Трансформация экосистем
Ecosystem Transformation

ISSN 2619-0931 Online
www.ecosysttrans.com

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-250403
EDN: https://elibrary.ru/obzfhu
УДК 630*113

Научная статья

Ландшафтные особенности пространственного размещения смешанных древостоев сосны и ели Ленинградской области

Д.А. Данилов, А.А. Яковлев*, Е.Д. Шкуренков, Т.А. Герасимова

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, литера У

**artem95692@gmail.com*

Аннотация. Смешанные древостои с преобладанием сосны и ели занимают до четверти площади лесного фонда в условиях северо-запада России. Современные лесохозяйственные мероприятия и действующая нормативная база направлены на формирование и выращивание чистых хвойных древостоев, однако в определенных климатических, почвенных и гидрологических условиях смешанные хвойные древостои растут более успешно и продуктивно. Данное исследование рассматривает особенности пространственного распределения смешанных древостоев сосны и ели в Валдайско-Тихвинском и Лужско-Волховском ландшафтных районах Ленинградской области. Для выявления преобладающих типов смешанных древостоев в каждом ландшафте были рассчитаны индексы биологического разнообразия Шеннона, Симпсона и Пиелу. Для оценки влияния ландшафтных условий на распространение смешанных древостоев рассчитывался корреляционный показатель Спирмена. Установлено, что в зависимости от ландшафтных условий формируются различные типы смешанных древостоев, причем решающее влияние на их распределение оказывают почвенно-гидрологические условия. В Валдайско-Тихвинском ландшафтном округе среди смешанных древостоев по площади преобладают елово-лиственные и елово-сосновые древостои. В Лужско-Волховском ландшафтном округе наибольшую площадь среди смешанных древостоев занимать елово-лиственные, что связано с сильным антропогенным воздействием на данный ландшафтный округ. При прогнозном моделировании через оборот рубки (100 лет) на исследованных территориях будут преобладать елово-лиственные древостои.

Ключевые слова: географический ландшафт, биоразнообразие, состав древостоя, географическое распределение, динамика и состояние лесных массивов, ландшафтные условия, ландшафтный подход, моделирование древостоя, Марковские последовательности

ORCID:
Д.А. Данилов, https://orcid.org/0000-0002-7504-5743
А.А. Яковлев, https://orcid.org/0000-0001-84502-2806

Е.Д. Шкуренков, https://orcid.org/0009-0000-6594-1256
Т.А. Герасимова, https://orcid.org/0009-0006-0904-0561

Для цитирования: Данилов, Д.А. и др., 2026. Ландшафтные особенности пространственного размещения смешанных древостоев сосны и ели Ленинградской области. *Трансформация экосистем* **9** (4), 93–120. https://doi.org/10.23859/estr-250403

Поступила в редакцию: 03.04.2025
Принята к печати: 16.09.2025
Опубликована онлайн: 30.10.2026

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-250403
EDN: https://elibrary.ru/obzfhu
UDC 630*113

Article

Landscape features of the spatial distribution of mixed pine and spruce stands in the Leningrad region

D.A. Danilov, A.A. Yakovlev*, E.D. Shkurenkov, T.A. Gerasimova

Saint-Petersburg State Forest Technical University, Institutskii per. St. 5U, Saint Petersburg, 194021 Russia

**artem95692@gmail.com*

Article. Mixed stands with the dominance of pine and spruce occupy up to a quarter of the area of the forest fund in the conditions of the North-West of Russia. Modern forest management and the current regulatory framework are aimed at the formation and cultivation of pure softwood stands, but in certain climatic, soil and hydrological conditions mixed softwood stands grow more successfully and productively. Modern silvicultural activities and the current regulatory framework are aimed at the formation and cultivation of pure coniferous stands; however, under certain climatic, soil, and hydrological conditions, mixed coniferous stands grow more successfully and productively. This study examines the spatial distribution patterns of mixed pine and spruce stands in the Valdai-Tikhvin and Luga-Volkhov landscape districts of the Leningrad region. To identify the predominant types of mixed stands in each landscape, the Shannon, Simpson, and Pielou biodiversity indices were calculated. To assess the influence of landscape conditions on the distribution of mixed stands, the Spearman rank correlation coefficient was calculated. It has been established that different types of mixed stands are formed depending on landscape conditions, with soil-hydrological conditions having a decisive influence on their distribution. In the Valdai-Tikhvin landscape district, spruce-deciduous and spruce-pine stands predominate among mixed stands by area. In the Luga-Volkhov landscape district, spruce-deciduous stands occupy the largest area among mixed stands, which is associated with significant anthropogenic impact on this landscape district. Under predictive modeling through the felling rotation cycle (100 years), spruce-deciduous stands will predominate in the studied territories.

Keywords: geographic landscape, biodiversity, stand composition, geographic distribution, forest dynamics and condition, landscape conditions, landscape approach, stand modeling, Markov chain

ORCID:
D.A. Danilov, https://orcid.org/0000-0002-7504-5743
A.A. Yakovlev, https://orcid.org/0000-0001-84502-2806
E.D. Shkurenkov, https://orcid.org/0009-0000-6594-1256
T.A. Gerasimova, https://orcid.org/0009-0006-0904-0561

To cite this article: Danilov, D.A. et al., 2026. Landscape features of the spatial distribution of mixed pine and spruce stands in the Leningrad region. *Ecosystem Transformation* **9** (4), 93–120. https://doi.org/10.23859/estr-250403

Received: 03.04.2025
Accepted: 16.09.2025
Published online: 30.10.2026

Введение

Еще в первой четверти XX века Г.Ф. Морозов высказывал идею проведения лесоводственных исследований в границах ландшафтов, которые представляют собой «как бы фокусы или узлы, в которых скрещиваются взаимные влияния общего и местного климата, с одной стороны, рельефа, геологических условий – с другой, растительного и животного мира – с третьей...» (Морозов, 1913, цит. по: Яковлев, 2024). При проектировании ведения лесного хозяйства на ландшафтной основе следует учитывать влияние социальных изменений на природные системы (Estreguil and Mouton, 2009; Qiu et al., 2018; Uuttera et al., 2004). Например, с увеличением антропогенного воздействия на лесной ландшафт увеличивается площадь древостоев с преобладанием лиственных пород.

Важнейшей характеристикой ландшафта при проектировании лесохозяйственных мероприятий является его устойчивость. Изначально устойчивость в экологии определялась как способность системы поглощать внешние стрессоры или помехи без изменения ее фундаментальной структуры и функции или перехода в качественно другое состояние (Holling, 1973). За последние три десятилетия понятие устойчивости расширилось до концепции социально-экологических систем и способности системы к самоорганизации, адаптации к изменениям и осуществлению преобразований (Folke, 2006). Интеграция концепции устойчивости в ландшафтную экологию привела к возникновению термина «устойчивость ландшафта» (Cumming, 2011). Эта характеристика подчеркивает критическую важность пространственной неоднородности и пространственных взаимодействий между сложными адаптивными системами для общей устойчивости систем к внешним факторам изменений или возмущений.

Основным критерием экологической устойчивости ландшафтов является биоразнообразие. Известно, что места обитания, состоящие из пространственно неоднородных абиотических условий, обеспечивают большое разнообразие потенциально подходящих ниш для видов растений. Научные основы ландшафтной экологии позволяют предположить, что на более высоком пространственном уровне состав и структура ландшафтной мозаики также влияет на биотические процессы и, следовательно, на видовое богатство (Honnay et al., 2003). Существует несколько исследований по определению взаимосвязей между ландшафтной структурой (оцениваемой по ландшафтным индексам) и разнообразием растений (Burton and Samuelson, 2008; Hernández-Stefanoni and Dupuy, 2008; Moser et al., 2002).

На общее биоразнообразие в значительной мере влияют смешанные хвойные древостои (Angeistam and Kuuluvainen, 2004; Felton et al., 2020), а на пространственное распределение последних большое воздействие оказывают ландшафтные особенности и их специфичные почвенно-гидрологические условия (Etheridge, 2006). Для каждого ландшафта характерен свой тип смешанных древостоев, который будет иметь таксационные характеристики выше, чем у чистых древостоев (Яковлев и Данилов, 2019; Mina et al., 2018; Popov, 2017). Распределение доминантных насаждений по возрасту имеет четкую связь с интенсивностью лесопользования (Tikhonova et al., 2017).

К настоящему моменту проведен ряд исследований для лесов бореальной зоны европейской части России с применением ландшафтного подхода (Данилов и др., 2018; Исаченко, 1994; Исаченко и др., 2010; Федорчук и др., 2005; Чертов, 1981; Angeistam and Kuuluvainen, 2004; Gromtsev, 2002, 2015; Tikhonova et al., 2017). Однако в большинстве работ делается упор на одну преобладающую породу, а полноценных исследований влияния ландшафтных условий на распространение смешанных древостоев не так много. Вопрос длительности сукцессионных этапов развития смешанных древостоев до сих пор остается дискусионным (Данилов и др., 2018; Исаченко, 1994; Gromtsev, 1988, 1990, 2000, 2002; Rautiainen et al., 2016; Yaroshenko et al., 2001).

Проведенная нами работа посвящена ландшафтной экологии Ленинградской области региона и прогнозной динамике распространения смешанных хвойных древостоев. На северо-западе России значительную часть лесного фонда (около четверти от общей площади) формируют смешанные лесные массивы, в которых главенствующее положение занимают хвойные породы: сосна обыкновенная и ель европейская. Под ландшафтной экологией мы понимаем науку об изучении взаимосвязей между пространственной структурой и экологическими процессами. При этом рассматриваются причины и последствия пространственной неоднородности растительности, включая ландшафтную композицию (тип и количество) и ландшафтную конфигурацию (форму, связность и пространственное расположение), в разных масштабах (Farina, 1998; Lindenmayer, 2002; Turner, 2005).

Исследование пространственной структуры и фрагментации древостоев необходимо для ландшафтного планирования на региональном уровне для устойчивого лесопользования. Кроме того, необходим прогноз изменений лесного покрова под воздействием рубок и его восстановления в условиях изменения климата.

Выполненные ранее работы показывают более высокую производительность смешанных древостоев сосны и ели по сравнению с монодоминантными хвойными древостоями в бореальной зоне европейской части России (Данилов и др., 2018; Третьяков, 2007; Яковлев и Данилов, 2019). Целью нашего исследования было оценить ландшафтные зависимости распространения древостоев с разной долей участия сосны и ели в Ленинградской области.

Материалы и методы

Объект исследования

Ленинградская область располагается на северо-западе Российской Федерации. На севере область граничит с республикой Карелия, на востоке с Вологодской областью, на юге с Новгородской и Псковской областями, с запада – с Финляндией и Эстонией (Административно-территориальное...,1997).

Вся территория области относится к бореальной (таежной) зоне Евразии. По лесорастительному районированию принадлежит к Балтийско-Белозерскому таежному району[1]. Ленинградская область входит в состав двух физико-географических стран: Фенноскандии (страна Балтийского щита) и Русской (Восточно-Европейской) платформенной равнины (Состояние окружающей..., 2018).

Климат области континентальный. Морские воздушные массы обусловливают сравнительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно теплое, иногда прохладное лето. Среднегодовая температура воздуха с запада на северо-восток области понижается от +4.5 °С до +2.0 °С. Продолжительность периода со средней суточной температурой воздуха выше 5 °С на востоке области примерно 160, а на юго-западе – 170 дней. Сумма среднесуточных температур в дни с температурами выше +10 °С составляет 1600–1800 °С. Вся территория Ленинградской области находится в зоне избыточного увлажнения. Относительная влажность воздуха всегда высокая (от 60% летом до 85% зимой). Количество осадков за год 600–700 мм.

Лесопокрытая площадь Ленинградской области составляет 4805. 5 тыс. га, или около 60% от общей площади региона[2]. Доминирующие хвойные породы сосна обыкновенная *Pinus silvestris* L. (32%) и ель обыкновенная *Picea abies* Kr. (28%) занимают до 60% территории лесного фонда. Среди лиственных пород заметная доля площади принадлежит березе повислой *Betula pendula* L.

[1] Приказ от 18 августа 2014 года № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (с изменениями на 18 октября 2018 года).

[2] Лесной план Ленинградской области. Интернет-ресурс. URL: https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/lesnoj-plan-leningradskoj-oblasti/ (дата обращения: 27.12.2018).



Рис. 1. Расположение объектов исследования. 1 – Валдайско-Тихвинский ландшафтный округ; 2 – Лужско-Волховский ландшафтный округ.

(31%) и осине *Populus tremula* L. (7%). Около 75% площади лесного фонда относятся к четырем типам леса: Брусничный (Бр), Черничный (ЧеР), Кисличный (Кисл), Долгомошный (Долг), а также их переходным подтипам (Федорчук и др., 2005). В регионе в ходе антропогенной деятельности за последние 300 лет фактически не осталось крупных лесных массивов старовозрастных и коренных лесов ели и сосны. Спелые хвойные леса ели и сосны занимают 812 тыс. га, спелые лиственные леса березы, осины, ольхи – 833 тыс. га лесопокрытой площади региона3. Площадь болот, входящих в лесной фонд, составляет 714 тыс. га.

В данном исследовании рассматривается два ландшафтных округа, расположенных на Русской равнине и обладающих высоким процентом лесистости: Лужско-Волховский (лесопокрытая площадь составляет около 60%) и Валдайско-Тихвинский (80%) (Данилов и Яковлев, 2020; Состояние..., 2018) (Рис. 1). Суммарно эти округа занимают более 70% площади Ленинградской области.

