanobor experimental forestry], *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, no. 2, pp. 74-83, doi:10.15372/SJFS20240209.

Gryazkin, A.V. (2001) *Vozobnovitel'nyy potentsial tayezhnykh lesov (na primere yel'nikov Severo-Zapada Rossii): monografiya* [Renewable potential of taiga forests (using spruce forests of Northwest Russia as an example): monograph], SPbGLTA, St. Petersburg, Russia, 188 p.

Dubenok, N.N., Kuzmichev, V.V., Lebedev, A.V. (2020) *Rezul'taty eksperimental'nykh rabot za 150 let v Lesnoy opytной dache Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Results of experimental work over 150 years at the Forest Experimental Dachа of the Timiryazev Agricultural Academy], Nauka, Moscow, Russia, 382 p.

Dubenok, N.N., Lebedev, A.V., Chistyakov, S.A., Gemonov, A.V. (2024) *Yestestvennoye vozobnovleniye v nasazhdeniyakh yadra zapovednika «Kologrivskiy les»* [Natural regeneration in the core plantings of the Kologrivsky Forest Nature Reserve], *Prirodoobustroystvo*, no. 3, pp. 99-105, doi: 10.26897/1997-6011-2024-3-99-105.

Dubenok, N.N., Lebedev, A.V., Mironova, G.M., Gostev, V.V. (2023) Taksonomicheskiy analiz flory sosudistyykh rasteniy Lesnoy opytной dachi Timiryazevskoy akademii [Taxonomic analysis of the vascular plant flora of the Timiryazev Academy's Forest Experimental Dacha], *Prirodoobstroystvo*, no. 1, pp. 108-114.

Zhmylev, P.Yu., Ulanova, N.G., Cherednichenko, O.V. (2021) *Bioraznoobraziye floristicheskogo sostava fitotsenozov. Podkhody i metody* [Biodiversity of the floristic composition of phytocenoses. Approaches and methods], MAKS Press, Moscow, Russia, 112 p.

Zagreev, V.V. et al. (1992) *Obshchesoyuznyye normativy dlya taksatsii lesov* [All-Union standards for forest taxation], Kolos, Moscow, Russia, 495 p.

Zakharov, V.P. (2023) Kak samyye obychnyye lyudi pomagayut nauke [How ordinary people help science], *Ekologicheskii monitoring i modelirovaniye ekosistem*, vol. 34, no. 1-2, pp. 143-151, doi: 10.21513/0207-2564-2023-1-2-143-151.

Zakharov, V.P. (2025) Vliyaniye Amelanchier spicata (Rosaceae) na yestestvennoye vozobnovleniye sosnyakov v usloviyakh Orekhovo-Zuyevskogo lesnichestva Moskovskoy oblasti [The influence of Amelanchier spicata (Rosaceae) on the natural regeneration of pine forests in the Orekhovo-Zuevsky forestry, Moscow region], *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*, vol. 18, no. 1, pp. 60-69, doi: 10.35885/1996-1499-18-1-060-069.

Kabonen, A.V., Ivanova, N.V. (2023) Otsenka biometricheskikh kharakteristik derev'yev po dannym nazemnogo lidar i raznosezonnoy aerofotos"yemki v iskusstvennykh nasazhdeniyakh [Assessment of tree biometric characteristics using ground-based lidar and multi-season aerial photography in artificial plantations], *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, vol. 8(1), pp. 64-83, doi: <https://doi.org/10.24189/ncr.2023.005>.

Kiseleva, V.V. (2019) Dinamika tipov lesa i tipov nasazhdeniy natsional'nogo parka «Losinyy ostrov» [Dynamics of forest types and plantation types in Losiny Ostrov National Park], *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*, vol. 23, no. 2, pp. 20-28, doi:10.18698/2542-1468-2019-2-20-28.

Kiseleva, V.V., Korotkov, S.A., Istomin, N.A., Stonozhenko, L.V. (2012) K strukture tsenopopulyatsiy yeli na probnykh ploshchadyakh v Natsional'nom parke «Losinyy ostrov» [On the structure of spruce cenopopulations on test plots in the Losiny Ostrov National Park], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoy vestnik* [Bulletin of the Moscow State University of Forestry. Lesnoy Vestnik], no. 4, pp. 23-31.

