

ISSN 0024-1148

Номер 3

Май-Июнь 2024



ЛЕСОВЕДЕНИЕ



НАУКА

— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 3, 2024

Оригинальные статьи

- Анализ сопряженности древесных пород и типов лесорастительных условий с гранулометрическим составом почвообразующих пород в Лисинском лесничестве Ленинградской области
В. Ю. Нешатаев, С. В. Тетюхин 223
- Распределение подроста ели обыкновенной в коренных среднетаежных ельниках
А. В. Кикеева, И. В. Ромашкин, А. М. Крышень 233
- Отпад деревьев в осушенных сосняках кустарничково-сфагновых после торфяного пожара
М. В. Покоева, Т. В. Глухова, А. А. Сири 247
- Депонирование углерода и продуцирование кислорода в культурах дуба Майкопского лесничества Республики Адыгея
Е. Н. Штепа, С. С. Шешницан, В. Ю. Кулаков 255
- Флора лесополос с березой повислой в окрестностях города Уфы
Л. М. Ишбирдина, А. Ш. Тимерьянов, Г. Е. Одинцов, А. А. Габитова 265
- Связь химического состава листьев березы повислой с жизненным состоянием древостоя в градиенте загрязнения комбината «Карабашмедь»
В. Д. Горбунова, С. Л. Менщиков 275
-

Из истории лесной науки

- История лесоклиматических проектов в России
Д. Г. Замолодчиков 285
-

Хроника

- X Всероссийская научная конференция с международным участием «Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения»
С. Г. Новиков, М. В. Медведева, А. К. Сараева, А. В. Мамай 291
-
-

CONTENTS

No. 3, 2024

Original Articles

- The Analyses of Relationship Between Tree Species, Types of Forest Conditions and Granulometric Composition of Soil-Forming Deposits in the Lisinskoe Forestry of the Leningrad Region
V. Yu. Neshatayev, S. V. Tetyukhin 223
- Distribution of European Spruce in Undergrowth of Mid-Boreal Spruce Stands
A. V. Kikeeva, I. V. Romashkin, A. M. Kryshen 233
- Forest Stands' Die-Off After a Peat Fire in Drained Sphagnum-Fructiculose Pine Forests
M. V. Pokoeva, T. V. Glukhova, A. A. Sirin 247
- Carbon Depositing and Oxygen Emission in Artificial Oak Stands of Maykop Forestry District of the Adygea Republic
E. N. Shtepa, S. S. Sheshnitsan, V. Yu. Kulakov 255
- The Flora of Silver Birch Shelter Belts in the Vicinity of the Ufa City
L. M. Ishbirdina, A. Sh. Timer'yanov, G. E. Odintsov, A. A. Gabitova 265
- The Relationship Between Chemical Composition of Silver Birch Leaves and the Forest Stand's Vital State on the Pollution Gradient of the Karabashmed JSC
V. D. Gorbunova, S. L. Menshchikov 275
-

Annals of Forest Science

- History of Forest Climate Projects in Russia
D. G. Zamolodchikov 285
-

News

- 10th All-Russian Scientific Conference with International Participation "Relevant Issues in Theory and Practice of Forest Soil Science"
S. G. Novikov, M. V. Medvedeva, A. K. Saraeva, A. B. Mamay 291
-
-

УДК 630*181

АНАЛИЗ СОПРЯЖЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД И ТИПОВ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ С ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД В ЛИСИНСКОМ ЛЕСНИЧЕСТВЕ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. В. Ю. Нешатаев^{1,*}, С. В. Тетюхин¹

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, 194021, Россия

* E-mail: vn1872@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.11.2021

После доработки 06.02.2024

Принята к публикации 12.04.2024

Анализ литературы показал, что исследования связи преобладающих древесных пород с гранулометрическим составом почв на основе статистического анализа количественных данных малочисленны, а полученные на ограниченных данных результаты требуют проверки на более обширном экспериментальном материале. Цель работы — выявить связь преобладающих древесных пород с песками и глинами на материале массовых лесотаксационных данных и данных картографирования четвертичных почвообразующих пород.

Основные задачи исследования:

- 1) разработка геоинформационной системы, включающей векторные карты с электронной лесотаксационной информацией и векторную тематическую карту поверхностных четвертичных отложений;
- 2) статистический анализ сопряженности преобладающих пород, типов лесорастительных условий (ЛРУ) и видов четвертичных отложений.

Установлено (хи-квадрат, мера Дайса, относительный риск), что черничная группа типов ЛРУ чаще представлена на песках, чем на глинках, а кисличная группа, наоборот, чаще на глинках, чем на песках. Подтвердилась гипотеза о том, что в условиях зеленомошной группы типов ЛРУ (кисличных и черничных) осина (*Populus tremula* L.) предпочитает глинистые почвы, а береза (*Betula*) — песчаные. Широко распространенные представления о связи сосняков с песчаными, а ельников с глинистыми почвами не подтвердились для зеленомошной группы типов ЛРУ на уровне значимости 0.05.

Ключевые слова: ГИС, карта четвертичных отложений, электронные базы данных лесоустройства, преобладающая порода, кисличный, черничный тип лесорастительных условий, тип леса, глины, пески

DOI: 10.31857/S0024114824030019, EDN: PEOZVE

Связь состава насаждений и гранулометрического состава почв давно привлекала внимание лесоводов, лесотипологов и фитоценологов (Кравчинский, 1912; Крюденер, 1916; Сукачев, 1934; Погребняк, 1955; Благовидов, Бурков, 1957; Морозов, 1970; Чертов, 1981; Федорчук и др., 2005; Березин, Карпачевский, 2009; Нешатаев, 2012; Ставрова и др., 2015; Маркин, Маркина, 2017; Lukina et al., 2019; и др.).

Особый интерес представляют взаимоотношения сосны (*Pinus sylvestris* L.) и ели (*Picea abies* (L.) N. Karst) в зависимости от принадлежности почв к подразделениям по гранулометрическому составу. В России общепринято подразделение почв с учетом гранулометрического состава по Н.А. Качинскому (Березин, Карпачевский, 2009; Шеин, 2009), что нашло свое отражение в книге «Классификация и диагностика почв России»

(2004), где предложено разделять почвы по гранулометрическому составу на шесть разновидностей: песчаные, супесчаные, легкосуглинистые, среднесуглинистые, тяжелосуглинистые, глинистые. Точное определение гранулометрического состава почвы по содержанию первичных частиц различной крупности по фракциям, выраженное по отношению к их общей массе, — очень трудоемкий процесс (Шеин, 2009). В полевых условиях для этих целей используется «метод скатывания шнура» Н.А. Качинского, основанный на оценке пластичности почвенной массы при увлажнении ее до тестообразной консистенции. Согласно методу различают: песок (непластичная почва, скатать комок или шнур не получается); супесь, (очень слабoplastичная почва, скатывается в непрочный шарик, но не скатывается в шнур); легкий

суглинок (слабопластичная почва, скатывается в короткие толстые цилиндрики, колбаски, которые растрескиваются при сгибании); средний суглинок (среднепластичная почва, скатывается в шнур диаметром 2—3 мм, который легко ломается при дальнейшем скатывании или растрескивается при сгибании); суглинок тяжелый (очень пластичная почва, скатывается в тонкий, меньше 2 мм в диаметре шнур, который надламывается при сгибании его в кольцо диаметром 2—3 см); глина (высокопластичная почва, скатывается в длинный, тонкий, меньше 2 мм, шнур, который сгибается в кольцо диаметром 2—3 см без нарушения его цельности).