Лужско-Волховский округ представляет собой обширную сильно заболоченную низменную равнину. В основном ее фундамент сложен породами нижнего палеозоя: ордовикскими и девонскими озерно-ледниковыми песками, которые перекрыты валунными суглинками, ленточными глинами. Выделяется фундамент Ижорского плато, который приподнят и сложен известняками и доломитами, прикрытыми мореной (Исаченко, 1994). Климат континентальный. Средняя температура января составляет −8.5 °С, июля – +16.7 °С. Продолжительность безморозного периода равна 120 дней в году. Среднее количество осадков за год 670 мм .По типу рельефа преобладают абразионные и аккумулятивно террасированные озерно-ледниковые равнины. Площадь округа достигает 31.1 тыс. км^2 (Машовец, 1967). В пределах Лужско-Волховского округа различается 13 ландшафтов, объединенных в следующие группы (Данилов и Яковлев, 2021; Исаченко, и др., 1965) (Рис. 2):

1) озерно-ледниковые песчаные (Тихвинский, Нарвско-Лужский, Лужский ландшафт);

2) равнинно-моренные (Самро-Плюсский, Лужско-Оредежский, Путиловский, Пашско-Сясьский, Вишерский ландшафт);

3) озерно-ледниковые глинистые (Тосненско-Волховский ландшафт);

4) камовые (Лужский, Мгинский ландшафт);

5) возвышенное плато на карбонатных породах (Ижорский ландшафт);

6) низменная равнина на карбонатных породах (Верхнелужский ландшафт).

[3] Лесной план Ленинградской области. Интернет-ресурс. URL: https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/lesnoj-plan-leningradskoj-oblasti/ (дата обращения: 27.12.2018).

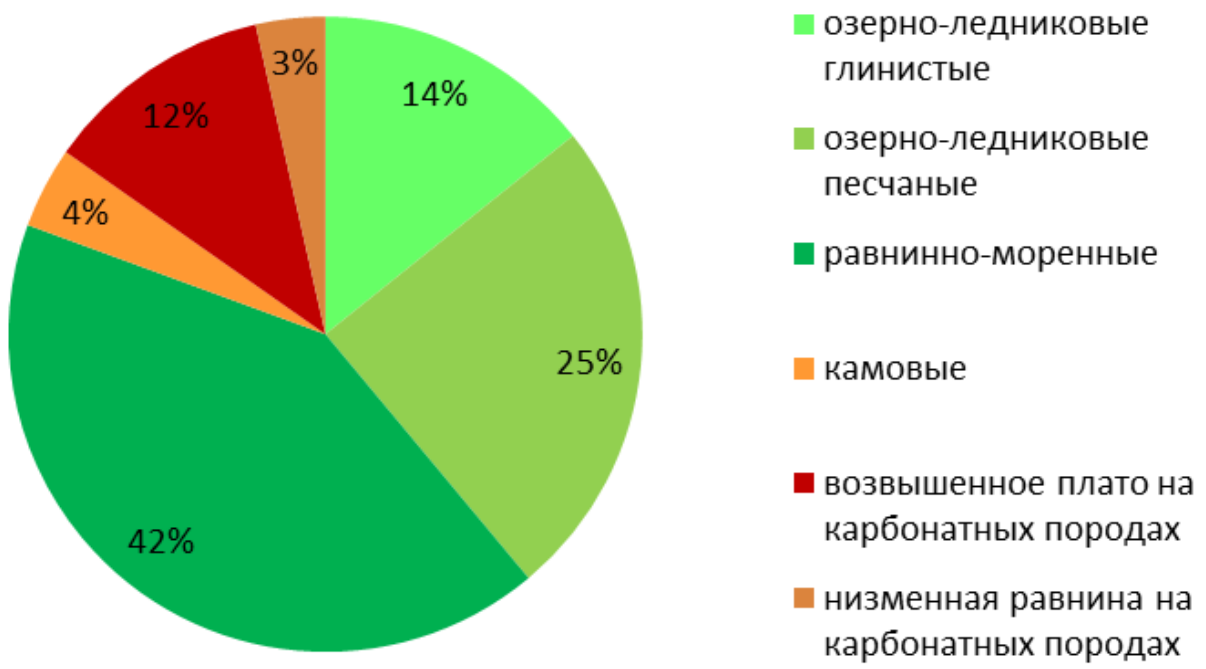


Рис. 2. Процентное распределение площади Лужско-Волховского округа по группам типов ландшафтов.

Валдайско-Тихвинский округ преимущественно располагается на приподнятом цоколе из карбонатных известняков и доломитов. Положение округа на территории области и его более высокий гипсометрический уровень по сравнению с другими ландшафтными округами определяет континентальность и суровость климата (Исаченко, 1994). Средняя температура января составляет −10.7 °С, июля – 16.2 °С. Продолжительность безморозного периода – 107 дней в году, среднегодовое количество осадков – 800 мм.

В рельефе округа преобладают следующие типы: холмисто-котловинный и холмисто-моренный, местами встречаются абразионные и аккумулятивно террасированные озерноледниковые равнины; в понижениях распространены болотные равнины. Площадь округа составляет 22. 6 тыс. км^2 (Машовец и др., 1967). В пределах Валдайско-Тихвинского округа представлены ландшафты трех групп (Исаченко и др., 1965) (Рис. 3):

1) холмисто-моренные (Тихвинская гряда, Вепсовский, Свирско-Оятский, Олонецкий, Среднеоятский, Капшинский ландшафт);

2) равнинно-моренные (Свирско-Олонецкий, Верхнесвирский, Шокшинский ландшафт);

3) озерно-ледниковые песчаные (Нижнесвирский, Судско-Чагодский ландшафт).

Распространенность карстовых воронок и озер связано с холмисто-моренным ландшафтом. Почвообразующими породами являются супеси, пески, валунные суглинки и торф. Преобладают средне-суглинистые средней и сильной оподзоленности, болотные и торфяные почвы. Наиболее распространены подзолистые супесчаные почвы с контактно-подзолистым горизонтом на суглинке, средне- и сильноподзолистые супесчаные почвы на валунном суглинке, торфянисто-подзолисто-глеевая супесчаная почва на суглинке, скрытоподзолистые песчаные почвы. На территории ландшафта присутствует активный смыв почв. На склонах наблюдаются сухие, в ложбинах и котловинах – болотные почвы. Болота по происхождению верховые и небольшие низинные. Для ландшафта характерна выраженная речная сеть с развитым дренажом, постепенно ослабевающим в переходах от склонов к ложбинам. Также стоит отметить наличие озерных котловин в холмисто-моренном рельефе. Увлажнение территории сменяется от недостаточного атмосферного (на вершинах) к постоянно-избыточному грунтовому и грунтово-напорному. На вершинах холмов и в низинах преобладают сосновые дендроценозы, на склонах – ельники в связи с оптимальным увлажнением на этих участках (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981; Яковлев, 2024).

Равнинно-моренные ландшафты характеризуются плоско-волнистой поверхностью, сложенной мореной с различным содержанием валунов. Отдельно встречаются двучленные наносы с размытой мореной, которая в верхней части почвенного горизонта покрыта тонким (до 50 см)

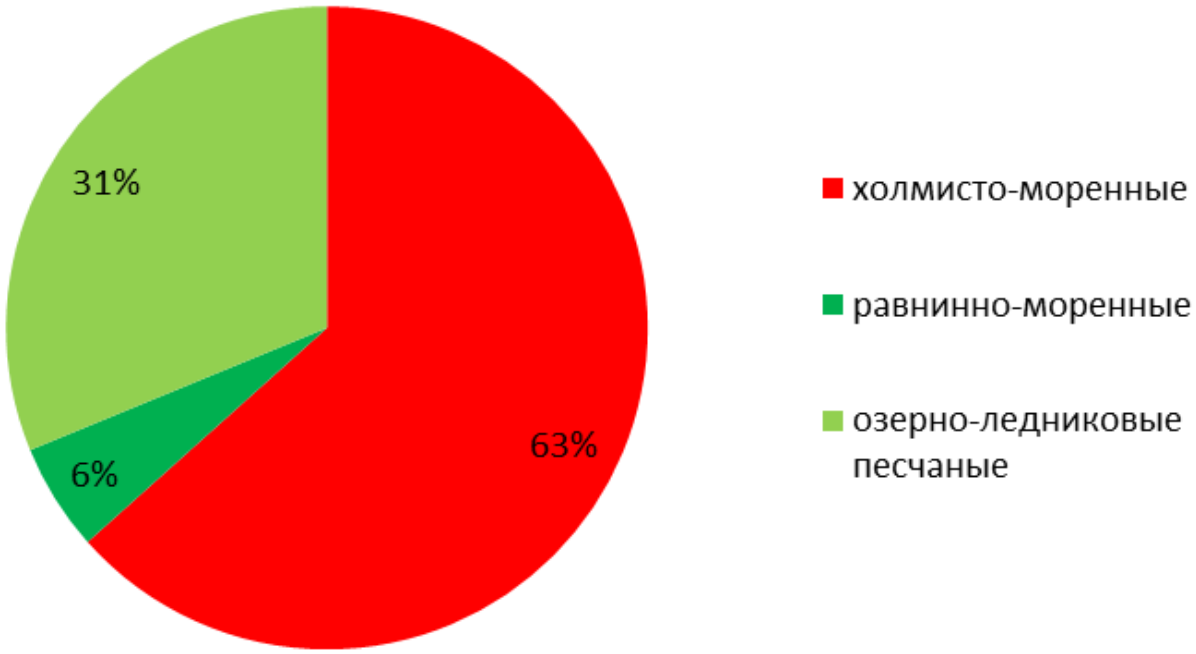


Рис. 3. Процентное распределение площади Валдайско-Тихвинского округа по группам типов ландшафтов.

слоем супеси или песка. Преобладают средне- и сильноподзолистые супесчаные и суглинистые почвы; также распространены торфяно-болотные почвы. В качестве основных почвообразующих пород выступают супеси, пески, суглинки, валунные суглинки и торф. Регион характеризуется повышенной (до 60% от территории) заболоченностью со слабо развитой дренажной системой, что объясняется наличием суглинков на двухчленных наносах. Неплохой дренаж наблюдается только на территориях, расположенных вблизи от рек и вершин холмов. Болота занимают большую часть водоразделов на территории исследования. В связи с преобладанием суглинистых почв и распространением двучленных наносов наиболее распространены еловые древостои в равнинно-моренных ландшафтах (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981).

Озерно-ледниковые песчаные ландшафты характеризуются волнисто-холмистым рельефом. Близкое залегание водоупорного горизонта ленточных или моренных глин обуславливает обильное развитие заболоченности территории. В замкнутых ложбинах и котловинах образуются торфяники и озера. Преобладают слабо- и среднеподзолистые песчаные и суглинистые почвы; в низинах располагаются болотные почвы. Основными почвообразующими породами являются пески и супеси, валунный суглинок и торф. Хороший дренаж наблюдается исключительно у приречных участков. Большая часть крупных верховых болот располагается в водоразделах рек. На песчаных и супесчаных почвах преобладают сосновые, на суглинистых – еловые дендроценозы (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981; Яковлев и Данилов, 2018).

Озерно-ледниковые глинистые ландшафты характеризуются плоским рельефом. Слабый поверхностный сток и плохая водопроницаемость глинистых пород обуславливает большое распространение болот (преимущественно верховых) и заболоченных подзолистых почв. В данных ландшафтах до 60% территории подвержены избыточному увлажнению. Преобладают следующие почвы: подзолисто-глеевые и подзолисто-глееватые тяжелосуглинистые, глинистые, болотные. Основными почвообразующими породами являются ленточные глины, моренные и валунные суглинки и глины. На дренированных участках произрастают ельники, нередко с примесью широколиственных пород. На сильно переувлажненных и заболоченных территориях преобладают сосняки (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981).

Камовые ландшафты характеризуются сочетанием групп песчаных холмов (камов) и плоских заболоченных озерно-ледниковых равнин. Болот сравнительно немного (в основном небольшие в котловинах, вокруг озер). Преобладает верховой тип болот, низинные и переходные встречаются редко. Преобладают слабо- и среднеподзолистые песчаные, супесчаные и суглинистые почвы,

торфянисто-подзолистые песчаные и болотные почвы. В связи с выходом девонских карбонатных пород, материнские породы также карбонатны. Основными почвообразующими породами являются: двучленные наносы (под красноватым суглинком залегают мелкозернистые пылеватые пески, пески, моренные суглинки. Преобладание песчаных и супесчаных почв определяет распространение сосновых древостоев (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981).

Возвышенное плато на карбонатных породах Ижорского ландшафта характеризуется слабо волнистым рельефом, разбросанными карстовыми воронками, провалами и группами моренных холмов. Данная территория хорошо дренирована благодаря трещиноватости известняков, которые ее образуют. Заболоченность низкая, болота имеют сравнительно небольшой размер. Преобладают перегнойно-карбонатные, слабо подзолистые суглинистые, супесчаные почвы, подстилаемые карбонатной глиной. Основными почвообразующими породами являются высоко карбонатные моренные суглинки и глины. Преобладают ельники с примесью широколиственных пород. Из-за сильной хозяйственной освоенности широко распространены мелколиственные древостои (березняки и осинники) (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981).

Низменная равнина на карбонатных породах Верхнелужского ландшафта характеризуется равнинно-волнистым рельефом, который расчленен широкими речными долинами. Заболоченность средняя (20%). Отличительной особенностью является близкое залегание девонских известняков, покрытых карбонатным суглинком. Преобладают слабо подзолистые суглинистые, местами встречаются перегнойно-карбонатные почвы. Основной почвообразующей породой является моренный суглинок – средний, легкий и песчанистый. Почвенное богатство обуславливает преобладание ельников с участием широколиственных пород, в основном смешанных елово-березовыми древостоями (Благовидов, 1946; Исаченко, 1994; Пестряков, 1973; Чертов, 1981).

Методология

Наше исследование смешанных хвойных древостоев объединило экосистемный, сукцессионный и ландшафтный подходы. Объектом изучения были лесные массивы, выделяющиеся в административных и ландшафтных границах. Мы использовали количественную оценку состава насаждений, отражающую динамику и состояние лесных массивов. При этом во время анализа природных объектов различной площади и сложности принималась во внимание иерархия пространственных уровней.

Для изучения распределения смешанных древостоев сосны и ели применялись ландшафтная карта региона (Машовец и др., 1967), материалы государственной лесной инвентаризации по Ленинградской области[4], а также прочие картографические сведения по Ленинградской области и районным лесничествам в рамках ландшафтов региона[5].

За условно-чистые древостои приняты дендроценозы, в которых доминирующая порода составляет от 90% общего состава. Под смешанными хвойными древостоями подразумеваются древесные сообщества, в которых доля хвойных пород составляет не менее 40% от общего состава (Данилов и Яковлев, 2020). Типы леса определялись по эдафо-ценотической шкале В.Н. Сукачева (Сукачев и др., 1957).