Konovalova, I.S., Konovalov, D.Yu. (2023) Dinamika zhivogo napochvennogo pokrova na nachal'nykh etapakh formirovaniya lesnykh kul'tur sredney podzony taygi [Dynamics of living ground cover at the initial stages of forest culture formation in the middle taiga subzone], *Lesnoy vestnik*, no. 2 (27), pp. 27-37.

Korotkov, S.A., Lezhnev, D.V., Feyzrakhmanov, A.R. (2024) Indikatsionnaya rol' zhivogo napochvennogo pokrova osnovnykh lesov v urbanizirovannoy srede

[The indicative role of the living ground cover of pine forests in an urbanized environment], *Trudy NOTS – Botanicheskij sad MGU, Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, Moskva, 12-13 fevralya 2024 goda* [Proceedings of the Scientific and Educational Center – Botanical Garden of Moscow State University Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Moscow, February 12-13, 2024], Moscow University Press, Moscow, Russia, pp. 150-158, doi: 10.55959/MSU012129-2-2024-8-150-158.

Korotkov, S.A. (2023) *Smena sostava drevostoyev i ustoychivost' zashchitnykh lesov tsentral'noy chasti Russkoy ravniny* [Change in the composition of tree stands and the stability of protective forests in the central part of the Russian Plain], *Doblest' epok*, Moscow, Russia, 168 p.

Korotkov, S.A., Ukhov, M.V. (2021) *Otsenka ustoychivosti lesnykh soobshchestv goroda Troitsk (Novaya Moskva) v usloviyakh vozrastayushchey antropogennoy nagruzki* [Assessment of the sustainability of forest communities in the city of Troitsk (New Moscow) under increasing anthropogenic pressure], *Vklad osobo okhranyayemykh prirodnikh territoriy v ekologicheskuyu ustoychivost' regionov: Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy: materialy II Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiyem) konferentsii, priurochennoy k 15-letiyu sozdaniya zapovednika «Kologrivskiy les»* [Contribution of specially protected natural areas to the environmental sustainability of regions: Current state and prospects: Proceedings of the II All-Russian (with international participation) conference dedicated to the 15th anniversary of the establishment of the Kologrivsky Forest Nature Reserve], Moscow, Russia, pp. 44-53.

Korchagin, A.A., Lavrenko, E.M. (1964) *Polevaya geobotanika. Metodicheskoye rukovodstvo* [Field Geobotany. Methodological Guide], Publishing House of the USSR Academy of Sciences, vol. 3, p. 531.

Korchagin, A.A. (1976) *Stroyeniye rastitel'nykh soobshchestv. Polevaya geobotanika* [Structure of Plant Communities. Field Geobotany], Nauka, Leningrad, Russia, vol. 5, 313 p.

Krinit syn, I.G. et al. (2024) *Osobennosti struktury travyanistogo pokrova i yestestvennogo vozobnovleniya v yel'nikakh zapovednika «Kologrivskiy les»* [Features of the Structure of the Herbaceous Cover and Natural Regeneration in Spruce Forests of the Kologrivsky Forest Nature Reserve], *Timiryazevskiy biologicheskij zhurnal*, no. 1, pp. 57-87.

Kuznetsov, V.A., Ryzhova, I.M., Telesnina, V.M., Stoma, G.V. (2015) *Kolichestvennaya otsenka vliyaniya rekreatsii na rastitel'nost', podstilku i plotnost' pochv* [Quantitative assessment of the impact of recreation on vegetation, litter and soil density], *Vestnik Moskovskogo universiteta*, no. 1, pp. 21-29.

Lebedev, A.V. (2023) *Inventarizatsiya drevesnykh nasazhdeniy urbanizirovannykh territoriy s ispol'zovaniyem smartfona*, [Inventory of tree stands

in urbanized areas using a smartphone], *Lesotekhnicheskij zhurnal*, vol. 13, no. 3(51), pp. 56-70, doi: 10.34220/issn.2222-7962/2023.3/5.