Большинство упомянутых выше исследователей указывают на то, что суходольные сосновые и еловые леса обычно занимают различные по гранулометрическому составу местообитания: ельники — глинистые, суглинистые почвы, сосняки — песчаные, но ель может произрастать и на песчаных почвах (Погребняк, 1955; Морозов, 1970; Федорчук и др., 2005). Так как ель, сравнительно с сосной, значительно более теневынослива, то она успешно растет под пологом сосны и постепенно вытесняет ее в условиях среднего увлажнения и почвенного богатства. Существование обширных сосновых лесов обычно объясняют лесными пожарами, которые уничтожают еловые леса, а в сосновых лесах обычно имеют характер низового пала. Известно также, что сосна лучше возобновляется на горячих и может рассматриваться как настоящий вид-пионер (Санников, 1992). При отсутствии пожаров сосновые леса в большей своей части сменяются еловыми и кедровыми в области их распространения (Гордягин, 1900; Погребняк, 1955).

Соотношение сосны и ели в Лисинской части учебно-опытного (УО) лесничества охарактеризовал Д. М. Кравчинский (1912). Он писал: «По природе леса Лисинскую дачу следовало бы назвать еловой дачей. Ельники произрастают у нас, на нашей ровной, холодной почве суглинистого типа на более возвышенных, наименее переполненных водой местах» (с. 695). Отметив, что «боровых» (т. е. песчаных сильно дренированных) местообитаний в Лисинской даче крайне мало, он продолжал: «Природные сосновые участки Лисинской дачи занимают более низкие мокрые болотные почвы... По характеру возобновления сосна, как строевая, так и дровяная, резко отличается от ели, она, как светолюбивая порода, отлично развивается на сплошных открытых вырубках» (с. 698).

Уже в начале 20 в. ученые-лесоводы убедительно доказали, что ель более требовательна, чем сосна, к почвенному плодородию, в меньшей степени устойчива к недостатку влаги в почве, в большей степени, чем сосна, изменяет фитосреду, обладая более высокой массой хвои и ее опадом, сильнее затеняет подпоговое пространство и больше задерживает кроной осадки (Морозов, 1970). Сосна — порода

светолюбивая, ель — теневыносливая, первая — быстрорастущая, вторая — медленно растущая, сосна более ветроустойчива, чем ель. Сосна нечувствительна к заморозкам в молодости, ель — чувствительна. Сосна может быть подгоном, ель — нет; сосна может быть пионером, ель — нет (Морозов, 1970).

В. Ю. Нешатаев (2012) на материале многолетних наблюдений на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в 1980-е гг. совместно с В. Н. Федорчуком, показал, что после рубки ельника черничного с участием сосны на нормально дренированных песках успешно возобновилась сосна, а в живом напочвенном покрове — лесные мхи-мезофиты, вереск (*Calluna vulgaris* (L.) Hill) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.). На ППП, заложенных на вырубках ельников черничных на нормально дренированных суглинках, возобновление хвойных пород было подавлено сильно разросшимися вейниками (*Calamagrostis arundinaceae* (L.) Roth, *C. epigeios* (L.) Roth.), малиной (*Rubus idaeus* L.), березой и осиной. В. Ю. Нешатаев (2012) объясняет такое расхождение не только различным составом древостоев до рубки, но и более сильным снижением почвенного богатства после рубки ельника черничного на песках, чем на суглинках. Как пишет В. Ю. Нешатаев (2012), ссылаясь на В. В. Пономареву (1964), в отличие от песков, суглинки и глины обладают очень важным свойством — чрезвычайно тонкой пористостью, вследствие которой они ведут себя как тонкомолекулярные сита, создающие сопротивление для прохождения через них растворов высокомолекулярных органических соединений. Кроме того, наименьшая влагоемкость суглинков значительно выше, чем песков (Роде, Смирнов, 1972), поэтому вынос питательных элементов при увеличении количества осадков, поступающих на вырубку, на песках выше, чем на суглинках. Почвенные частицы суглинков имеют более высокую площадь поверхности, обеспечивающую удержание коллоидов и воды в теле почвы. Вследствие этого в суглинистых почвах гумус накапливается в верхних горизонтах интенсивнее, чем в песчаных. Таким образом, суглинки в целом обладают большим плодородием, большей водоудерживающей способностью и более пригодны для ели, чем пески.

Следует признать, что исследования связи преобладающих древесных пород с гранулометрическим составом почв на основе статистического анализа количественных данных малочисленны, а полученные на ограниченных данных результаты требуют проверки на более обширном экспериментальном материале.

Большие возможности для такого анализа открылись в связи с созданием геоинформационной системы Лисинского УО (Тетюхин, Минаев, 2002; Тетюхин и др., 2018). Благодаря возможности совмещать и одновременно анализировать в многообразном сочетании данные дистанционного

зондирования и различные разновременные электронные тематические карты (общегеографические, геологические, почвенные, геоботанические, планы лесонасаждений и др.), можно говорить о новом использовании картографического метода. Приведенные материалы (Тетюхин и др., 2018) наглядно показывают, что изучение лесных экосистем, построенное на широкомасштабном применении разновременных электронных карт, позволяет намного эффективнее, чем обычными методами, решать многие научно-производственные задачи.

При анализе результатов исследований прошлых лет нами были выдвинуты следующие рабочие гипотезы:

1) черничная фитоценотическая группа типов ЛРУ чаще представлена на песках, чем на суглинках, а кисличная, наоборот, чаще на суглинках, чем на песках;

2) на песчаных почвах после рубок и пожаров хвойные имеют преимущество по сравнению с мягколиственными породами, в отличие от естественного возобновления на суглинках, в котором мягколиственные породы играют более значительную роль;

3) в условиях черничных типов леса на песчаных почвах сосна встречается чаще, чем ель, а в условиях черничной серии типов леса на глинистых почвах сосна встречается реже, чем ель;

4) в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ на песчаных почвах (черничных и кисличных) сосна встречается чаще, чем ель, а в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ (черничных и кисличных) на глинистых почвах сосна встречается реже и преобладает ель;

5) в условиях кисличных и черничных типов леса осина предпочитает суглинистые почвы, а береза — песчаные.

Цель настоящей работы — проверить выдвинутые гипотезы на материале массовых лесотаксационных данных, полученных в результате проведения лесоустроительных работ на территории Лисинской части УО лесничества Ленинградской области общей площадью 28361 га, и данных картографирования четвертичных почвообразующих пород.

Отметим, что прямое исследование факторов, определяющих распределение сосны и ели, таких как влажность, почвенное плодородие, температурный режим, давность рубки или пожара, наличие в окружении вырубок и гарей источников семян сосны и ели, в данной работе не изучали. Оно было заменено исследованием связи с типами почвообразующих пород, выделенных по различию гранулометрического состава и косвенно определяющих влажность и потенциальное плодородие почв.

В задачи исследования входили:

1) разработка геоинформационной системы (ГИС), включающей векторные карты с электронной лесотаксационной информацией (Проект... 2005) и векторную тематическую карту поверхностных четвертичных отложений;

2) анализ сопряженности преобладающих пород, типов ЛРУ и видов четвертичных отложений и статистическая проверка сформулированных рабочих гипотез.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Лисинская часть УО лесничества расположена в центральной части Ленинградской области, в Тосненском районе, в 60 км от центра Санкт-Петербурга. Все леса лесничества относятся к защитным, к категории ценные леса, к подкатегории леса, имеющие научное или историческое значение (Лесохозяйственный регламент... 2018).