Согласно методикам, применяемым в государственной лесной инвентаризации[6]выделялось четыре возрастные категории деревьев:

– молодняки (до 20 лет);
– средневозрастные (21–40 лет);
– приспевающие (41–60 лет);
– спелые и перестойные (от 81 лет и старше).

Анализ распределения древостоев выполнялся на основании суммирования площади каждого полидоминантного древесного сообщества.

Расчет индексов производится для интерпретации результатов и для формулировки вывода о существующих особенностях ландшафтного разнообразия изучаемой территории. В роли

[4] Лесной план Ленинградской области. Интернет-ресурс. URL: https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/lesnoj-plan-leningradskoj-oblasti/ (дата обращения: 27.12.2018).

[5] Лесохозяйственные регламенты Ленинградской области. Интернет-ресурс. URL: https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/informaciya-o-lesah-glavnaja/proekty-lesohozyajstvennyh-reglamentov/ (дата обращения: 27.12.2018).

[6] Лесной план Ленинградской области. Интернет-ресурс. URL: https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/lesnoj-plan-leningradskoj-oblasti/ (дата обращения: 27.12.2018).

территории для оценки ландшафтного разнообразия могут использоваться административные и ландшафтные территориальные единицы (Викторов, 1986; Liebhold and Gurevitch, 2002; Perry et al., 2002).

Для оценки качественного показателя распределения смешанных древостоев по объектам исследования использовались индексы биоразнообразия Шеннона, Симпсона и Пиелу.

Индекс Шеннона (*H*) рассчитывался по формуле

$$H = -\sum p_i \log 2p_i,$$

где p_i – удельное обилие сообщества.

Индекс Шеннона не имеет верхнего предела значения и количественно оценивает разнообразие, учитывая два аспекта: богатство (количество видов/объектов) и выравненность (равномерность распределения их обилия). Рост значения индекса указывает на увеличение как числа видов, так и степени равномерности их распределения. Для определения биоразнообразия в ландшафтах индекс считался по формуле

$$H = -\sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{S} \log \frac{S_i}{S},$$

где S_i – площадь i-го вида ландшафта, S – общая площадь территории, n – количество видов ландшафтов на данной территории.

Также был рассчитан индекс разнообразия Симпсона по следующей формуле:

$$C = \sum \left({}^{n_i}/_{N}\right),$$

где n_i – оценка значимости каждого вида, N – сумма оценок значимостей.

Индекс Симпсона измеряет степень доминирования в сообществе. Его значения лежат в диапазоне от 0 до 1. Более высокие значения индекса указывают на сильное доминирование одного или нескольких видов, в то время как низкие значения отражают более равномерное распределение (Данилов и др., 2020).

Наконец, рассчитывался индекс Пиелу:

$$E_H = {}^{H}/_{H_{max}},$$

где H – фактическое значение индекса Шеннона; H_{max} – максимальное значение индекса Шеннона для данного числа старших таксонов:

$$H_{max} = \log N,$$

где N – число видов в биоте.

Индекс Пиелу является модификацией индекса Шеннона с исключенным параметром видового богатства и служит мерой выравненности видового спектра. Индекс принимает значения от 0 до 1; при величине ≥ 0.9 можно говорить о высоком уровне доминирования (Мэгарран, 1992).

Для оценки влияния специфических ландшафтных условий на пространственное распределение древостоев использован коэффициент ранговой корреляции Спирмена (Данилов и Яковлев, 2020; Agresti, 2007; Gardener, 2017):

$$\mathrm{p} = 1 - \frac{\sum 6\mathrm{d}^2 + \mathrm{A} + \mathrm{B}}{\mathrm{n}^3 - 3},$$

$$\text{где } \mathrm{A} = \frac{1}{12}\sum (A_j^3 - A_j)$$

$$B = \frac{1}{12}\sum (B_k^3 - B_k)$$

j – номера связок по порядку для признака x; A_j - число одинаковых рангов в j-й связке по x; k – номера связок по порядку для признака y; B_k – число одинаковых рангов в k-й связке по y.

Процесс изменения площадей смешанных древостоев можно отнести к Марковским процессам. Динамика разнообразия древесной растительности бореальных ландшафтов в зависимости от частоты рубок и пожаров исследована с помощью нестационарной Марковской модели с переменными вероятностями по обобщенным данным. Для расчета модели применялась следующая формула (Викторов, 1986; Нешатаев, 2002):

$$S_{i,j+20} = S_{i,j} \times (1 - \sum P_{i,m} - \sum K_f \times P_{i,n}) + \sum S_k \times P_{k,i} \ ,$$

где $S_{i,j+20}$, $S_{i,j}$ – доля площади, занятой i-ым состоянием на шагах j и j+20, K_f – коэффициент частоты рубок; $P_{i,m}$ – вероятность уничтожения древостоя, в результате которого i-ое состояние сменяется m-ым состоянием при K_f =1, $P_{i,n}$ – вероятность смены i-ого состояния n-ым состоянием в ходе сукцессии, S_k – площадь k-ого состояния, $P_{k,i}$ – вероятность смены k-ого состояния i-ым состоянием.

Результаты и обсуждение

По данным лесной инвентаризации[7], смешанные хвойные древостои с преобладанием сосны и ели занимают до четверти площади лесного фонда Северо-Запада и около половины лесопокрытой площади Ленинградской области. Отметим, что выделение лесных дендроценозов лишь по доминирующей породе некорректно из-за различного хода развития смешанных древостоев разного состава и ведет к неправильному назначению лесохозяйственных мероприятий. Ход роста смешанных древостоев сильно зависит от состава и соотношения пород, однако в разных ландшафтных округах и типах ландшафта эти особенности проявляются по-разному. Важно учитывать, что понятие «географический ландшафт» не ограничивается только рельефом, а включает в себя также почвенно-гидрологические и климатические условия. Эти особенности учитывались при выборе объектов. Так, Лужско-Волховский округ характеризуется более протяженным по времени вегетационным периодом и менее континентальным климатом. Соответственно, в Валдайско-Тихвинском округе наблюдается меньшая вариабельность хвойных древостоев по составу и более низкие средние таксационные характеристики древостоев в смешанных дендроценозах (Рис. 4, 5). Формирование древостоев разного состава в большей степени определяется абиотическими факторами среды, однако может также критически зависеть от ранее проводимой хозяйственной деятельности на данных территориях (Данилов и Яковлев, 2020).

При рассмотрении таксационных показателей хвойных древостоев зеленомошной группы типов леса, выявлены существенные различия в зависимости от доли участия пород в составе. В Валдайско-Тихвинском ландшафтном округе в дендроценозах с преобладанием сосны запас и средние высоты ниже, чем в древостоях, где преобладает ель, однако при этом средний диаметр больше в сосновых древостоях. В елово-сосновых дендроценозах наблюдается тенденция к увеличению средних диаметров и высот деревьев с возрастанием доли участия ели в составе древостоя.

В Лужско-Волховском ландшафтном округе запас древостоя возрастает с увеличением доли сосны в составе. Важно отметить, что в смешанных древостоях с участием сосны производительность древостоев возрастает при доле сосны в составе от 6 единиц. В смешанных елово-сосновых древостоях при наличии ели в составе 5 и 8 единиц наблюдается наибольший запас стволовой древесины. В дендроценозах с преобладанием ели средние диаметры и высоты ниже, чем в дендроценозах с преобладанием сосны. В еловых и сосновых древостоях с увеличением доли хвойных пород в составе увеличиваются и их таксационные характеристики.

Различия в формировании запаса насаждений в зависимости от доли участия ели и сосны в рассматриваемых ландшафтных округах позволяют говорить о роли этих географических единиц в формировании хвойных древесных сообществ региона исследования.

Валдайско-Тихвинский округ отличается более высокой лесистостью и большим количеством малонарушенных лесных земель. Здесь в большей степени распространены смешанные дендроценозы с преобладанием хвойных пород (Рис. 6). В Лужско-Волховском округе из-за сильной антропогенной освоенности практически отсутствуют малонарушенные леса, а лесистость заметно ниже. Здесь доминируют мелколиственные породы (Рис. 7).

[7] Лесной план Ленинградской области. Интернет-ресурс. URL: https://kpr.lenobl.ru/ru/deiatelnost/lesopolzovanie/lesnoj-plan-leningradskoj-oblasti/ (дата обращения: 27.12.2018).

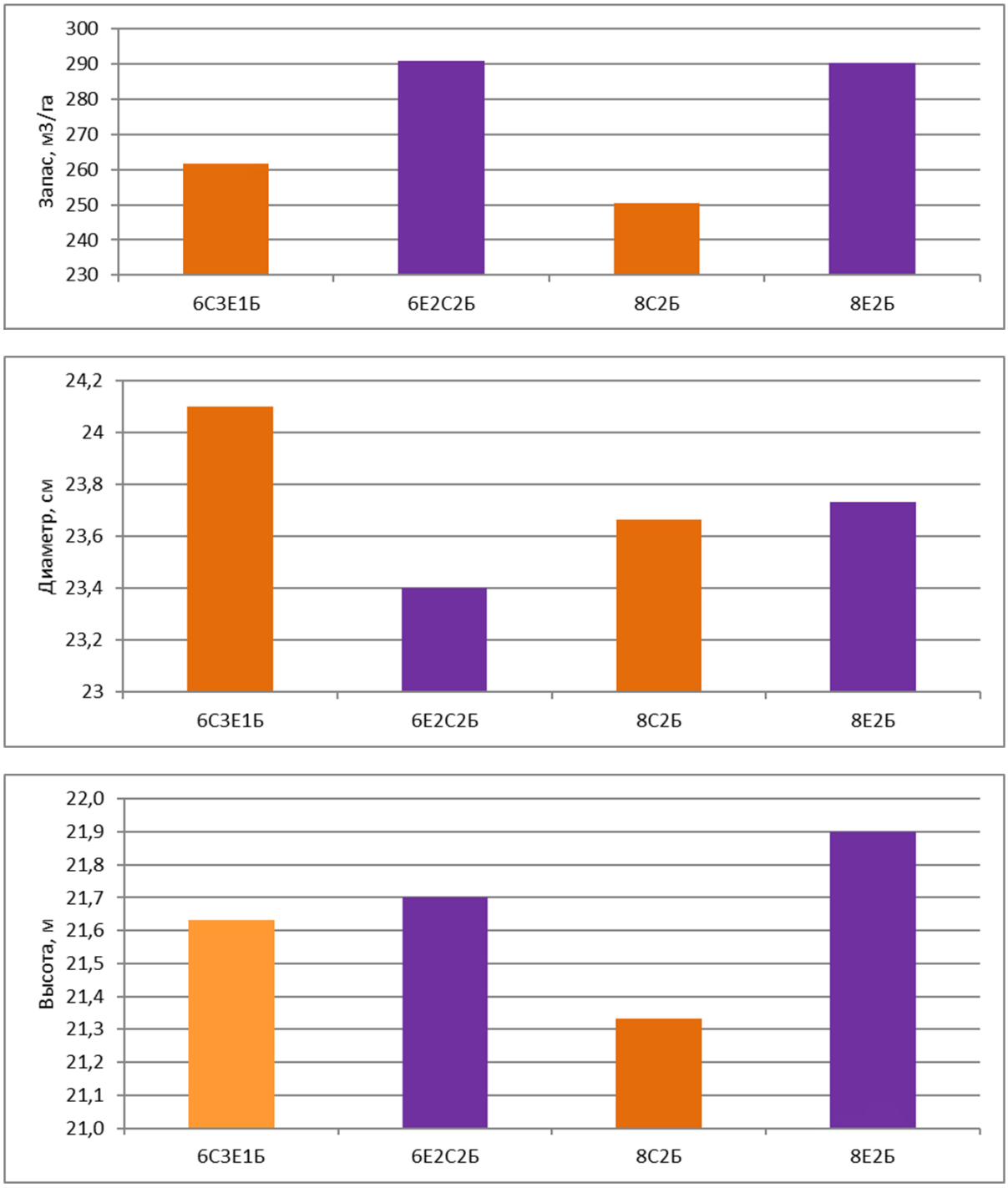


Рис. 4. Средние таксационные показатели смешанных древостоев сосны и ели в Валдайско-Тихвинского округа.