Lezhnev, D.V. (2022) Vozobnovleniye pod pologom sosnyakov i na vyrubkakh v blizhayshe Podmoskov'ye, Povysheniye effektivnosti lesnogo kompleksa [Regeneration under the canopy of pine forests and in clearings in the near Moscow region, Improving the efficiency of the forest complex], *Materialy Vos'moy Vserossiyskoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem (Petrozavodsk, 24 maya 2022 g.)* [Proceedings of the Eighth All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation (Petrozavodsk, May 24, 2022)], Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia, Russia, pp. 95-97.

Lezhnev, D.V. (2023) Stroyeniye sosnovykh fitotsenozov v Moskovskom regione pod vliyaniem klimaticheskikh transformatsiy [The structure of pine phytocenoses in the Moscow region under the influence of climatic transformations], *Lesnyye ekosistemy v usloviyakh izmeneniya klimata: biologicheskaya produktivnost' i distantsionnyy monitoring* [Forest ecosystems under climate change: biological productivity and remote monitoring], no. 9, pp. 63-73, doi: 10.25686/foreco.2023.10.66.007.

Lezhnev, D.V., Menyaeva, V.A. (2023a) Zhivoy napochvennyy pokrov sosnovykh fitotsenozov Yauzskogo lesoparka "Losinogo ostrova" [Living ground cover of pine phytocenoses of the Yauza forest park "Losiny Ostrov"], *Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov, Sbornik statey XXII Nauchno-prakticheskogo foruma, Moskva, 29-30 avgusta 2023 goda* [Problems of greening of large cities, Collection of articles of the XXII Scientific and Practical Forum, Moscow, August 29-30, 2023], ООО "МК-INTERTRADE", ООО "ИНТЕК", Moscow, Russia, pp. 113-118.

Lezhnev, D.V., Menyaeva, V.A. (2023b) Vidovoy sostav i struktura zhivogo napochvennogo pokrova v sosnovykh fitotsenozakh natsional'nogo parka "Losinyy ostrov", Bezopasnost' prirodopol'zovaniya v usloviyakh ustoychivogo razvitiya [Species composition and structure of the living ground cover in pine phytocenoses of the Losiny Ostrov National Park], *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k 75-letiyu geograficheskogo fakul'teta, Irkutsk, 21-23 iyunya 2023 goda* [Safety of Nature Management in the Context of Sustainable Development, Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th Anniversary of the Faculty of Geography, Irkutsk, June 21-23, 2023], Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, pp. 156-161.

Lezhnev, D.V. Menyaeva V.A. (2024) Ekologo-fitotsenoticheskiy analiz travyano-kustarnichkovogo yarusy v sosnovykh lesakh natsional'nogo parka «Losinyy ostrov» [Ecological and phytocenotic analysis of the grass-dwarf shrub layer in the pine forests of the Losiny Ostrov National Park], *Prirodopodobnyye rastitel'nyye soobshchestva v gorode: ot teorii k praktike, Sbornik statey Nauchno-prakticheskogo simpoziuma, Moskva, 29 avgusta 2024 g.* [Nature-like plant communities in the city: from theory to practice, Collection of articles of the

Scientific and Practical Symposium, Moscow, August 29, 2024], Expert-Pechat LLC, Moscow, Russia, pp. 52-56.

Lezhnev, D.V., Kulikova, D.D., Polyakova, G.A. (2023) Vosstanovitel'naya dinamika osnovnykh fitotsenozov na vyrubkakh v nadpoymennykh terrasakh reki Moskvy [Restoration dynamics of pine phytocenoses in clearings on floodplain terraces of the Moskva River], *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, vol. 31, no. 4, pp. 447-467, doi: 10.22363/2313-2310-2023-31-4-447-467.

Lezhnev, D.V., Lebedev A.V. (2023) Dinamika i ustoychivost' osnovnykh drevostoyev v urboekosistemakh Lesnoy opytной dachi RGAU-MSKHA imeni K.A. Timiryazeva [Dynamics and stability of pine stands in the 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* [Izvestiya of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], no. 245, pp. 93-111, doi: 10.21266/2079-4304.2023.245.93-111.