По геоботаническому районированию объект исследования относится к полосе южной тайги Лужского округа Североевропейской таежной провинции (Александрова, Юрковская, 1989). В Лисинской части УО лесничества преобладают еловые леса (34%), на втором месте — сосняки (28%), на третьем — березняки (23%). Осинники занимают 14%, на остальные лесные формации приходится около 1% (Проект... 2005). Практически вся лесная растительность нормально дренированных местообитаний возникла на месте вырубок или гарей (200 лет... 1997). На нормально дренированных местообитаниях преобладают леса кисличной группы типов ЛРУ, обычны также леса черничной группы типов ЛРУ. На слабо и недостаточно дренированных местообитаниях произрастают сосняки сфагновые, леса долгомошно-сфагновой и болотнотравной групп типов ЛРУ. Часть ранее заболоченных земель осушена.

В анализе использованы данные 3651 выдела ельников, сосняков, березняков, осинников, в том числе 729 выделов (площадь 1091 га) на песках и супесях камов и озов, 2922 выдела (площадь 5825 га) на ленточных глинах. Все проанализированные выделы приурочены к нормально дренированным местообитаниям зеленомошной группы типов лесорастительных условий (ЛРУ), в том числе кисличные на глинах (КИСГ) и песках (КИСП) и черничные на глинах (ЧЕРГ) и песках (ЧЕРП). Типы ЛРУ даны в соответствии с разработками СПбНИИЛХ (Федорчук и др., 2005).

Методической основой в работе являлось использование массовых лесотаксационных данных, полученных в 2005 г. сотрудиниками Комплексной лесоустроительной экспедиции «Севзаплеспроект» (сейчас — филиал ФГБУ «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект») по 1 разряду лесоустройства глазомерно-измерительным методом с использованием

цветных спектрзональных аэрофотоснимков масштаба 1:10 000 (Тетюхин, 2004, Лесохозяйственный регламент... 2018). Базы лесоустроительных данных на объект исследования создавали путем конвертирования векторных карт и электронных повыделных лесотаксационных материалов из системы ЛУГИС (WinGIS — PLP) в форматы MapInfo Professional.

Таксационные выделы были совмещены с таксационными базами данных, оцифрованной картой четвертичных отложений масштаба 1:20 000, составленной в ходе лесоустроительных работ 1961 г. на базе геологической карты Б. Ф. Землякова (1928), уточненной А. И. Тимофеевым и С. Н. Савицкой (2009, 2011) по результатам почвенного картографирования Лисинской части УО лесничества.

Данные, представленные в виде слоев векторных карт, совмещенных с таксационными базами данных, позволили не только наиболее полно и точно охарактеризовать структуру земель лесного фонда объекта исследований (Тетюхин, Минаев, 2002), но и совместить данные повыделной таксации с картой четвертичных отложений и на этой основе построить сводные таблицы сопряженности.

Согласно детальным геологическим исследованиям, проведенным в 1920-х гг. под руководством Б. Ф. Землякова (1928) и позднее Н. Л. Благовидова, Г. Д. Буркова (1957), А. И. Тимофеева, С. Н. Савицкой (2009, 2011), территория Лисинской части УО лесничества представляет собой дно озерно-ледникового бассейна. В основу работы положена карта четвертичных отложений 1:56000, составленная Б. Ф. Земляковым (1928), позднее уточненная в ходе составления почвенной карты А. И. Тимофеевым и С. Н. Савицкой (2011). Оцифровка карты четвертичных отложений выполнена в полуавтоматическом режиме с помощью пакета MapInfo Professional (рис. 1). Согласно А. И. Тимофееву и С. Н. Савицкой (2009), 36.9% площади представлены в Лисинской части УО лесничества ленточными глинами, пески озера и камов (Савицкая и др., 2010) занимают 6.8% площади. Остальные почвообразующие породы представлены моренными суглинками — 37.3%, двучленными наносами (супесь, песок на суглинке) — 9.6%, аллювиальными супесями и суглинками — 0.5%, торфами — 8.9%. Характеристика гранулометрического состава основных почвообразующих пород приведена в табл. 1.

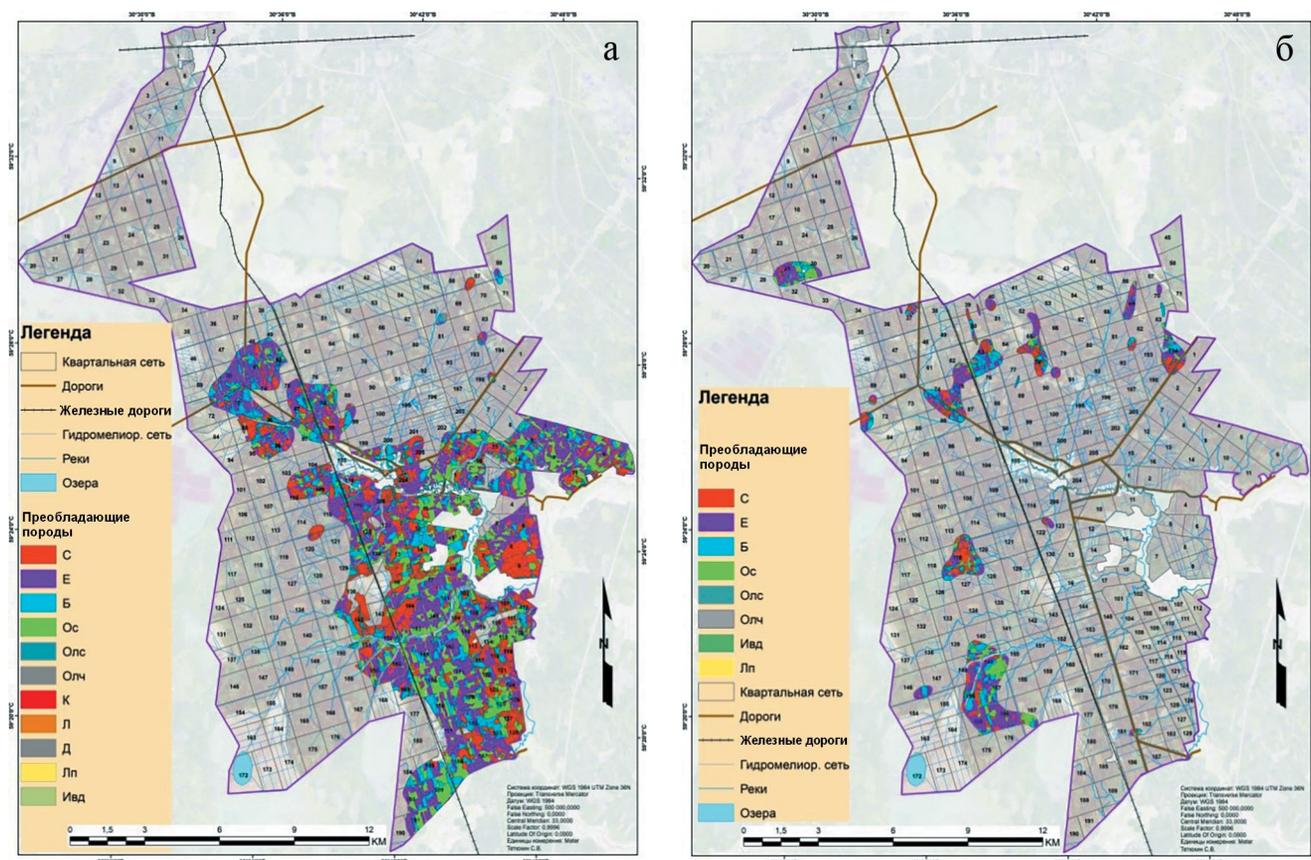


Рис. 1. Векторные карты пространственного расположения лесотаксационных выделов на ленточных глинах (а) и песках (б). Преобладающие породы: С — сосна, Е — ель, Б — береза, Ос — осина, Олс — ольха серая, Олч — ольха черная, К — кедр (лесные культуры), Л — лиственница (лесные культуры), Д — дуб, Лп — липа, Ивд — ивы древовидные.