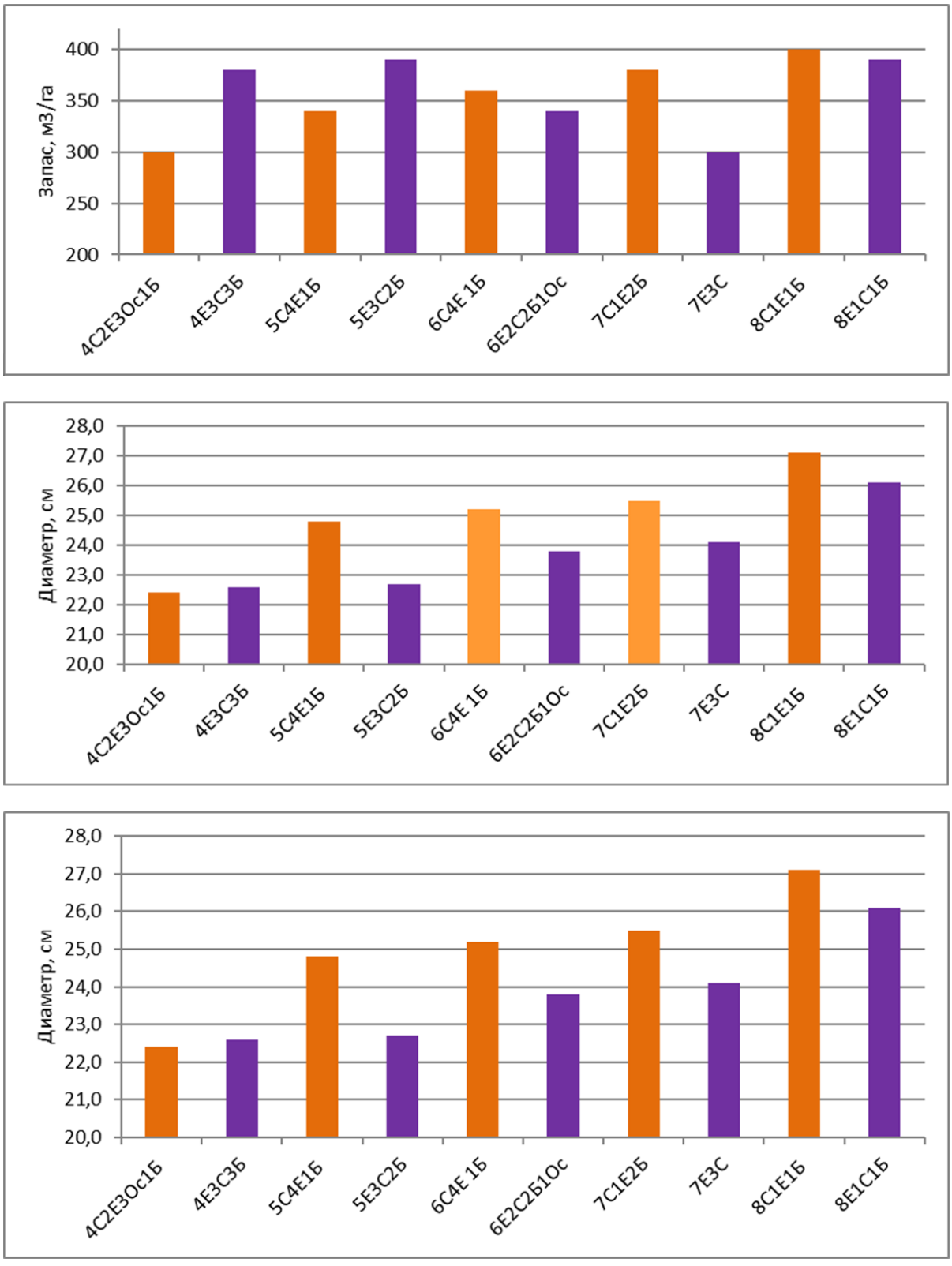


Рис. 5. Средние таксационные показатели смешанных древостоев сосны и ели Лужско-Волховского округа.

Основное различие между округами заключается в площади, занятой чистыми сосновыми древостоями. В связи с наличием камовых ландшафтов в Лужско-Волховском ландшафтном округе здесь отмечено большее количество площадей условно чистых сосняков, чем в Валдайско-Тихвинском ландшафтном округе. Из-за сильного антропогенного воздействия в данном округе наблюдается уменьшение елово-сосновых и сосново-еловых дендроценозов.

Наиболее распространены древостои с преобладанием хвойных пород в черничном типе леса (Рис. 8, 9). Данный тип леса на территории рассматриваемых ландшафтных округов и Ленинградской области в целом наиболее распространен, и его условия являются оптимальными для роста смешанных хвойных лесов, однако в рассмотренных ландшафтных округах наблюдается иная структура типов леса (Федорчук и др., 2005).

Переувлажненные типы леса (долгомошные, осоко-сфагновые, травяно-сфагновые, сфагновые) в большей степени распространены в Валдайско-Тихвинском округе, чем в Лужско-Волховском. Это связано с большими площадями глинистых почвообразующих пород, преобладанием

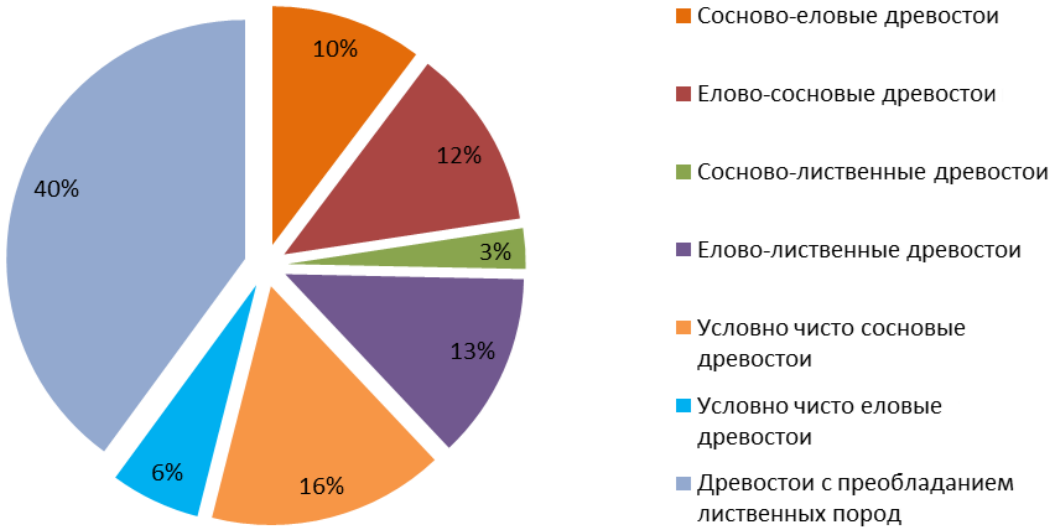


Рис. 6. Процентное распределение площади Валдайско-Тихвинского округа по типам древостоев.

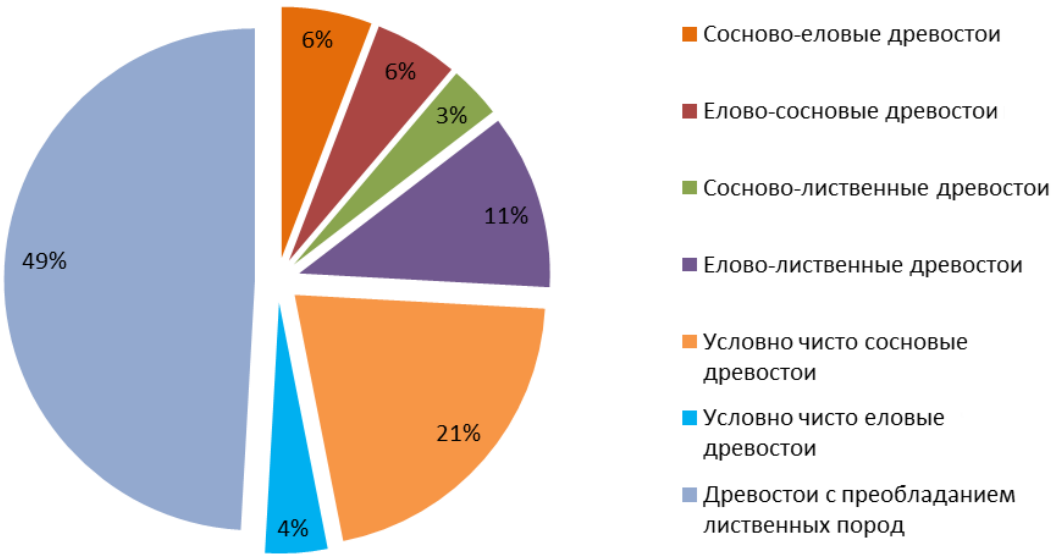


Рис. 7. Процентное распределение площади Лужско-Волховского округа по типам древостоев.

холмисто-моренных форм рельефа, в которых болота занимают понижения между холмами, и с особенностями гидрологии (Данилов и Яковлев, 2020).

Для характеристики влияния специфических ландшафтных особенностей на распределение древостоев по площади был использован ранговый анализ по критерию Спирмена. Данный подход хорошо зарекомендовал себя ранее в исследованиях распространения сосны и ели в различных ландшафтах региона (Шутов, 1994). Полученные значения показывают, что максимальное влияние ландшафтные особенности оказывают на распределение чистых хвойных и сосново-лиственных древостоев (Рис. 10). Кроме того, они значительно влияют на размещение чистых сосновых древостоев, поскольку они произрастают в экстремальных условиях (на очень сухих и бедных или заболоченных почвах).

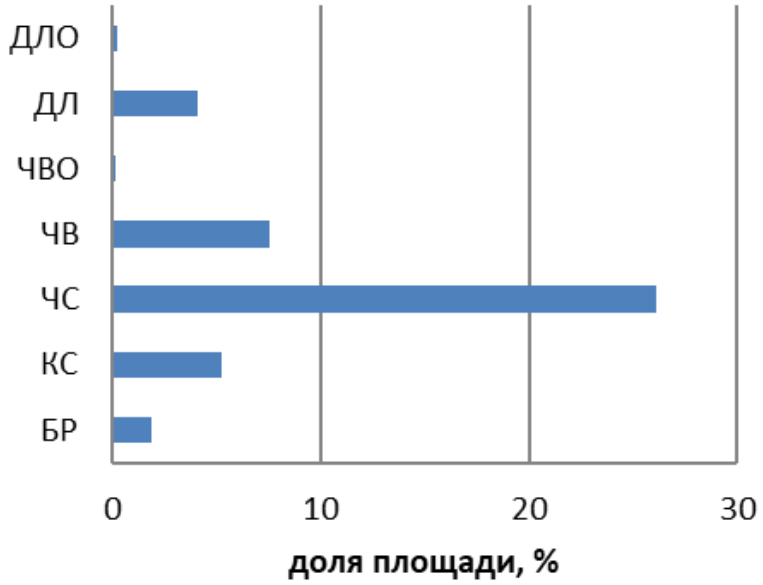


Рис. 8. Распределение смешанных древостоев по типу леса в Валдайско-Тихвинском округе. ДЛО – Долгомошник осушенный, ДЛ – Долгомошник, ЧВО – Черничник влажный осушенный, ЧВ – Черничник влажный, ЧС – Черничник свежий, КС – кисличник свежий, БР – Брусничник.

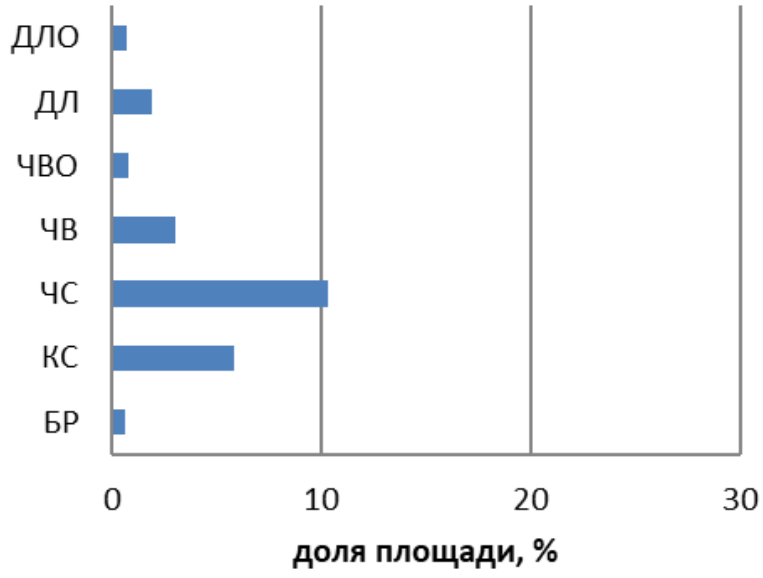


Рис. 9. Распределение смешанных хвойных древостоев по типу леса в Лужско-Волховском округе. Обозначения как на Рис. 8.

Влияние ландшафта на распределение чистых ельников, сосново-еловых и лиственных древостоев незначительно. Распространение чистых ельников и лиственных насаждений в первую очередь связано с хозяйственной деятельностью человека. Сосново-еловые древостои, как правило, приурочены к легким супесчаным почвам на границах между различными ландшафтными местоположениями (Беляева и др., 2020).

Минимальное влияние ландшафтных условий наблюдается у елово-сосновых древостоев. Это один из самых распространенных типов насаждений в регионе, способный произрастать во всех местообитаниях с умеренным увлажнением и относительно богатыми супесчаными почвами (Данилов и Яковлев, 2021).

Отрицательное значение индекса для смешанных хвойных и елово-лиственных древостоев связано с сильным уменьшением их площади в результате вырубки и заменой их чистыми культурами ели или возобновлением мелколиственных древесных пород.

Общая лесопокрытая площадь для региона слабо зависит от ландшафтных особенностей. На ее размер больше влияет антропогенное воздействие в виде рубок и пожаров, а из природных факторов максимальное влияние имеют почвенно-гидрологические условия.

Для изучения характера распределения древостоев по площади ландшафтных округов и оценки доминирования нами использовано несколько индексов биоразнообразия. Рассчитанные значения индекса Шеннона показали, что в обоих ландшафтных округах наиболее равномерно распределены древостои с преобладанием лиственных пород (Рис. 11). Однако значение индекса ниже в Лужско-Волховском ландшафтном округе, что является результатом его высокой хозяйственной освоенности.