Lezhnev, D.V., Lebedev, A.V. (2024) Ontogeneticheskaya struktura tsenopopulyatsiy drevesnykh rasteniy v spelykh osnovnykh nasazhdeniyakh Moskvy [Ontogenetic structure of woody plant cenopopulations in mature pine stands of Moscow], *Povolzhskiy ekologicheskii zhurnal*, no. 4, pp. 471-486, doi: 10.35885/1684-7318-2024-4-471-486.

Lezhnev, D.V., Korotkov, S.A. (2024) Yestestvennoye vozobnovleniye pod pologom osnovnykh fitotsenozov v Moskovskom regione [Natural regeneration under the canopy of pine phytocenoses in the Moscow region], *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Izvestiya of the St. Petersburg Forest Engineering Academy], no. 248, pp. 6-26, doi: 10.21266/2079-4304.2024.248.6-26.

Lezhnev, D.V., Kupchenko, K.M. (2024) osstanovitel'naya dinamika sosny obyknovnoy (*Pinus sylvestris* L.) posle vetrovala na vyrubkakh v Blizhnem Podmoskov'ye [Recovery dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) after windfall in clearings in the near Moscow region], *Aktual'nyye problemy razvitiya lesnogo kompleksa, Materialy XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Vologda, 05 dekabrya 2024 g.* [Actual problems of forest complex development, Proceedings of the XXII International Scientific and Technical Conference, Vologda, December 5, 2024], Vologda State University, Vologda, Russia, pp. 316-321.

Mayevsky, P.F. (2014) *Flora sredney polosy yevropeyskoy chasti Rossii* [Flora of the Central Belt of the European Part of Russia], KMK Scientific Publications Association, Moscow, Russia, 635 p.

Mayorov, S.R. et al. (2012) *Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti* [Adventitious Flora of Moscow and the Moscow Region], Russia, 412 p.

Orlov, M.M. (1931) *Lesnaya vspomogatel'naya knizhka* [Forest Auxiliary Book], Gostekhizdat, Moscow, Russia, 729 p.

Pilipko, E.N. (2013) *Metodologiya issledovaniy lesnykh ekosistem: metodicheskoye posobiye* [Methodology of Forest Ecosystem Studies: A Methodological Handbook], compiled by E.N. Pilipko, Molochnoye, IC VGMHA, Vologda, Russia, 100 p.

Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 09.11.2020 № 910 "Ob utverzhdenii Poryadka provedeniya lesopatologicheskikh obsledovaniy i formy akta lesopatologicheskogo obsledovaniya" [Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated November 9, 2020 No. 910 "On Approval of the Procedure for Conducting Forest Pathology Surveys and the Form of the Forest Pathology Survey Report"] (2020) 31p.

Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii ot 05.08.2022 № 510 «Ob utverzhdenii Lesoustroitel'noy instruktsii» [Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated August 5, 2022 No. 510 "On Approval of the Forest Management Instructions"] (2022) URL: <https://docs.cntd.ru/document/351878696> (accessed April 5, 2025).

Rabotnov, T.A. (1992) *Fitotsenologiya: uchebnoye posobiye dlya vuzov po napravleniyu «Biologiya» i spetsial'nosti «Botanika»* [Phytocenology: A Textbook for Universities Majoring in Biology and Specializing in Botany], Moscow State University Publishing House, Moscow, Russia, 349 p.

Rouvinen, T. (2014) Trestima – tsifrovyye fotografii dlya taksatsii lesa [Trestima – digital photographs for forest taxation], *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, no. 5, pp. 69-76, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22740162>.

Rumyantsev, D.E., Lipatkin, V.A., Zagreeva, A.B. (2023) *Osnovy geobotanik* [Fundamentals of Geobotany], Professional Science, Moscow, Russia, 68 pp., ISBN 978-5-907607-50-7.

Spisok sosudistyykh rasteniy s ukazaniyem ikh prinadlezhnosti k ekologo-tsenoticheskim gruppam [List of vascular plants with an indication of their affiliation with ecocoenotic groups] (2006) URL: <http://cepl.rssi.ru/bio/flora/ecogroup.html> (date of access: 22.04.2025).