Таблица 1. Содержание частиц различного размера в почвах Лисинской части УО лесничества, %

Почвообразующая порода (количество разрезов)	Размер частиц, мм					
	>3.0	3.0—1.0	1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	< 0.01
Ленточная глина (6)*	—	—	0.1—2.2	0.5—3.4	0.3—14.5	82.5—99.2
Пески озов (5)	0—40.0	0—43.3	7.2—84.6	0.5—25.8	0—6.4	0—5.5

* По А. И. Тимофееву, С. Н. Савицкой (2009).

С использованием программного комплекса ArcGIS производилось пространственное совмещение векторных слоев с лесотаксационными данными со слоями видов четвертичных отложений. Затем, после их объединения, рассчитывалась площадь вновь образованных лесотаксационных участков с дальнейшей конвертацией в систему управления базами данных Microsoft Access. Последующая математическая обработка результатов выборок производилась в MS-Excel.

Для сопоставления эмпирического распределения признака с теоретическим равномерным рассчитывали сопряженность и применяли критерий χ^2 Пирсона (Агишева и др., 2010) для четырехпольных таблиц вида (табл. 2).

Таблица 2. Общий вид четырехпольной таблицы частот

Влияющие факторы (группы)	Наблюдаемые исходы		Сумма по строкам
	1	2	
1	x_{11}	x_{12}	$x_{1.}$
2	x_{21}	x_{22}	$x_{2.}$
Сумма по столбцам	$x_{.1}$	$x_{.2}$	$x_{1.} + x_{2.} = N$

Для оценки тесноты связи строк и столбцов в четырехпольных таблицах использовали меру Дайса и относительный риск (ОР). Мера Дайса для конкретной ячейки четырехпольной таблицы равна удвоенной количеству наблюдений в данной ячейке (x_{ij}), деленной на сумму по строкам ($x_{i.}$) и столбцам ($x_{.j}$), в которых находится данная ячейка:

$$D_{ij} = 2x_{ij}/(x_{i.} + x_{.j}).$$

Мера Дайса варьирует от 0 до 1, она принимает значение 1, когда $x_{ij} = x_{i.}$, и равна 0, когда $x_{ij} = 0$. Таким образом, она свидетельствует о том, насколько сопряжен тот или иной фактор с тем или иным исходом.

Относительный риск — это отношение частоты исходов 1 в первой группе к частоте исходов 2 во второй группе (Тихова, 2012):

$$OP = (x_{11}/x_{1.})/(x_{21}/x_{2.}).$$

ОР стремится к единице при равенстве частот исходов, свидетельствующих о независимости исходов

от влияния факторов (принадлежности к группе). ОР — величина, имеющая свою стандартную ошибку и доверительный интервал (Тихова, 2012). Их расчеты достаточно сложны и получены с помощью статистического пакета сайта «Кировская молекулярная биология». Проверяемая гипотеза: достоверно ли статистически ОР отличается от 1 Д, для этого мы использовали его доверительный интервал (ДИ), рассчитанный для уровней значимости 0.05 и 0.01.

Поскольку рассчитываемые статистики оперируют частотами, то для расчетов критерия χ^2 , ОР и меры Дайса использовали количество выделов с исследуемыми свойствами, а не их площади. При этом отметим, что площади и количество выделов с исследуемыми свойствами находятся в корреляционной связи, близкой к функциональной.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ сопряженности фитоценологических групп и типов лесорастительных условий показал достоверность преобладания кисличной группы на глинах, а черничной на песках (табл. 3). Таким образом, первая рабочая гипотеза подтверждается на уровне значимости 1%. Известно, что кисличные типы леса занимают более богатые почвы, чем черничные, что подтверждается индикацией почвенного богатства по шкалам Л. Г. Раменского, многочисленными морфологическими описаниями почв и их агрохимическими анализами (Федорчук и др., 2005; Lukina et al., 2019). В то же время глины считаются потенциально более плодородными почвообразующими породами, чем пески (Тимофеев, Савицкая, 2009).

Таблица 3. Сопряженность почвообразующих пород и фитоценологических групп: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

Почвообразующая порода	Фитоценологическая группа		Итого...
	КИС	ЧЕР	
Глина	0.78 2162	0.30 760	0.89 2922
Песок	0.27 449	0.32 280	0.33 729
Итого...	0.83 2611	0.44 1040	1.00 3651

Примечание. Уровень значимости 0.01 (1%), ОР = 1.77 (ДИ: от 1.5 до 2.1), F = 0.000000, $\chi^2 = 44.03$ (есть достоверная разница).

Приведенные в табл. 4 данные показали, что распределение групп хвойных и мягколиственных пород в группе зеленомошных типов ЛРУ (кисличных и черничных) на песках и глинах достоверно не отличается. Таким образом, вторая рабочая гипотеза не подтверждается для групп типов ЛРУ на уровне значимости 5 %.

Таблица 4. Сопряженность почвообразующих пород и групп преобладающих пород: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

Почвообразующая порода (типы ЛРУ)	Группа преобладающих пород		Итого...
	Хвойные	Мягколиственные	
Глина (КИСГ+ЧЕРГ)	<u>0.64</u> 1550	<u>0.59</u> 1372	<u>0.89</u> 2922
Песок (КИСП+ЧЕРП)	<u>0.29</u> 394	<u>0.28</u> 335	<u>0.33</u> 729
Итого...	<u>0.69</u> 1944	<u>0.64</u> 1707	<u>1.00</u> 3651

Примечание. Уровень значимости 0.05 (5%), $OP = 1.0$ (ДИ: от 0.91 до 1.1), $F = 0.981557$, $\chi^2 = 0.00$ (достоверной разницы нет).

Исследования показали, что распределение сосны и ели в черничных типах леса на песках и глинах достоверно не отличается (табл. 5). Таким образом, третья рабочая гипотеза не подтверждается на уровне значимости 5 %.

Таблица 5. Сопряженность почвообразующих пород и хвойных древесных пород для черничной группы типов ЛРУ: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

Почвообразующая порода (тип ЛРУ)	Тип ЛРУ		Итого...
	Сосна	Ель	
Глина (ЧЕРГ)	<u>0.59</u> 280	<u>0.60</u> 302	<u>0.85</u> 582
Песок (ЧЕРП)	<u>0.30</u> 86	<u>0.37</u> 115	<u>0.41</u> 201
Итого...	<u>0.22</u> 366	<u>0.46</u> 417	<u>1.00</u> 783

Примечание. Уровень значимости 0.05 (5%), $OP = 1.24$ (ДИ: от 0.90 до 1.71), $F = 0.218731$, $\chi^2 = 1.7$ (достоверной разницы нет).

Анализ сопряженности сосны и ели и зеленомошных типов ЛРУ, различающихся по почвообразующей породе, показал, что сосна чаще встречается на песках, а ель — на суглинках, но связь этих древесных пород с гранулометрическим составом почв зеленомошной группы типов ЛРУ недостоверна (табл. 6). Таким образом, четвертая гипотеза не подтверждается на уровне значимости 5 %. Как было отмечено выше,

сосна является пионерной породой на вырубках и гарях, в отличие от ели. Отсутствие достоверной связи преобладания сосны и ели с почвообразующими породами можно объяснить тем, что в исследовании не учтено влияние рубок и пожаров, а также наличие источников семян разных видов лесообразователей в окружении вырубок и гарей.