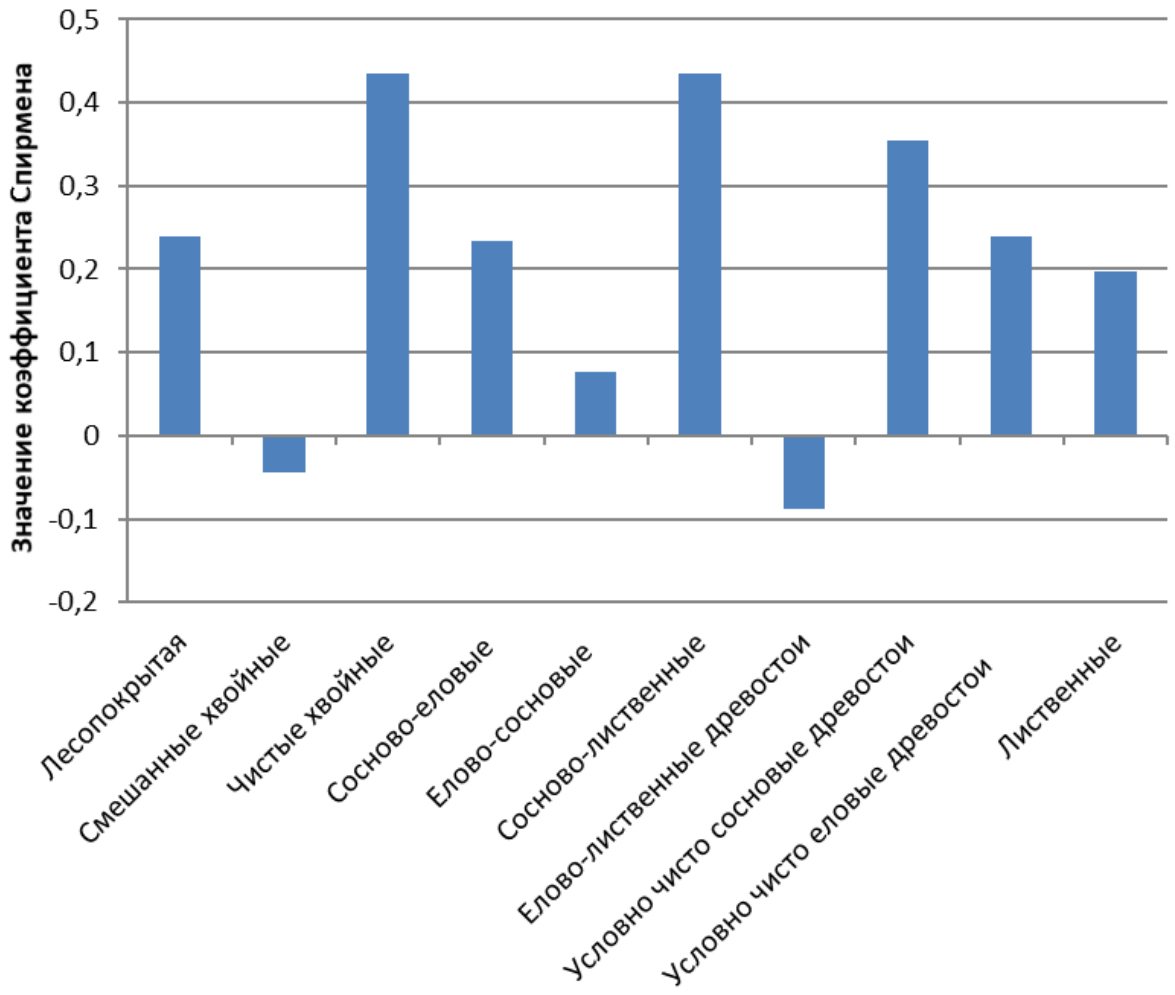


Рис. 10. Рассчитанные значения коэффициента Спирмена.

Смешанные древостои наиболее равномерно распределены в Валдайско-Тихвинском ландшафтном округе; такая же тенденция наблюдается и в каждом отдельном типе древостоев, кроме сосново-лиственного. По всей видимости, это объясняется меньшей освоенностью данного округа. Чистые хвойные древостои наиболее равномерно распределены в Лужско-Волховском округе за счет более широкого распространения чистых сосновых древостоев.

Индекс Симпсона показывает доминирование одного типа древостоев над другими. Его значения значительно выше для Валдайско-Тихвинского ландшафтного округа (Рис. 12), что связано с его более высокой лесистостью и меньшим антропогенным воздействием. Во всех ландшафтных округах наблюдается доминирование лиственных древостоев вследствие деятельности человека. Также высокое значение индекса наблюдается для смешанных древостоев в Валдайско-Тихвинском округе. Среди смешанных древостоев максимальное значение индекса получено для елово-сосновых древостоев, что свидетельствует об их широком распространении и большей пластичности к условиям произрастания.

Индекс Пиелу, характеризующий выравненность групп древостоев по пространству, показал закономерности, сходные с распределением индекса Шеннона (Рис. 13). Можно сделать вывод, что наиболее информативными в данной работе являются индексы Шеннона и Симпсона, поэтому ниже мы анализируем данные только по этим двум индексам. Далее рассматриваются показатели для каждого из ландшафтов Лужкко-Волховского и Валдайско-Тихвинского округов по отдельности.

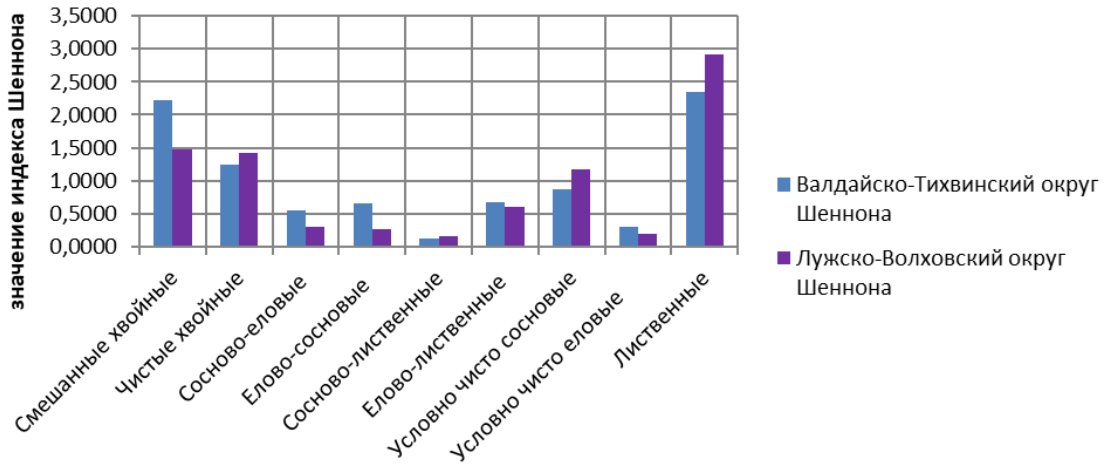


Рис. 11. Сравнение значений индекса Шеннона для двух округов.

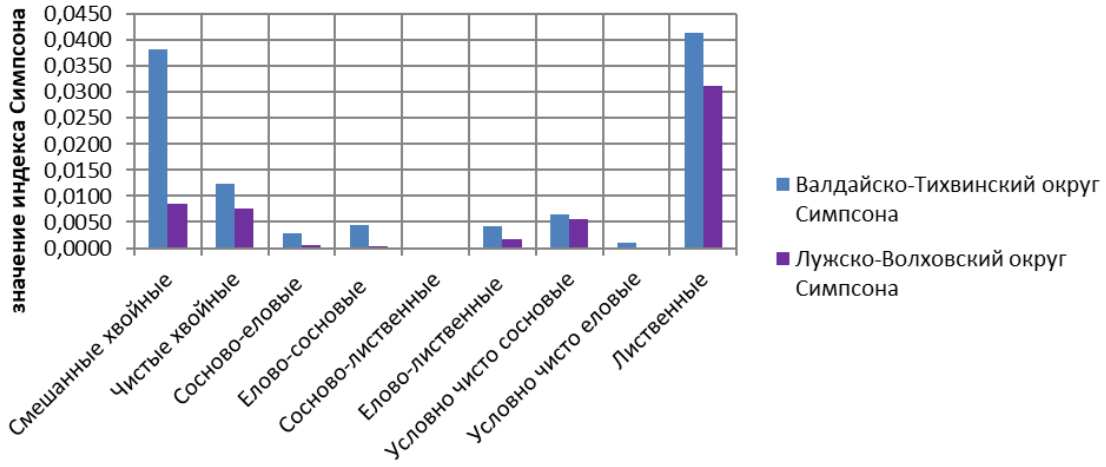


Рис. 12. Сравнение значений индекса Симпсона для двух округов.

В Валдайско-Тихвинском ландшафтном округе наибольшее значение индекса Шеннона для лиственных древостоев наблюдается в Судско-Чагодском ландшафте (Рис. 14). Это свидетельствует о наиболее равномерном распределении данных древостоев по территории лесничества и сильной освоенности его лесов. Среди хвойных древостоев наибольшее значение индекса наблюдается у чистых сосновых древостоев в озерно-ледниковых песчаных ландшафтах. На территории Свирско-Оятского холмисто-моренного ландшафта наиболее равномерно распределены елово-лиственные, елово-сосновые и елово-лиственные древостои.

Распределение индексов Симпсона для ландшафтов Валдайско-Тихвинского округа показало сильное доминирование лиственных древостоев (Рис. 15). Среди хвойных древостоев в озерно-ледниковых песчаных ландшафтах преобладают чистые сосновые древостои. На территории Свирско-Оятского холмисто-моренного ландшафта доминируют елово-сосновые насаждения. Значение индекса для остальных типов древостоев незначительно и не позволяет говорить о каком-либо доминировании.

Наблюдаемое распределение типов древостоев по территории Валдайско-Тихвинского ландшафтного округа тесно связано с его ландшафтной структурой. Так среди озерно-ледниковых ландшафтов преобладают ландшафты песчаной группы, что обуславливает широкое распространение на данной территории древостоев с преобладанием сосны. На территории Свирско-Оятского холмисто-моренного ландшафта наблюдается доминирование древостоев с преобладанием ели.

В Лужско-Волховском округе индекс Шеннона максимален для лиственных дендроценозов во всех ландшафтах, кроме Мгинского камового (Рис. 16), где наибольшее значение показателя наблюдается в чистых сосновых древостоях. Среди хвойных древостоев максимальный индекс Шеннона наблюдается во всех ландшафтах, кроме Ижорского. Последний приурочен к выходу карбонатных пород; в связи с этим здесь отмечено наибольшее значение показателя для елово-лиственных дендроценозов.

Преобладание лиственных древостоев во всех ландшафтах округа, кроме Мгинского, также подтверждается высоким значением индекса Симпсона (Рис. 17). Как и в случае с индексом Шеннона, среди хвойных древостоев во всех ландшафтах, кроме Ижорского, преобладают условно чистые сосняки, а в Ижорском – елово-лиственные дендроценозы. Для остальных дендроценозов значение индекса Симпсона не позволяет выделить доминирование типов древостоев друг над другом.

Преобладание супесчаных почв в озерно-ледниковых песчаных и камовых ландшафтах в совокупности с высокой заболоченностью равнинно-моренных и холмисто-моренных ландшафтов в обоих округах определяют обширную распространенность условно-чистых сосновых дендроценозов. В свою очередь, большая доля ландшафтов с суглинистыми почвами и высокой антропогенной освоенностью обсусловливает доминирование мягколиственных древостоев. Коренные еловые древостои после проведения сплошных рубок ввиду отсутствия ухода за составом подроста и культур сменяются лиственными насаждениями (Данилов и Яковлев, 2020).

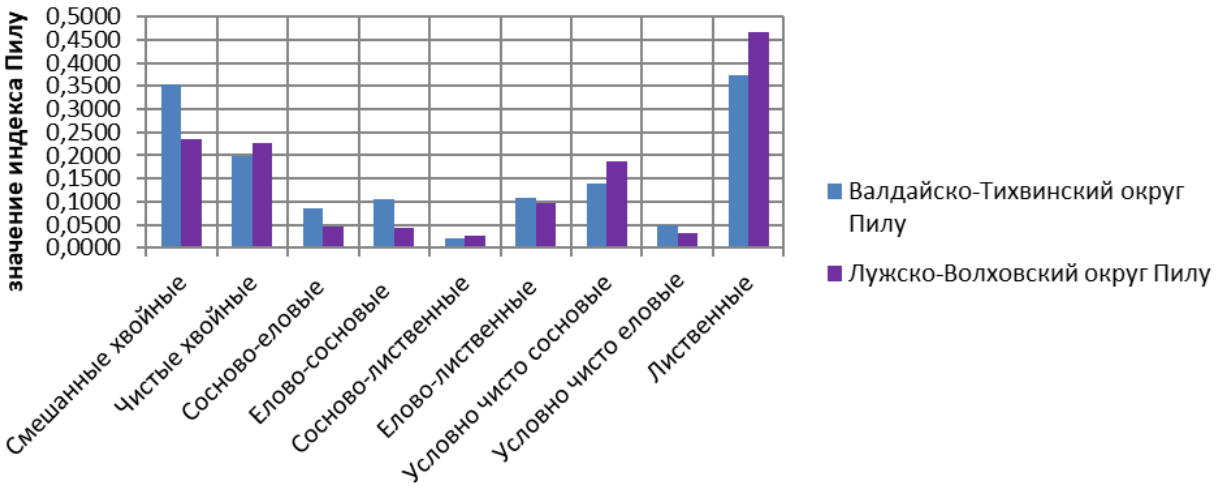


Рис. 13. Сравнение значений индекса Пиелу для двух округов.

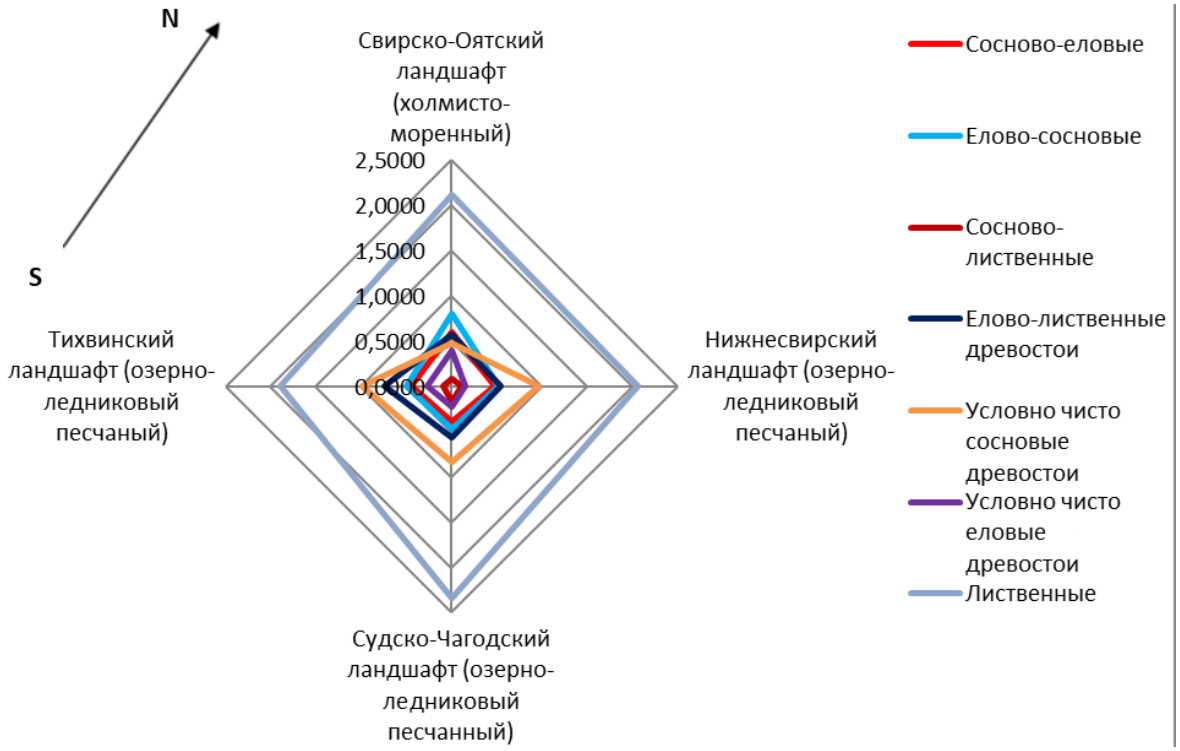


Рис. 14. Значения индекса Шеннона для ландшафтов Валдайско-Тихвинского округа.