Sukachev, V.N., Zonn, S.V. (1961) *Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodological Guidelines for the Study of Forest Types], Publishing House of the USSR Academy of Sciences, Moscow, Russia, 143 p.

Teoreticheskiye voprosy fitoindikatsii: sbornik statey [Theoretical Issues of Phytoindication: A Collection of Articles] (1971) In A.A. Korchagin (Ed.), USSR Academy of Sciences, All-Union Botanical Society, Leningrad, Nauka, Leningrad Branch, Russia, 214 p.

Terekhova, N.V. (2022) *Polevaya uchebnaya praktika po biogeografii: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Field Training in Biogeography: A Textbook-Methodological Manual], St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, 106 p., ISBN 978-5-28806283-4.

Tikhonova, M.V., Spynu, M.T., Aleksandrov, N.A. et al. (2023) Opisaniye fitotsenozov s otsenkoy biomassy na razlichnykh suktsessionnykh stadiyakh razvitiya lesnoy ekosistemy Tsentral'no-Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika [Description of phytocenoses with biomass assessment at various successional stages of forest ecosystem development in the Central Forest State Nature Biosphere Reserve], *AgroEcoInfo*, no. 6(60), doi: 10.51419/202136627.

Ufimtsev, V.I., Strelnikova, T.O., Kupriyanov, O.A. (2018) Struktura zhivogo napochvennogo pokrova v sosnyakakh na uchastkakh rekul'tivatsii Kuzbassa [Structure of living ground cover in pine forests on reclamation sites in Kuzbass], *Vestnik Tomskogo GU. Biologiya*, no. 44, pp. 36-58.

Khromova, T.M. (2022) *Uchebnaya polevaya praktika po botanike: uchebnoye posobiye dlya vuzov* [Educational Field Practice in Botany: A Textbook for Universities], Lan, St. Petersburg, Russia, 164 p., ISBN 978-5-507-44800-5.

Chernenkova, T.V. et al. (2019) Kharakteristika i perspektivy sokhraneniya sosnovykh lesov Moskovskoy oblasti [Characteristics and Prospects for Conserving Pine Forests in the Moscow Region], *Lesovedeniye*, no. 5, pp. 449-464.

Chizhov, B.E. (2003) *Regulirovaniye travyanogo pokrova pri lesovosstanovlenii* [Regulation of Grass Cover during Reforestation], VNIILM, Moscow, Russia, 174 p.

Bertrand, R. et al. (2011) Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests, *Nature*, vol. 479, no. 7374, pp. 517-520.

Carle, J., Holmgren, J. (2017) LiDAR in Forest Inventory and Biometric Analysis, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 58, pp. 16-28.

Chamberlain, S.A. et al. (2022) Assessing plant biodiversity and distribution using citizen science data: A case study with iNaturalist, *Ecology and Evolution*, vol. 12(3), e9300, doi: 10.1002/ece3.9300.

Elliott, K. et al. (2015) Functional role of the herbaceous layer in eastern deciduous forest ecosystems, *Ecosystems*, no. 18, pp. 221-236.

George, L.O., Bazzaz, F.A. (2014) The herbaceous layer as a filter determining spatial pattern in forest tree regeneration, *The herbaceous layer in forests of eastern North America*, in F.S. Gillam (ed.), New York, Oxford University Press, pp. 340-355.

Gilliam, F.S. (2007) The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems, *BioScience*, vol. 57, no. 10, pp. 845-858.

Gollob, C., Ritter, T., Wassermann, C., Nothdurft, A. (2019) Influence of Scanner Position and Plot Size on the Accuracy of Tree Detection and Diameter Estimation Using Terrestrial Laser Scanning on Forest Inventory Plots, *Remote Sens.*, vol. 11, p. 1602, doi: <https://doi.org/10.3390/rs11131602>.

Honkavaara, E., Hakala, T., Viljanen, N. et al. (2016) Geospatial Solutions in Forest Inventory Using Low-Altitude Drone Imagery and LiDAR, *Remote Sensing*, vol. 8(10), pp. 1-17.