Таблица 6. Сопряженность преобладания сосны и ели в зеленомошных типах ЛРУ и почвообразующей породе: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

Почвообразующая порода (типы ЛРУ)	Преобладающая порода		Итого...
	Сосна	Ель	
Глина (КИСГ+ЧЕРГ)	<u>0.52</u> 590	<u>0.70</u> 960	<u>0.89</u> 1550
Песок (КИСП+ЧЕРП)	<u>0.27</u> 151	<u>0.30</u> 243	<u>0.34</u> 394
Итого...	<u>0.55</u> 741	<u>0.76</u> 1203	<u>1.00</u> 1944

Примечание. Уровень значимости 0.05 (5%), $OP = 0.99$ (ДИ: от 0.79 до 1.24), $F = 0.953691$, $\chi^2 = 0.01$ (достоверной разницы нет).

Анализ сопряженности осины и березы в зеленомошных типах ЛРУ и почвообразующей породе (табл. 7) показал, что осина больше тяготеет к глинам, а береза — к пескам. Таким образом, пятая нулевая гипотеза подтверждается на уровне значимости 1 %.

Тяготение осины к глинам и распространение березы как на глинах, так и на песках (табл. 7) объяснимо, если принять во внимание то, что осина более требовательна к почвенному богатству, чем береза (Морозов, 1970), а почвы на глинах богаче элементами питания растений, чем песчаные почвы.

Таблица 7. Сопряженность осины и березы и зеленомошных типов ЛРУ, различающихся по почвообразующей породе: числитель — мера Дайса, знаменатель — количество выделов

Почвообразующая порода (типы ЛРУ)	Преобладающая порода		Итого...
	Береза	Осина	
Глина (КИСГ+ЧЕРГ)	<u>0.52</u> 558	0.70 814	<u>0.89</u> 1372
Песок (КИСП+ЧЕРП)	0.38 209	<u>0.20</u> 126	<u>0.33</u> 335
Итого...	<u>0.62</u> 767	<u>0.71</u> 940	<u>1.00</u> 1707

Примечание. Уровень значимости 0.01 (1%), $OP = 0.41$ (ДИ: от 0.32 до 0.53), $F = 0.000000$, $\chi^2 = 51.33$ (есть достоверная разница).

ВЫВОДЫ

Использование цифровой картографической информации, полученной в разное время (почвенная карта с 1974 по 2009 г., материалы лесоустройства — в 2005 г.) с помощью ГИС-технологий, позволило провести обработку большого массива географически привязанных данных и обеспечило возможность проверки выдвинутых рабочих гипотез. Анализ сопряженности почвообразующих пород, типов ЛРУ, преобладающих древесных пород позволил сделать следующие выводы:

1) подтверждается гипотеза о том, что черничная фитоценотическая группа типов ЛРУ чаще представлена на песках, чем на суглинках, а кисличная группа, наоборот, чаще встречается на суглинках, чем на песках;

2) гипотеза о том, что на песчаных почвах по сравнению с глинами после рубок и пожаров хвойные имеют преимущество перед мягколиственными породами, не подтверждена;

3) гипотеза о том, что в условиях черничного типа ЛРУ на песчаных почвах сосна преобладает чаще, чем ель, а в условиях черничного типа ЛРУ на суглинистых почвах сосна преобладает реже, чем ель, не подтверждена;

4) гипотеза о том, что в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ на песчаных почвах (черничных и кисличных) сосна встречается чаще, чем ель, а в условиях группы зеленомошных типов ЛРУ (черничных и кисличных) на глинистых почвах чаще преобладает ель, не подтвердилась;

5) подтвердилась гипотеза о том, что в условиях зеленомошной группы типов ЛРУ (кисличных и черничных) осина предпочитает суглинистые почвы, а береза — песчаные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

200 лет лесному учебному и опытному делу в Лисинском учебно-опытном лесхозе / под ред. Г. И. Редько. СПб.: ЛТА, 1997. 354 с.

Агишева Д. К., Зотова С. А., Матвеева Т. А., Светличная В. Б. Математическая статистика. Волгоград: ВолгГТУ, 2010. 159 с.

Александрова В. Д., Юрковская Т. К. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

Благовидов Н. Л., Бурков Г. Д. Почвы Лисинского учебно-опытного лесхоза. Объяснительная записка к почвенной карте лесхоза. Л.: кафедра почвоведения ЛТА, 1957. 52 с.

Березин Л. В., Карпачевский Л. О. Лесное почвоведение. Омск: ОмГАУ, 2009. 360 с.

Гордягин А. Я. Материалы для познания почв и растительности Западной Сибири // Труды Общества

естествоиспытателей при Императорском Казанском университете. 1900. Т. 34. Вып. 2. 222 с.

Земляков Б. Ф. Геологический очерк Лисинской лесной дачи // Природа и хозяйство уч.-оп. лесничеств Ленинградского лесного института. М., 1928. С. 241—270.

Кировская молекулярная биология: калькулятор Хи-квадрат, критерия Фишера, отношения рисков [Электронный ресурс]. URL: <https://molbiol.kirov.ru/utilites/multitool/> (дата обращения: 06.01.2022).

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.

Кравчинский Д. Лисинская казенная лесная дача // Лесной журнал. 1912. Вып. 6-7. С. 691—709.

Крюденер А. А. Основы классификаций типов насаждений и их народохозяйственное значение в обиходе страны // Лесной журнал. 1916. Вып. 2, 3-4. Петроград: типография главного управления уделов, 1916. 190 с.

Лесохозяйственный регламент учебно-опытного лесничества Ленинградской области. Филиал ФГУП «Рослесинфорг» «Севзаплеспроект». СПб., 2018. 258 с.

Маркин В. Е., Маркина З. Н. Рост подпологовых еловых культур в зависимости от гранулометрического состава почв в учебно-опытном лесхозе БГИТУ // Роль учебно-опытных лесхозов вузов России в подготовке кадров для лесного сектора: мат-лы научно-практической конф. 2017. С. 162—165.

Морозов Г. Ф. Биология лесных пород. Учение о лесоводственных свойствах древесных пород // Избранные труды в двух томах. Т. 1. М.: Лесная промышленность, 1970. С. 115—198.

Нешатаев В. Ю. Динамика живого напочвенного покрова и естественного возобновления древесных пород на вырубках черничной группы типов леса в Ленинградской области // Современные проблемы лесного хозяйства и лесоустройства: мат-лы Междунар. конф. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. С. 36—37.

Погребняк П. С. Основы лесной типологии. Киев: АН УССР, 1955. 456 с.

Проект организации и ведения лесного хозяйства Лисинского учебно-опытного лесхоза Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии им. С. М. Кирова. СПб., 2005. 126 с.

Пономарева В. В. Теория подзолообразовательного процесса. Биохимические аспекты. М.; Л.: Наука, 1964. 379 с.

Роде А. А., Смирнов В. Н. Почвоведение. М.: Высшая школа, 1972. 480 с.

Савицкая С. Н., Тимофеев А. И., Гуля. Почвы на легких флювиогляциальных отложениях в Лисинском лесхозе // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. СПб., 2010. Вып. 3 (23). С. 5—10.

Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 262 с.