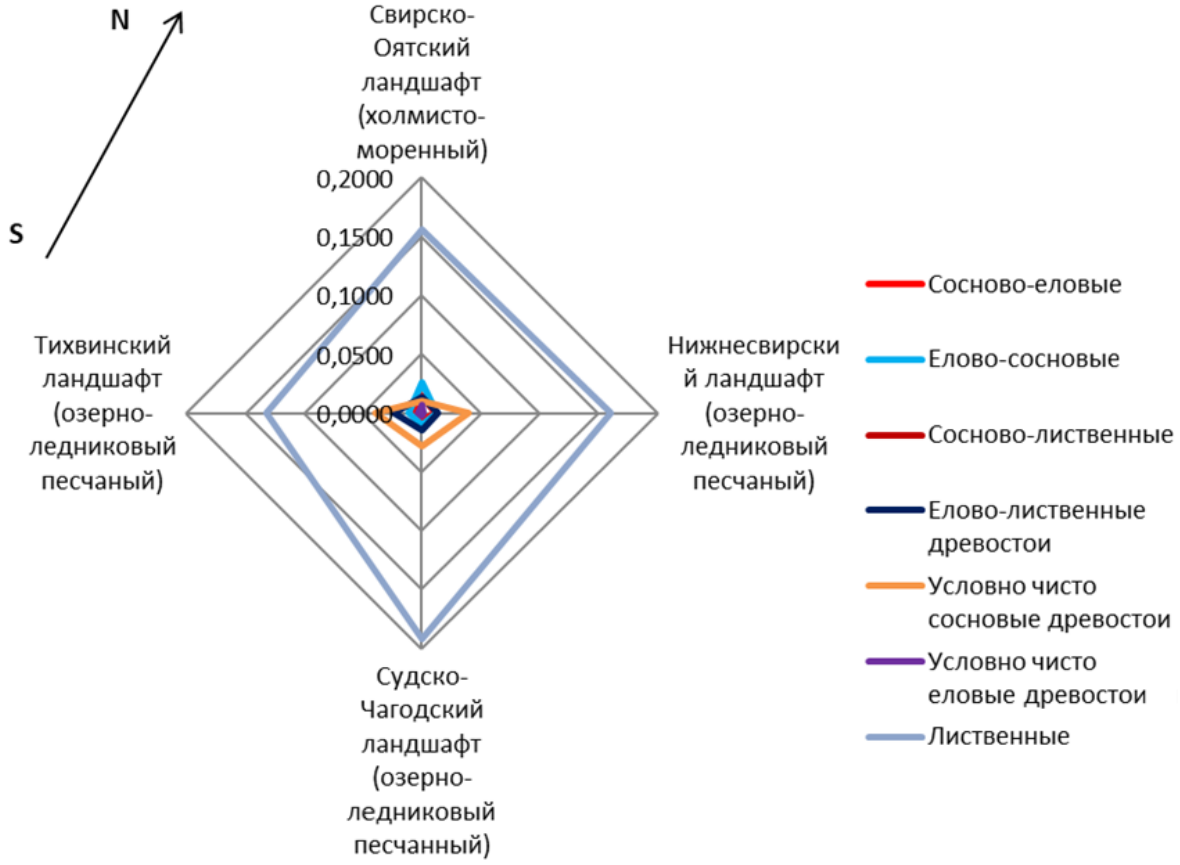


Рис. 15. Значения индекса Симпсона для ландшафтов Валдайско-Тихвинского округа.

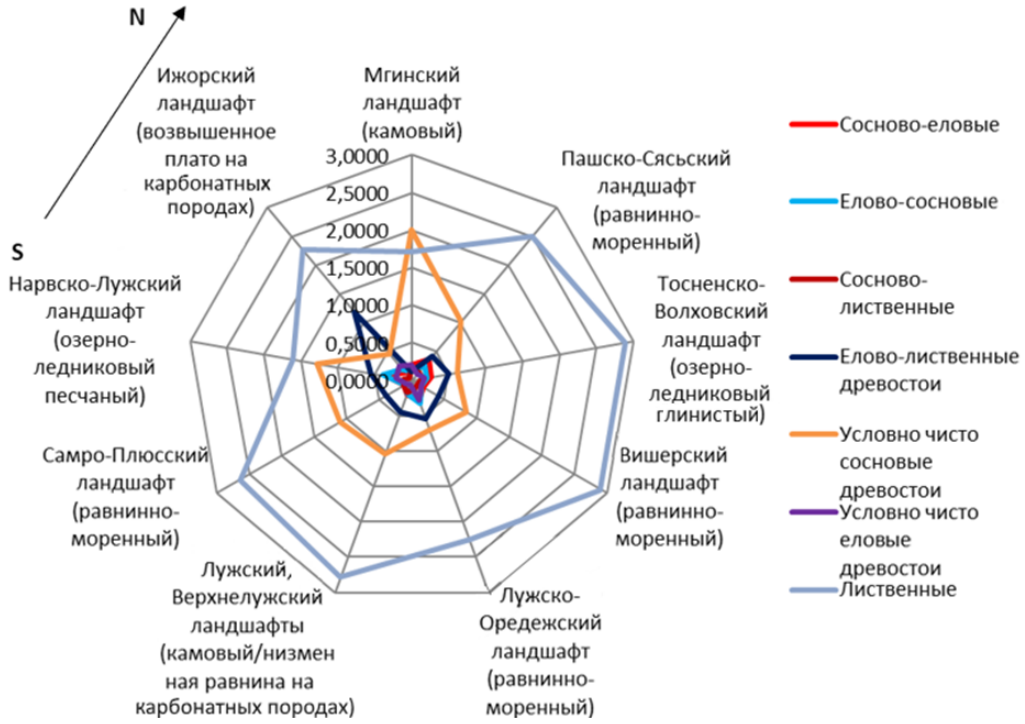


Рис. 16. Значения индекса Шеннона для ландшафтов Лужско-Волховского округа.

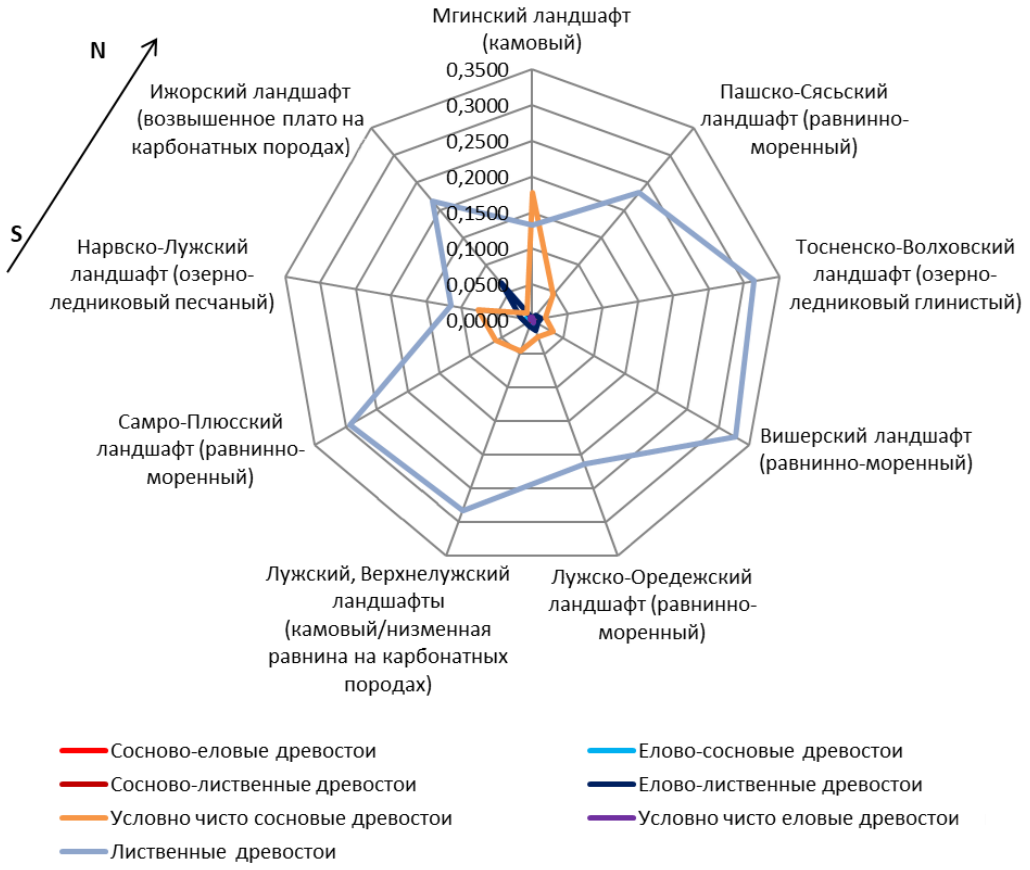


Рис. 17. Значения индекса Симпсона для ландшафтов Лужско-Волховского округа.

Моделирование динамики изменения породного состава на территории Валдайско-Тихвинского и Лужско-Волховского ландшафтных округов по методу Марковских цепей показало вероятностное направление сукцессионных процессов в смешанных хвойных древостоях (Рис. 18, 19). Однако стоит отметить принятые допущения при составлении прогнозной модели:

– суммарная площадь смешанных древостоев сосны и ели была принята как неизменяемая;

– не учитывались переходы из смешанных древостоев в чистые или лиственные и наоборот;

– Марковские цепи строились для насаждений зеленомошной группы типов леса, так как переходы между типами леса происходят крайне редко.

На территории Валдайско-Тихвинского ландшафтного округа в настоящий момент набольшую площадь среди смешанных древостоев занимают елово-лиственные, чуть меньшую – елово-сосновые. Елово-лиственные древостои преобладают в древостоях возраста до 20 лет, а елово-сосновые – в спелых и перестойных древостоях (Рис. 18). Согласно прогнозной модели, со временем площадь елово-лиственных и елово-сосновых насаждений будет увеличиваться. Также присутствует тенденция к увеличению площади спелых и перестойных древостоев. Через сто лет максимальная площадь сохранится у елово-лиственных древостоев, а минимальную будут занимать сосново-лиственные насаждения.

В Лужско-Волховском ландшафтном округе наибольшая площадь среди смешеанных древостоев также принадлежит елово-лиственным; все остальные занимают значительно меньшие площади. В древостоях до 20 лет преобладают елово-лиственные древостои, во всех остальных возрастных группах – сосново-еловые (Рис. 19). В данном ландшафтном округе также наблюдается тенденция к увеличению со временем площади спелых и перестойных древостоев, которая через сто лет приведет к их полному доминированию. В отличие от Валдайско-Тихвинского округа, в Ладожско-Волховском округе также будет увеличиваться площадь насаждений с участием в составе сосны; таким образом, через сто лет второе место по величине занятой площади будет отведено сосново-еловым древостоям.

Заключение

Проведенное исследование показало, что в зависимости от ландшафтных условий формируются различные по составу смешанные насаждения ели и сосны. На пространственное размещение смешанных древостоев по ландшафтным группам наибольшее влияние имеют почвенно-гидрологические условия. В ландшафтах холмисто- и равнинно-моренной группы с более богатыми суглинистыми почвами площадь смешанных древостоев заметно выше, чем в камовых и озерно-ледниковых песчаных с песчаными почвами, где преобладают чистые сосняки.

В ландшафтах с самыми богатыми карбонатными почвами доминируют лиственные древостои. Их общее преобладание вляется откликом на интенсивное антропогенное воздействие, так как после проведения сплошных рубок на богатых по почвенному плодородию участках естественное восстановление происходит в основном за счет мелколиственных пород.

Смешанные древостои с преобладанием сосны и ели отмечаются во всех ландшафтных округах и районах. Однако соотношение сосново-еловых, елово-сосновых, древостоев сосны и ели с лиственными породами, а также условно чистых еловых и сосновых древостоев различно и приурочено к ландшафтным условиям района и, как следствие, округа. Преобладание в ландшафтных районах той или иной смешанной древесной формации позволяет определить наиболее продуктивные по составу древостои. Многовидовые хвойные насаждения более продуктивны по сравнению с чистыми по составу древостоями; благодаря этому возможно направить ведение лесного хозяйства на формирование и эксплуатацию смешанных древостоев в определенных группах ландшафта.

Планирование использования лесов на ландшафтной основе с учетом оптимального способа и режима рубок спелых и перестойных насаждений дает возможность постоянно и неистощительно пользоваться лесным участком и формировать древостои с высокими таксационными показателями, что позволяет получить максимальный выход запаса древостоев с хорошей товарной структурой. Кроме того, появляется возможность регулирования хода роста дендроценозов в нужном для лесного хозяйства направлении. В свою очередь, моделирование сукцессионных преобразований на ландшафтной основе позволит своевременно планировать и предотвращать нежелательную смену пород в региональном масштабе.