Korotkov, S., Stonozenko, L., Lezhnev, D., Ereghina S. (2023) Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region, *II International Conference "Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology" (VMAEE-II-2023)*, vol. 3011, Karshi, New York, AIP PUBLISHING, p. 20031, doi: 10.1063/5.0161107.

La Sorte, F.A. et al. (2022) Global patterns of plant observations on iNaturalist reveal insights into citizen science contributions to geobotanical research, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 20, pp. 123-130, doi: 10.1002/fee.2500.

Lezhnev, D. et al. (2025) Vertical and horizontal structure of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the central part of the Russian Plain, *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, vol. 623, p. 01023.

Lezhnev, D., Korotkov, S., Stonozenko, L., Popova, A. (2024) The Growing Dynamic of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in the Moscow Region, *III International Conference Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology (VMAEE-III-2024)*, *AIP Conference Proceedings*, Karshi, Melville, AIP PUBLISHING, p. 20045, doi: 10.1063/5.0211896.

Liang, X., Hyypä, J., Kaartinen, H. et al. (2016) The Use of a Mobile Phone-Based LiDAR for Individual Tree Detection in Forest Inventory, *Forestry*, vol. 89(2), pp. 79-87.

Muller, R.N. (2014) Nutrient relations of the herbaceous layer in deciduous forest ecosystems, *The herbaceous layer in forests of eastern North America*, in F.S. Gilliam (ed.), New York, NY, Oxford University Press, pp. 13-34.

Pace, R., Masini, E., Giulianielli, D., Biagiola, L., Tomao, A., Guidolotti, G., Agrimi, M., Portoghesi, L., De Angelis, P., Calfapietra, C. (2022) Tree Measurements in the Urban Environment: Insights from Traditional and Digital Field Instruments to Smartphone Applications, *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, vol. 48(2), pp. 113-123, doi: <https://doi.org/10.48044/jauf.2022.009>.

Peebles-Spencer, J.R., Gorchov, D.L., Crist, T.O. (2017) Effects of an invasive shrub, *Lonicera maackii*, and a generalist herbivore, white-tailed deer, on forest floor plant community composition, *Forest Ecology and Management*, vol. 402, pp. 204-212.

Proudman, A., Ramezani, M., Digumarti, S.T., Chebrolu, N., Fallon, M. (2022) Towards real-time forest inventory using handheld LiDAR, *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 157, p. 104240, doi: <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104240>.

Sandim, A., Amaro, M., Silva, M.E., Cunha, J., Morais, S., Marques, A., Ferreira, A., Lousada, J.L., Fonseca, T. (2023) New Technologies for Expedited Forest Inventory Using Smartphone Applications, *Forests*, vol. 14, p. 1553, doi: <https://doi.org/10.3390/f14081553>.

Seregin, A.P., Seregin, A.P., Bochkov, D.A., Shner, J.V. et al. (2020) "Flora of Russia" on iNaturalist: A dataset, *Biodiversity Data Journal*, vol. 8, p. 59249, doi: 10.3897/BDJ.8.e59249.

Thrippleton, T. et al. (2018) Overstorey – understorey interactions intensify after drought-induced forest die-off: Long-term effects for forest structure and composition, *Ecosystems*, vol. 21, no. 4, pp. 723-739.

Woo, H., Kim, I., Choi, B. (2021) Computer Vision Techniques in Forest Inventory Assessment: Improving Accuracy of Tree Diameter Measurement Using Smartphone Camera and Photogrammetry, *Sensors and Materials*, vol. 33(11), pp. 3835-3845, doi: <https://doi.org/10.18494/SAM.2021.3605>.

Статья поступила в редакцию (Received): 25.05.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 16.07.2025.

Для цитирования / For citation:

Лежнев, Д.В. (2025) Методологические основы комплексных исследований лесных фитоценозов, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXVI, № 3-4, с. 19-56, doi: 10.21513/0207-2564-2025-3-4-19-56.

Lezhnev, D.V. (2025) Methodological foundations of complex studies of forest phytocenoses, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXVI, no. 3-4, pp. 19-56, doi: 10.21513/0207-2564-2025-3-4-19-56.