- Ставрова Н. И., Гориков В. В., Баккал И. Ю., Катаева М. Н. Типологическое разнообразие сосновых лесов и его связь с гранулометрическим составом почв в условиях северной тайги // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов. Ч. 1. Минск: Конфида, 2015. С. 196—200.
- Сукачев В. Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 614 с.
- Тетюхин С. В., Минаев В. Н., Богомолова Л. П. Лесная таксация и лесоустройство: нормативно-справочные материалы по Северо-Западу Российской Федерации. СПб.: СПбГЛТА, 2004. 360 с.
- Тимофеев А. И., Савицкая С. Н. Почвообразующие породы Лисинского учебно-опытного лесхоза и их влияние на почвообразование // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск, 2009. С. 139—146.
- Тимофеев А. И., Савицкая С. Н. Почвы Лисинского лесхоза. СПб.: изд-во Политехнического ун-та, 2011. 126 с.
- Тихова Г. П. Четырехпольная таблица частот — британская Оккама в мире статистики. Ч. 1. Как рассчитывать относительный риск и другие параметры из четырехпольной частотной таблицы // Региональная анестезия и лечение острой боли. 2012. Т. 6. Вып. 3. С. 69—75.
- Тетюхин С. В., Минаев В. Н. Данные лесоустройства как показатель пространственно-временных изменений природной среды // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: мат-лы Междунар. конф. Архангельск, 2002. С. 390—393.
- Тетюхин С. В., Шубина М. А., Павская М. В. Электронные карты как современный инструмент для анализа пространственно-временной динамики земель лесного фонда (на примере Лисинской части учебно-опытного лесничества Ленинградской области) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 225. С. 17—27.
- Федорчук В. Н., Нешатаев В. Ю., Кузнецова М. Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России. Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СПбГЛТА, 2005. 382 с.
- Шеин Е. В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций // Почвоведение. 2009. № 3. С. 309—317.
- Чертов О. Г. Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука, 1981. 192 с.
- Lukina N. V., Tikhonova E. V., Danilova M. A., Bakhmet O. N., Kryshen A. M., Tebenkova D. N., Kuznetsova A. I., Smirnov V. E., Braslavskaya T. Yu., Gornov A. V., Shashkov M. P., Knyazeva S. V., Kataev A. D., Isaeva L. G. and Zukert N. V. Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia // Forest Ecosystems. 2019. P. 1—19. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0190-2>

The Analyses of Relationship Between Tree Species, Types of Forest Conditions and Granulometric Composition of Soil-Forming Deposits in the Lisinskoe Forestry of the Leningrad Region

V. Yu. Neshatayev^{1,*}, S. V. Tetyukhin¹

¹ St. Petersburg State Forest Technical University, Saint-Petersburg, ILiP, SPbGLTU, Institutsky per., 5, Saint-Petersburg, 194021

* E-mail: vn1872@yandex.ru

An analysis of literature has shown that studies of the relationships between the predominant tree species and the granulometric composition of soils based on a statistical analysis of quantitative data are few, and the results obtained on limited data require verification on a more extensive experimental material. The purpose of this work was to reveal the relationship of the predominant tree species with sands and clays, based on massive forest inventory data and Quaternary soil-forming deposits mapping data. The objectives of the study included: 1) development of a geographic information system, including vector maps with electronic forest inventory information and a vector thematic map of surface Quaternary deposits; 2) statistical analysis of the relationship between the predominant species, types of forest conditions (TFC) and types of Quaternary deposits. It was found (chi-square test, Dice measure, relative risks) that the *Myrtillus* TFC occurred more often on sands than on loams. The *Oxalis* TFC, on the contrary, occurred more often on loam than on sand. The hypothesis has been confirmed that under the conditions of the green moss group of forest types (*Oxalis* and *Myrtillus* TFC), aspen preferred loamy soils, and birch preferred sandy ones. The widespread ideas about the connection of pine forests with sandy and spruce forests with loamy soils were not confirmed at the significance level of 0.05.

Keywords: GIS, map of Quaternary sediments, electronic data bases of forest management, prevailing tree species, pine, spruce, aspen, birch, *Oxalis*-type, *Myrtillus*-type, type of forest conditions, forest type, loam, sand

REFERENCES

- 200 let lesnomu uchebnomu i opytnomu delu v Lisinskom uchebno-opytnom leskhoze (200 years of the forest educational and experimental activities at Lisino Experimental Forest Station), Saint-Petersburg: izd-vo SPbLTA, 1997, 356 p.
- Agisheva D. K., Zotova S. A., Matveeva T. A., Svetlichnaya V. B., *Matematicheskaya statistika* (Mathematical Statistics), Volgograd: VolgGTU, 2010, 159 p.
- Aleksandrova V. D., Yurkovskaya T. K., *Geobotanicheskoe raionirovanie Nechernozem'ya evropeiskoi chasti RSFSR* (Geobotanical zoning of the non-black earth region of the European part of the RSFSR), Leningrad: Nauka, 1989, 64 p.
- Berezin L. V., Karpachevskii L. O., *Lesnoe pochvovedenie* (Forest soil science), Omsk: izd-vo OmGAU, 2009, 374 p.
- Blagovidov N. L., Burkov G. D., *Pochvy Lisinskogo uchebno-opytnogo leskhoza. Ob "yasnitel'naya zapiska k pochvennoi karte leskhoza* (Soils of the Lisinsky educational and experimental forestry station. Explanatory note to the soil map of the forestry enterprise), Leningrad: Kafedra pochvovedeniya LTA, 1957, 52 p.
- Chertov O. G., *Ekologiya lesnykh zemel' (pochvenno-ekologicheskoe issledovanie lesnykh mestoobitanii)* [Ecology of forest lands (soil-ecological study of forest habitats)], Leningrad: Nauka, 1981, 192 p.
- Fedorchuk V. N., Neshataev V. Y., Kuznetsova M. L., *Lesnye ekosistemy severo-zapadnykh raionov Rossii: tipologiya, dinamika, khozyaistvennye osobennosti* (Forest ecosystems of northwestern regions of Russia: Typology, dynamics, economy specifics), Saint Petersburg: SPbNIILKh, 2005, 382 p.
- Gordyagin A. Y., *Materialy dlya poznaniya pochv i rastitel'nosti Zapadnoi Sibiri* (Materials for understanding the soils and vegetation of Western Siberia), *Trudy Obschestva estestvoispytatelei pri Imperatorskom Kazanskom universitete*, 1900, vol. 34, issue 2, 222 p.
<https://molbiol.kirov.ru/utilites/multitool/> (January 06, 2022).
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Kravchinskii D., Lisinskaya kazennaya lesnaya dacha (Lisinskaya state forest dacha), *Lesnoi zhurnal*, 1912, no. 6—7, pp. 691—709.
- Kryudener A. A., *Osnovy klassifikatsii tipov nasazhdenii i ikh narodokhozyaistvennoe znachenie v obikhode strany* (Fundamentals of classification of forest types: the value for public economy in practice of the country), Petrograd: Tipografiya Glavnogo Upravleniya Udelov, 1916, 190 p.
- Lesokhozyaistvennyi reglament uchebno-opytnogo lesnichestva Leningradskoi oblasti*, (Forestry regulations of the educational and experimental forestry of the Leningrad region), Saint Petersburg: Filial FGUP "Roslesinform" "Sevzaplesproekt", 2018, 258 p.
- Lukina N. V., Tikhonova E. V., Danilova M. A., Bakhmet O. N., Kryshen A. M., Tebenkova D. N., Kuznetsova A. I., Smirnov V. E., Braslavskaya T. Yu., Gornov A. V., Shashkov M. P., Knyazeva S. V., Kataev A. D., Isaeva L. G. and Zukert N. V., Associations between forest vegetation and the fertility of soil organic horizons in northwestern Russia, *Forest Ecosystems*, 2019, pp. 1—19.
<https://doi.org/10.1186/s40663-019-0190-2>
- Markin V. E., Markina Z. N., Rost podpologovykh elov'kh kul'tur v zavisimosti ot granulometricheskogo sostava pochv v uchebno-opytnom leskhoze BGITU (Growth of subcanopy spruce crops depending on the granulometric composition of soils in the educational and experimental forestry enterprise of BSITU), *Rol' uchebno-opytnykh leskhov vuzov Rossii v podgotovke kadrov dlya lesnogo sektora*, Proc. of Scientific-Practical Conf., pp. 162—165.
- Morozov G. F., *Biologiya lesnykh porod. Uchenie o lesovodstvennykh svoistvakh drevesnykh porod* (Biology of forest species. The science of silvicultural properties of tree species), In: *Selected texts in two volumes*, Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1970, Vol. 1, pp. 115—198.
- Neshataev V. Y., *Dinamika zhivogo napochvennogo pokrova i estestvennogo vozobnovleniya drevesnykh porod na vyrubkakh chernichnoi gruppy tipov lesa v Leningradskoi oblasti* (Dynamics of living ground cover and natural regeneration of tree species in clearings of the blueberry group of forest types in the Leningrad region), *Sovremennye problemy lesnogo khozyaistva i lesoustroistva* (Modern issues of forestry and forest management), Saint Petersburg, Proc. of International Conf., Saint Petersburg: SPbGLTU, pp. 36—37
- Pogrebnyak P. S., *Osnovy lesnoi tipologii* (Basics of forest typology), Kiev: AN USSR, 1955, 456 p.
- Ponomareva V. V., *Teoriya podzoloobrazovatel'nogo protsesa. Biokhimicheskie aspekty* (Theory of the podzol formation process. Biochemical aspects), Moscow-Leningrad: Nauka, 1964, 379 p
- Proekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaistva Lisinskogo uchebno-opytnogo leskhoza Sankt-Peterburgskoi gosudarstvennoi lesotekhnicheskoi akademii im. S. M. Kirova* (Project for the organization and management of forestry of the Lisinsky educational and experimental forestry station of the St. Petersburg State Forestry Academy named after S. M. Kirov), Saint Petersburg, 2005, 126 p.
- Rode A. A., Smirnov V. N., *Pochvovedenie* (Soil science), Moscow: Vysshaya shkola, 1972, 480 p.
- Sannikov S. N., *Ekologiya i geografiya estestvennogo vozobnovleniya sosny obyknovЕННОI* (Ecology and geography of Scots pine reforestation), Moscow: Nauka, 1992, 262 p.
- Savitskaya S. N., Timofeev A. I., *Pochvy na legkikh flyuvioglyatsial'nykh otlozheniyakh v Lisinskom leskhoze* (Soils on light fluvioglacial deposits in the Lisinsky forestry station), *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyaistva*, 2010, no. 3(23), pp. 5—10.
- Shein E. V., *Granulometricheskii sostav pochv: problemy metodov issledovaniya, interpretatsii rezul'tatov i klassifikatsii* (Soil texture: problems of research methods,