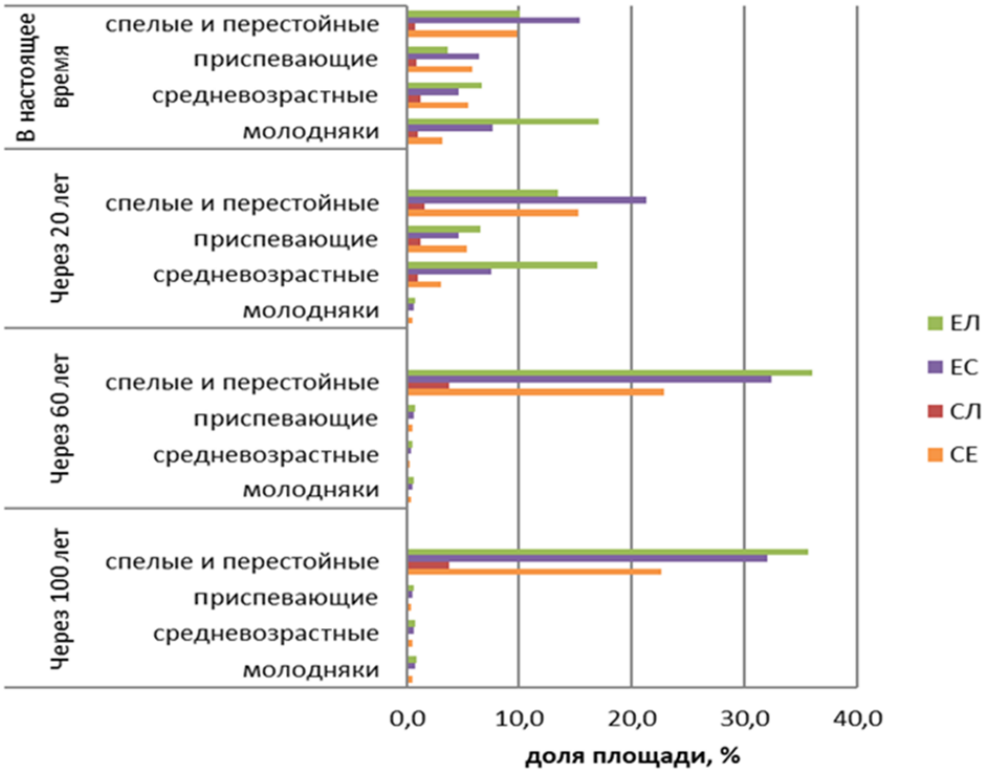


Рис. 18. Прогнозируемое изменение площадей смешанных древостоев в Валдайско-Тихвинском округе за сто лет.

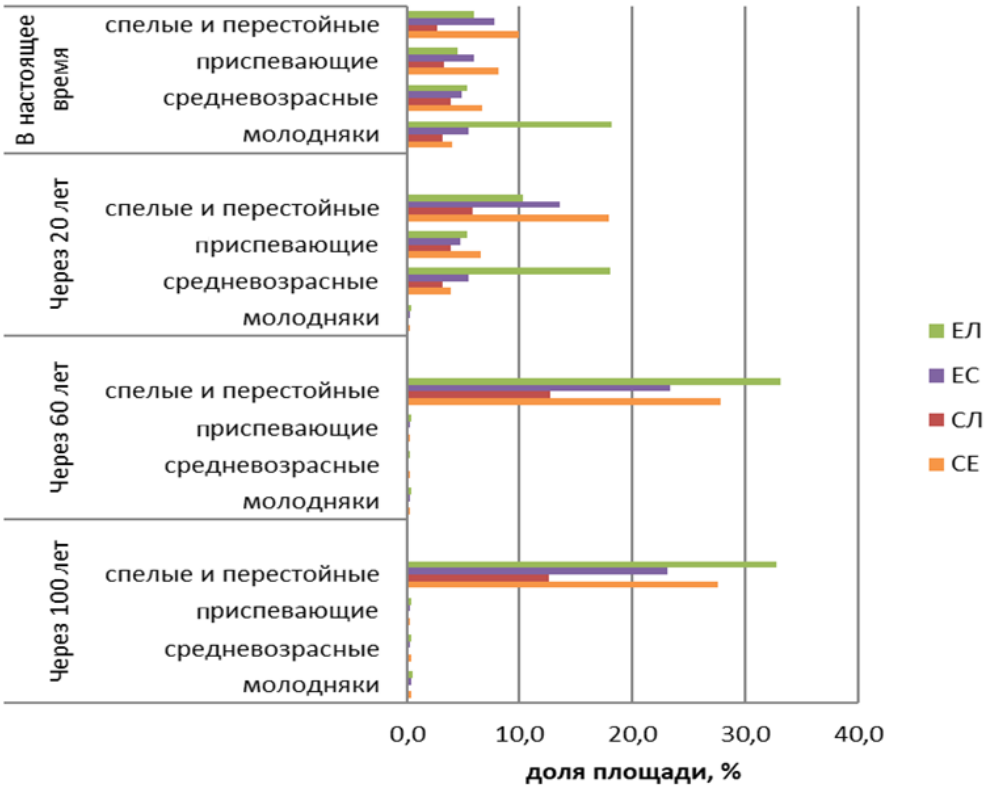


Рис. 19. Прогнозируемое изменение площадей смешанных древостоев в Лужско-Волховском округе за сто лет.

Список литературы

Административно-территориальное деление Ленинградской области, 1997. Комитет по вопросам государственной службы и местного самоуправления при Губернаторе Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия,199 с.

Беляева, Н.В., Данилов, Д.А., Кази, И.А., 2020. Оценка размещения подроста на вырубках и под пологом материнского древостоя для прогноза развития лесного фитоценоза. *Материалы пятой научно-технической конференции-вебинара «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*. Санкт-Петербург, Россия, 309 с.

Благовидов, Н.Л., 1946. Почвы ленинградской области. Лениздат, Ленинград, СССР, 144 с.

Викторов, А.С., 1986. Рисунок ландшафта. Мысль, Москва, СССР, 179 с.

Данилов, Д.А., Яковлев, А.А., 2020. Особенности размещения смешанных древостоев сосны и ели в ландшафтных округах Ленинградской области. *Материалы пятой научно-технической конференции-вебинара «Леса России: политика, промышленность, наука, образование».* Санкт-Петербург, Россия, 85–88.

Данилов, Д.А., Яковлев, А.А., 2021. Особенности распространения смешанных хвойных древостоев в Лужско-Волховском ландшафтном округе. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии* **234**, 80–101. https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.234.80-101

Данилов, Д.А., Беляева, Н.В., Грязькин, А.В., 2018. Особенности формирования запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения. *Лесной журнал* **2**, 40–48.

Исаченко, А.Г., 1994. Ландшафтное районирование и типология ландшафтов Ленинградской области. В: Шутова, И.В. (ред.), *Общие принципы стратегии лесопользования и лесовыращивания на ландшафтно-типологической основе.* НИИ лесного хозяйства, Санкт-Петербург, Россия, 11–25.

Исаченко, А.Г., Дашкевич, З.В., Карноухова, Е.В., 1965. Физико-географическое районирование Северо-Запада СССР. ЛГУ, Ленинград, СССР, 250 с.

Исаченко, Г.А. Волкова, Е.А., Резников, А.И., Храмцов, В.Н., 2010. Многолетняя динамика ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России: результаты полевых исследований. *Материалы Всероссийской научной конференции «Пространственная организация, функционирование, динамика и эволюция природных, природно-антропогенных и общественных географических систем*. Киров, Россия, 57–62.

Машовец, В.И., Зубков, А.И., Дуров, А.Г., 1967. Атлас Ленинградской области. ГУиК при Совмин СССР, Москва, СССР, 82 с.

Морозов, Г.Ф., 1913. Исследование лесов Воронежской губернии. *Лесной журнал* **3–4**, 463–481.

Мэгарран, Э., 1992. Экорлогическое разнообразие и его измерение. Мир, Москва, Россия, 162 с.

Нешатаев, В.Ю., 2002. Модель динамики разнообразия растительности Верхне-Тазовского заповедника под влиянием лесных пожаров. *Вестник Томского государственного университета*, 177–182.

Пестряков, В.К., 1973. Почвы Ленинградской области. Лениздат, Ленинград, СССР, 342 с.

Состояние окружающей среды в Ленинградской области, 2018. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия, 372 с.

Сукачев, В.Н., Зонн, С.В., Мотовилов, Г.П., 1957. Методические указания к изучению типов леса. Академия наук СССР, Москва, СССР, 116 с.

Третьяков, С.В., 2007. Прирост сосны и ели в смешенных древостоях средней подзоны тайги Европейского Севера России, затронутых хозяйственной деятельностью. *Вестник МГУЛ - Лесной вестник* **5** (54), 65–75.

Федорчук, В.Н., Нешатаев, В.Ю., Кузнецова, М.Л., 2005. Лесные экосистемы северо-западных районов России: Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПбНИИЛХ, Санкт-Петербург, Россия, 382 с.

Чертов, О.Г., 1981. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Наука, Ленинград, СССР, 192 с.

Шутов, И.В., 1994. Общие принципы стратегии лесопользования и лесовыращивания на ландшафтно-типологической основе. СПбНИИЛХ, Санкт-Петербург, Россия, 136 с.

Яковлев, А.А., 2024. Влияние почвенных условий на формирование растительных сообществ на постагрогенных и лесных землях (на примере Ленинградской области). *Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук.* Санкт-Петербург, Россия, 354 с.

Яковлев, А.А., Данилов, Д.А., 2018. Ландшафтные особенности формирования смешанных древостоев сосны и ели в зеленомошной группе типов леса северо-востока Ленинградской области. *Актуальные проблемы лесного комплекса* **53**, 47–51.

Яковлев, А.А., Данилов, Д.А., 2019. Ландшафтные особенности таксационных показателей смешанных древостоев сосны и ели в зеленомошной группе типов леса Северо-Востока Ленинградской области. *Материалы IV научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*. Санкт-Петербург, Россия, 198–201.

Agresti, A., 2007. Introduction to categorical data analysis. John Wiley and Sons, New York, USA, 400 p.

Angeistam, P., Kuuluvainen, T., 2004. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletin* **51**, 117–136.

Burton, M.L., Samuelson, L.J., 2008. Influence of urbanization on riparian forest diversity and structure in the Georgia Piedmont. *Plant Ecology* **195** (1), 99–115.

Cumming, G.S., 2011. Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience, and sustainability. *Landscape Ecology* **26** (7), 899–909. https://doi.org/10.1007/s10980-011-9623-1

Estreguil C., Mouton C., 2009. Measuring and reporting on forest landscape pattern, fragmentation and connectivity in Europe: methods and indicators. OPOCE*,* Luxembourg, 65 p.

Etheridge, D.A., 2006. Effects of intensive forest management on stand and landscape characteristicsin northern New Brunswick, Canada (1945–2027). *Landscape Ecology* **21**, 509–524.

Farina, A., 1998. Principles and methods in landscape ecology. Chapman & Hall, London, UK, 235 p.

Felton, A., Petersson, L., Nilson, O., 2020. The tree species matters: Biodiversity and ecosystem service implications of replacing Scots pine production stands with Norway spruce. *Ambio* **49**, 1035–1049. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01259-x

Folke, C., 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* **16** (3), 253–267.

Gardener, M., 2017. Statistics for ecologists using R and Excel. Pelagic Publishing, London, UK, 406 p.

Gromtsev, A.N., 1988. Retrospective analysis of humanninduced dynamics in the forests of Southern Karelia during 1840–1980. *Lesnoy zhurnal* **4**, 125–127.

Gromtsev, A.N., 1990. Humanninduced forest successions in the middle taiga landscapes of Karelia. *Lesovedenie* **5**, 3–12.

Gromtsev, A.N., 2000. Landscape ecology of taiga forests: theory and practice. Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia, 144 p.

Gromtsev, A., 2002. Natural disturbance dynamics in the boreal forests of European Russia. *Silva Fennica* **36** (1), 41–55.

Gromtsev, A.N., 2015. Forests and their multi-purpose use in the north-west of the European part of the taiga zone of Russia. Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia, 190 p.

Hernández-Stefanoni, J.L., Dupuy, J.M., 2008. Effects of landscape patterns on species density and abundance of trees in a tropical subdeciduous forest of the Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management* **255** (11), 3797–3805.

Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **4** (1), 1–23.

Honnay, O., Piessens, K., Landuyt, W., Hermy, M., 2003. Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity. *Landscape and Urban Planning* **63** (4), 241–250.

Liebhold, A.M., Gurevitch, J., 2002. Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology. *Ecography* **25** (5), 553–557.

Lindenmayer, D.B., 2002. On the use of landscape surrogates as ecological indicators in fragmented forests. *Forest Ecology and Management* **159**, 203–216.

Mina, M., Huber, M.O., Forrester, D.I., Thürig, E., Rohner, B., 2018. Multiple factors modulate tree growth complementarity in Central European mixed forests. *British Ecological Society. Journal of Ecology* **106**, 1106–1119. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12846

Moser, D., Zechmeister, H.G., Plutzar, C., Sauberer, N., 2002. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscape. *Landscape Ecology* **17** (7), 657–669. DOI:10.1023/A:1021513729205

Perry, J.N., Liebhold, A., Rosenberg, M.S., Dungan, J.L., 2002. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography* **25** (5), 578–600. DOI:10.1034/j.1600-0587.2002.250507.x

Popov, S., 2017. Structure and features of spatial distribution of pine forests in the Pinega State Nature Reserve. *Nature Conservation Research* **2** (1), 40–56. https://doi.org/10.24189/ncr.2017.055

Qiu, J., Game, E., Tallis, H., Olander, L.P., 2018. Evidence-based causal chains for linking health, development, and conservation actions. *Bioscience* **68** (3), 182–193.

Rautiainen, A., Virtanen, T., Kauppi, P.E., 2016. Land cover change on the isthmus of Karelia 1939–2005: agricultural abandonment and natural succession. *Environmental Science & Policy* **55** (1), 127–134. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.09.011

Tikhonova, E., Tikhonov, G., Shevchenko, N., Knyazeva, S., 2017. Tree diversity patterns along the latitudinal gradient in the northwestern Russia. *Forest Ecosystems* **4**, 27. https://doi.org/10.1186/s40663-017-0114-y

Turner, M.G., 2005. Landscape ecology in North America: past, present, and future. *Ecology* **86** (8), 1967–1974. https://doi.org/10.1890/04-0890

Uuttera, J., Maltamo, M., Kurki, S., Mykrä, S., 2004. Differences in forest structure and landscape patterns between ownership groups in Central Finland. *Boreal Environment Research* **3**, 191–200.

Yaroshenko, A.Y., Potapov, P.V., Turubanova, S.A., 2001. The last intact forest landscapes of northern European Russia. Greenpeace Russia, Moskow, Russia, 75 p.

References

Agresti, A., 2007. Introduction to categorical data analysis. John Wiley and Sons, New York, USA, 400 p.

Administrativno-territorial'noye deleniye Leningradskoy oblasti [Administrative-territorial division of Leningrad Region], 1997. Committee on Civil Service and Local Self-Government under the Governor of Leningrad Region, Saint Petersburg, Russia, 199 p. (In Russian).

Angeistam, P., Kuuluvainen, T., 2004. Boreal forest disturbance regimes, successional dynamics and landscape structures – a European perspective. *Ecological Bulletin* **51**, 117–136.

Belyayeva, N.V., Danilov, D.A. and Kazi, I.A., 2020. Otsenka razmeshcheniya podrosta na vyrubkakh i pod pologom materinskogo drevostoya dlya prognoza razvitiya lesnogo fitotsenoza [Assessment of undergrowth placement on clearcuts and under the canopy of parent stand for forecast of forest phytocenosis development]. *Materialy pyatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-vebinara «Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye» [Proceedings of the fifth scientific and technical conference-webinar "Forests of Russia: policy, industry, science, education"].* Saint Petersburg, Russia, 309. (In Russian).

Blagovidov, N.L., 1946. Pochvy leningradskoy oblasti [Soils of Leningrad Region]. Lenizdat, Leningrad, USSR, 144 p. (In Russian).

Burton, M.L., Samuelson, L.J., 2008. Influence of urbanization on riparian forest diversity and structure in the Georgia Piedmont. *Plant Ecology* **195** (1), 99–115.

Chertov, O.G., 1981. Ekologiya lesnykh zemel' (pochvenno-ekologicheskoye issledovaniye lesnykh mestoobitaniy) [Ecology of forest lands (soil-ecological study of forest habitats)]. Nauka, Leningrad, USSR, 192 p. (In Russian).

Cumming, G.S., 2011. Spatial resilience: integrating landscape ecology, resilience, and sustainability. *Landscape Ecology* **26** (7), 899–909. https://doi.org/10.1007/s10980-011-9623-1

Danilov, D.A., Yakovlev, A.A., 2020. Osobennosti razmeshcheniya smeshannykh drevostoyev sosny i yeli v landshaftnykh okrugakh Leningradskoy oblasti [Peculiarities of mixed pine and spruce stands placement in landscape districts of Leningrad Region]. *Materialy Vserossiyskoy V nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-vebinara "Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye" [Proceedings of the All-Russian V scientific and technical conference-webinar "Forests of Russia: policy, industry, science, education"].* Saint Petersburg, Russia, 85–88. (In Russian).

Danilov, D.A., Yakovlev, A.A., 2021. Osobennosti rasprostraneniya smeshannykh khvoynykh drevostoyev v Luzhsko-Volkhovskom landshaftnom okruge [Peculiarities of mixed coniferous stands distribution in Luga-Volkhov landscape district]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy*

akademii [Proceedings of the St. Petersburg Forest Technical Academy] **234**, 80–101. (In Russian). https://doi.org/10.21266/2079-4304.2021.234.80-101

Danilov, D.A., Belyayeva, N.V., Gryaz'kin, A.V., 2018. Osobennosti formirovaniya zapasa i tovarnoy struktury modal'nykh khvoynykh drevostoyev sosny i yeli k vozrastu spelogo nasazhdeniya [Features of stock formation and commercial structure of modal coniferous stands of pine and spruce by the age of mature stand]. *Lesnoy zhurnal [Forestry Journal]* **2**, 40–48. (In Russian).

Estreguil C., Mouton C., 2009. Measuring and reporting on forest landscape pattern, fragmentation and connectivity in Europe: methods and indicators. OPOCE*,* Luxembourg, 65 p.

Etheridge, D.A., 2006. Effects of intensive forest management on stand and landscape characteristicsin northern New Brunswick, Canada (1945–2027). *Landscape Ecology* **21**, 509–524.

Farina, A., 1998. Principles and methods in landscape ecology. Chapman & Hall, London, UK, 235 p.

Fedorchuk, V.N., Neshataev, V.Yu., Kuznetsova, M.L., 2005. Lesnyye ekosistemy severo-zapadnykh rayonov Rossii: Tipologiya, dinamika, khozyaystvennyye osobennosti [Forest ecosystems of northwestern regions of Russia: Typology, dynamics, economic features.] St. Petersburg Research Institute of Forestry, Saint Petersburg, Russia, 382 p. (In Russian).

Felton, A., Petersson, L., Nilson, O., 2020. The tree species matters: Biodiversity and ecosystem service implications of replacing Scots pine production stands with Norway spruce. *Ambio* **49**, 1035–1049. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01259-x

Folke, C., 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* **16** (3), 253–267.

Gardener, M., 2017. Statistics for ecologists using R and Excel. Pelagic Publishing, London, UK, 406 p.

Gromtsev, A.N., 1988. Retrospective analysis of humanninduced dynamics in the forests of Southern Karelia during 1840–1980. *Lesnoy zhurnal* **4**, 125–127.

Gromtsev, A.N., 1990. Humanninduced forest successions in the middle taiga landscapes of Karelia. *Lesovedenie* **5**, 3–12.

Gromtsev, A.N., 2000. Landscape ecology of taiga forests: theory and practice. Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia, 144 p.

Gromtsev, A., 2002. Natural disturbance dynamics in the boreal forests of European Russia. *Silva Fennica* **36** (1), 41–55.

Gromtsev, A.N., 2015. Forests and their multi-purpose use in the north-west of the European part of the taiga zone of Russia. Karelian Research Center of the RAS, Petrozavodsk, Russia, 190 p.

Hernández-Stefanoni, J.L., Dupuy, J.M., 2008. Effects of landscape patterns on species density and abundance of trees in a tropical subdeciduous forest of the Yucatan Peninsula. *Forest Ecology and Management* **255** (11), 3797–3805.

Holling, C.S., 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **4** (1), 1–23.

Honnay, O., Piessens, K., Landuyt, W., Hermy, M., 2003. Satellite based land use and landscape complexity indices as predictors for regional plant species diversity. *Landscape and Urban Planning* **63** (4), 241–250.

Isachenko, A.G., 1994. Landshaftnoye rayonirovaniye i tipologiya landshaftov Leningradskoy oblasti [Landscape zoning and typology of landscapes of Leningrad Region] . In: Shutova, I.V. (ed.), *Obshchiye printsipy strategii lesopol'zovaniya i lesovyrashchivaniya na landshaftno-tipologicheskoy osnove [General principles of forest management and forest growing strategy on landscape-typological basis].* Forestry Research Institute, Saint Petersburg, Russia, 11–25. (In Russian).

Isachenko, A.G., Dashkevich, Z.V., Karnoukhova, E.V., 1965. Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Severo-Zapada SSSR [Physical-geographical zoning of the North-West of

Isachenko, G.A., Volkova, E.A., Reznikov, A.I., Khramtsov, V.N., 2010. Mnogoletnyaya dinamika landshaftov taygi Severo-Zapada Yevropeyskoy Rossii: rezul'taty polevykh issledovaniy [Long-term dynamics of taiga landscapes of North-West European Russia: results of field studies]. *Materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii «Prostranstvennaya organizatsiya, funktsionirovaniye, dinamika i evolyutsiya prirodnykh, prirodno-antropogennykh i obshchestvennykh geograficheskikh system [Proceedings of the All-Russian scientific conference "Spatial organization, functioning, dynamics and evolution of natural, natural-anthropogenic and social geographical systems"].* Kirov, Russia, 57–62. (In Russian).

Liebhold, A.M., Gurevitch, J., 2002. Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology. *Ecography* **25** (5), 553–557.

Lindenmayer, D.B., 2002. On the use of landscape surrogates as ecological indicators in fragmented forests. *Forest Ecology and Management* **159**, 203–216.

Mashovets, V.I., Zubkov, A.I., Durov, A.G., 1967. Atlas Leningradskoy oblasti [Atlas of Leningrad Region]. Main Administration of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, Moscow, USSR, 82 p. (In Russian).

Megarran, E., 1992. Ekologicheskoye raznoobraziye i yego izmereniye [Ecological diversity and its measurement]. Mir, Moscow, Russia, 162 p. (In Russian).

Mina, M., Huber, M.O., Forrester, D.I., Thürig, E., Rohner, B., 2018. Multiple factors modulate tree growth complementarity in Central European mixed forests. *British Ecological Society. Journal of Ecology* **106**, 1106–1119. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12846

Morozov, G.F., 1913. Issledovaniye lesov Voronezhskoy gubernii [Study of forests of Voronezh province]. *Lesnoy zhurnal [Forestry Journal]* **3–4**, 463–481. (In Russian).

Neshataev, V.Yu., 2002. Model' dinamiki raznoobraziya rastitel'nosti Verkhne-Tazovskogo zapovednika pod vliyaniyem lesnykh pozharov [Model of vegetation diversity dynamics of Verkhne-Tazovsky Reserve under the influence of forest fires]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Tomsk State University],* 177–182. (In Russian).

Moser, D., Zechmeister, H.G., Plutzar, C., Sauberer, N., 2002. Landscape patch shape complexity as an effective measure for plant species richness in rural landscape. *Landscape Ecology* **17** (7), 657–669. DOI:10.1023/A:1021513729205

Perry, J.N., Liebhold, A., Rosenberg, M.S., Dungan, J.L., 2002. Illustrations and guidelines for selecting statistical methods for quantifying spatial pattern in ecological data. *Ecography* **25** (5), 578–600. DOI:10.1034/j.1600-0587.2002.250507.x

Pestryakov, V.K., 1973. Pochvy Leningradskoy oblasti [Soils of Leningrad Region]. Lenizdat, Leningrad, USSR, 342 p. (In Russian).

Popov, S., 2017. Structure and features of spatial distribution of pine forests in the Pinega State Nature Reserve. *Nature Conservation Research* **2** (1), 40–56. https://doi.org/10.24189/ncr.2017.055

Qiu, J., Game, E., Tallis, H., Olander, L.P., 2018. Evidence-based causal chains for linking health, development, and conservation actions. *Bioscience* **68** (3), 182–193.

Rautiainen, A., Virtanen, T., Kauppi, P.E., 2016. Land cover change on the isthmus of Karelia 1939–2005: agricultural abandonment and natural succession. *Environmental Science & Policy* **55** (1), 127–134. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.09.011

Shutov, I.V., 1994. Obshchiye printsipy strategii lesopol'zovaniya i lesovyrashchivaniya na landshaftno-tipologicheskoy osnove [General principles of forest management and forest growing strategy on landscape-typological basis]. St. Petersburg Research Institute of Forestry, Saint Petersburg, Russia, 136 p. (In Russian).

Sukachev, V.N., Zonn, S.V., Motovilov, G.P., 1957. Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu tipov lesa [Methodological instructions for studying forest types]. USSR Academy of Sciences, Moscow, USSR, 116 p. (In Russian).

Tikhonova, E., Tikhonov, G., Shevchenko, N., Knyazeva, S., 2017. Tree diversity patterns along the latitudinal gradient in the northwestern Russia. *Forest Ecosystems* **4**, 27. https://doi.org/10.1186/s40663-017-0114-y

Tret'yakov, S.V., 2007. Prirost sosny i yeli v smeshennykh drevostoyakh sredney podzony taygi Yevropeyskogo Severa Rossii, zatronutykh khozyaystvennoy deyatel'nost'yu [Increment of pine and spruce in mixed stands of the middle taiga subzone of the European North of Russia affected by economic activity]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik [Bulletin of Moscow State Forest University – Forestry Bulletin]* **5** (54), 65–75. (In Russian).

Turner, M.G., 2005. Landscape ecology in North America: past, present, and future. *Ecology* **86** (8), 1967–1974. https://doi.org/10.1890/04-0890

Uuttera, J., Maltamo, M., Kurki, S., Mykrä, S., 2004. Differences in forest structure and landscape patterns between ownership groups in Central Finland. *Boreal Environment Research* **3**, 191–200.

Viktorov, A.S., 1986. Risunok landshafta [Landscape pattern]. Mysl', Moscow, USSR, 179 p. (In Russian).

Yakovlev, A.A., 2024. Vliyaniye pochvennykh usloviy na formirovaniye rastitel'nykh soobshchestv na postagrogennykh i lesnykh zemlyakh (na primere Leningradskoy oblasti) [Influence of soil conditions on the formation of plant communities on post-agrogenic and forest lands (on the example of Leningrad Region)]. *PhD in Agricultural Sciences thesis.* Saint Petersburg, Russia, 354 p. (In Russian).

Yakovlev, A.A., Danilov, D.A., 2018. Landshaftnyye osobennosti formirovaniya smeshannykh drevostoyev sosny i yeli v zelenomoshnoy gruppe tipov lesa severo-vostoka Leningradskoy oblasti [Landscape features of formation of mixed pine and spruce stands in the green moss forest type group of the north-east of Leningrad Region]. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa [Current Problems Of the Forest Complex]* **53**, 47–51. (In Russian).

Yakovlev, A.A., Danilov, D.A., 2019. Landshaftnyye osobennosti taksatsionnykh pokazateley smeshannykh drevostoyev sosny i yeli v zelenomoshnoy gruppe tipov lesa Severo-Vostoka Leningradskoy oblasti [Landscape features of forest inventory indicators of mixed pine and spruce stands in the green moss forest type group of the North-East of Leningrad Region]. *Materialy IV nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye" [Proceedings of the IV scientific and technical conference "Forests of Russia: policy, industry, science, education"].* Saint Petersburg, Russia, 198–201. (In Russian).

Yaroshenko, A.Y., Potapov, P.V., Turubanova, S.A., 2001. The last intact forest landscapes of northern European Russia. Greenpeace Russia, Moskow, Russia, 75 p.