interpretation of results and classifications), *Pochvovedenie*, 2009, no. 3, pp. 309—317.

Stavrova N. I., Gorshkov V. V., Bakkal I. Y., Kataeva M. N., Tipologicheskoe raznoobrazie sosnovykh lesov i ego svyaz' s granulometricheskim sostavom pochv v usloviyakh severnoi taigi (Typological diversity of pine forests and its relationship with the granulometric composition of soils in the northern taiga). In: *Problemy sokhraneniya biologicheskogo raznoobraziya i ispol'zovaniya biologicheskikh resursov* (Issues of conservation of biological diversity and use of biological resources), Minsk: Konfido, 2015, part 1, pp. 196—200.

Sukachev V. N., *Dendrologiya s osnovami lesnoi geobotaniki* (Dendrology with the basics of forest geobotany), Leningrad: Goslestekhizdat, 1934, 614 p.

Tetyukhin S. V., Minaev V. N., Bogomolova L. P., *Lesnaya taksatsiya i lesoustroistvo. Normativno-spravochnye materialy po severo-zapadu RF* (Forest taxation and forest management. Regulatory and reference materials for the northwest of the Russian Federation), Saint Petersburg: LTA, 2004, 369 p.

Tetyukhin S. V., Minaev V. N., Dannye lesoustroistva kak pokazatel' prostranstvenno-vremennykh izmenenii prirodnoi sredy (Forest management data as an indicator of spatiotemporal changes in the natural environment), *Ekologiya severnykh territorii Rossii. Problemy, prognoz situatsii, puti razvitiya, resheniya* (Ecology of the Northern Territories of Russia. Problems, situation forecast, development paths, solutions), Arkhangelsk, Proc. of International Conf., Arkhangelsk, pp. 390—393.

Tetyukhin S. V., Shubina M. A., Pavskaya M. V., Elektronnye karty kak sovremennyy instrument dlya analiza

prostranstvenno-vremennoi dinamiki zemel' lesnogo fonda (na primere Lisinskoj chasti uchebno-opytного lesnichestva Leningradskoi oblasti) (Electronic maps as a tool to analyze spatial-temporal dynamics of forest fund lands Lisinskaya part of the teaching-experimental forest in Leningrad region), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2018, Issue 225, pp. 17—27.

Tikhova G. P., Chetyrekpol'naya tablitsa chastot — britva Okkama v mire statistiki. Ch. 1. Kak rasschityvat' otnositel'nyi risk i drugie parametry iz chetyrekpol'noi chastotnoi tablitsy (Fourfold frequency table — Occam's Razor in the world of statistics. Part 1. Calculating relative risk and other parameters from fourfold frequency table), *Regional'naya anesteziya i lechenie ostroi boli*, 2012, Vol. 6, No. 3, pp. 69—75.

Timofeev A. I., Savitskaya S. N., Pochvoobrazuyushchie porody Lisinskogo uchebno-opytного leskhoza i ikh vliyaniye na pochvoobrazovanie (Soil-forming rocks of the Lisinsky educational and experimental forestry enterprise and their influence on soil formation), In: *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* (Current problems of the forestry complex), Bryansk, 2009, pp. 139—146.

Timofeev A. I., Savitskaya S. N., *Pochvy Lisinskogo leskhoza* (Soils of Lisinsky forestry station), Saint Petersburg: Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta, 2011, 126 p.

Zemlyakov B. F., Geologicheskii ocherk Lisinskoj lesnoi dachi (Geological overview of Lisino forest estate), In: *Priroda i khozyaistvo uchebno-opytных lesnichestv Leningradskogo lesnogo instituta* (Environment and economy of forest entities of the Leningrad forest institute), Moscow: Novaya derevnya, 1928, pp. 241—270.

УДК 630*232.4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДРОСТА ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ В КОРЕННЫХ СРЕДНЕТАЕЖНЫХ ЕЛЬНИКАХ¹

© 2024 г. А. В. Кикеева^{1,*}, И. В. Ромашкин¹, А. М. Крышень¹¹ Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, Петрозаводск, 185910, Россия

* E-mail: avkikeeva@mail.ru

Поступила в редакцию 26.02.2024

После доработки 11.03.2024

Принята к публикации 12.04.2024

Исследовано горизонтальное распределение подроста ели европейской (*Picea abies* (L.) Н. Karst.) в трех типах сообществ: ельнике черничном, ельнике чернично-кисличном с участием березы повислой (*Betula pendula*) и осины обыкновенной (*Populus tremula* L.) в древостое и ельнике чернично-кисличном с содоминированием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Древесный детрит в качестве микроместообитания представлен не только валежными стволами/пнями (от 37 до 72 % подроста), но и прилегающим к ним пространством (10–27 %), а также визуально не определяемыми в почве древесными остатками (1–11 %). В ельнике черничном межкروновые пространства занимают 1/3 площади (здесь произрастает 46 % подроста), прикрановая зона — почти половину площади и 41 % подроста. Встречаемость подроста высокая во всех зонах (84, 73, 68 %), подрост группируется на валеже (37 %) и в непосредственной близости от него (40 %). Густота зависит от совместного влияния факторов — наибольшие значения на валеже в межкрановом пространстве (1.0 шт/м²), средние значения в межкрановом пространстве рядом с валежом (0.6), в прикрановой зоне на валеже (0.5) и рядом (0.5), под пологом на участках без валежа (0.5), самые низкие — на «скрытых» в почве древесных остатках (0.1–0.2). В ельнике кислично-черничном с осинкой обыкновенной и березой повислой в составе древостоя организация полога усложняется, подрост практически равномерно распределен по зонам проекции полога при их соотношении 12:33:55 %. Максимальные значения встречаемости и густоты подроста (на валеже в межкрановом пространстве (39 % и 0.7 шт/м²)) снижаются под пологом (18 % и 0.3 шт/м²). В ельнике кислично-черничном с содоминированием сосны обыкновенной распределение подроста случайное: во всех зонах проекции полога одинаково низкие значения встречаемости (31, 33, 30 %) и густоты (0.6, 0.5, 0.6 шт/м²), при этом наибольшие значения густоты здесь отмечены на валеже под кронами (0.5 шт/м²). Распределение подроста в коренных среднетаежных ельниках определяется сочетанием факторов: лесорастительными условиями, составом древостоя, разнообразием микроместообитаний, в т. ч. сформированных мертвой древесины на разных стадиях разложения.

Ключевые слова: естественное возобновление, подрост, ель европейская, микроместообитание, ксилотический субстрат, фитогенное поле, древесный детрит

DOI: 10.31857/S0024114824030029, EDN: PEIITL

На территории европейской части России преобладают еловые леса, которые представляют собой важнейший объект лесопользования. В естественных условиях формирование коренных хвойных насаждений зависит от состояния подроста (Eerikäinen et al., 2007; Волков и др., 2021) и является обязательным условием сохранения и поддержания экосистем таежной зоны (Бобкова, Бессонов, 2009). Естественное возобновление в старовозрастных еловых лесах зависит от очень сложного набора взаимозависимых факторов, каждый из которых демонстрирует большую временную и пространственную изменчивость.

В целом численность, состояние, состав и структура возобновления ели европейской зависят от внешних условий, лесорастительной зоны и структуры самих древостоев (Грязькин, 1998). Распределение древостоя и подроста ельника характеризуется сложной горизонтальной структурой (Ильчуков, 2008; Манов, Кутявин, 2018; Манов, 2019). Являясь сильным эдификатором, ель европейская значительно меняет условия среды, определяя состав и пространственное распределение подчиненных ярусов (Дыренков, 1984; Карпачевский и др., 2007). Приводящие к полной или частичной замене древостоя нарушения, а также непрерывные выпадения отдельных деревьев формируют неоднородность размещения ресурсов и структуры напочвенного покрова (Lundqvist et al., 2007; Shorohova et al., 2009; Kuuluvainen et al.,

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-24-00371.

2014; Евстигнеев, Горнова, 2017; Семенюк и др., 2020; и др.). Отдельные разрывы в пологе древостоя в сочетании с различными углами падения солнечного света могут создавать разнообразную мозаику освещения в прикрановой и подпологовой зонах. В результате отдельные микроместообитания при одинаковой общей интенсивности фотосинтетически активного излучения в течение вегетационного периода могут иметь разные временные характеристики его доступности (Battles, Fahey, 2000). Возобновление ели европейской в «окнах» зависит, прежде всего, от размеров создаваемых в пологе просветов и влечет за собой изменение интенсивности прямого и рассеянного освещения, а также влажностно-температурного режима (Poulson, Platt, 1989; Hammond, Pokorný, 2020; Liu et al., 2022). Среда открытых межкрановых участков также неоднородна из-за влияния окружающих деревьев, которые перераспределяют ресурсы вдоль зоны границы крон (Matlack, Litvaitis, 1999).

Распределение подроста теневыносливых видов зависит не только от сомкнутости материнского полога (Leemans, 1991; Возмищева и др., 2012), а скорее, определяется урожайными годами (Воронова, 1959) и наличием участков, свободных от плотного напочвенного покрова (Harmon, Franklin, 1989). Выпадение деревьев увеличивает доступность питательных веществ в лесной подстилке, высвобождая ресурсы для жизнедеятельности многих видов, а также создает нарушения в напочвенном покрове (Уланова, 2000). Кроме того, мертвая древесина в зависимости от стадии разложения создает микроместообитания, различные по набору химических и физических свойств (Стороженко, 2011; Ромашкин, 2021). По общему мнению, древесный детрит в значительной степени определяет восстановление древесного яруса ели европейской (Hofgaard, 1993; Бобкова, Бессонов, 2009; Červenka et al., 2014; Ефименко, Алейников, 2019; и др.). При изучении возобновления на разлагающейся древесине основное внимание уделяют микроместообитаниям, созданным видимой частью древесного детрита, то есть визуально идентифицируемым валежными стволами, пнями и их фрагментами. В то же время роль крупных фракций древесных остатков, прежде всего, сильно разложившегося валежа, скрытого в верхних горизонтах почвы (Стороженко, 2011),

а также формируемого валежным стволом особого микроклимата (Сафонов и др., 2017), в возобновлении ели европейской явно недооценены. По данным А. Хофгаард (Hofgaard, 1993), валежные стволы могут влиять на еловое возобновление в течение 150 лет после падения.

Цель нашей работы заключалась в выявлении закономерностей горизонтального распределения подростка ели европейской в коренных среднетаежных ельниках. В задачи исследования входило изучение встречаемости и густоты подростка (1) в различных зонах проекции полога (подкрановое и межкрановое пространство, край кроны) и (2) в зависимости от условий микроместообитания (микрорельеф и субстрат).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в подзоне средней тайги на территории государственного заповедника «Кивач» (Республика Карелия), на стационарных пробных площадях (ПП) Института леса КарНЦ РАН, в ельниках с различным составом древостоя: ельнике черничном, ельнике кислично-черничном с осиною в составе древостоя и ельнике кислично-черничном с сосной в составе древостоя (табл. 1). Почвы на ПП относятся к подзолам иллювиально-железистым (ПП 1) и элювиально-метаморфическим глееватым почвам (ПП 2 и ПП 3) (Федорец и др., 2006).

Учитывали только живой подрост высотой до 2 м. Учет проводили методом трансект, расположенных через 10–12 м. Описание выполняли на учетных площадках (УП), расположенных сплошь, каждая УП представляла собой прямоугольник размером 1×2 м. Для каждой УП отмечали зону проекции полога древостоя, а для каждого экземпляра елового подростка — тип микрорельефа и субстрат произрастания. На ПП 1 было заложено восемь трансект размером 25×2 м (всего 200 УП), на ПП 2 — восемь трансект 50×2 м (400), на ПП 3 — шесть трансект 50×2 м (300).

По положению в проекции полога каждой УП присваивались следующие характеристики: «окно» — УП целиком расположена вне горизонтальной проекции крон деревьев; «край кроны» — проекция края кроны (крон) пересекает границу площадки или проходит по ней, не более 50–60 % площади УП

Таблица 1. Основные характеристики древостоя на трех пробных площадях

Пробная площадь	Состав и возраст древостоя	Полнота	Запас древостоя, м ³ /га	Запас крупных древесных остатков, м ³ /га
1. Ельник черничный	8Е _{140–180} 1Б _{40–60} 1Ос _{70–80}	0.8	340	97
2. Ельник чернично-кисличный	6Е _{40–160} 3Ос _{70–80} 1Б _{70–80}	0.8	319	162
3. Ельник чернично-кисличный	6Е _{40–120} 4С _{120–220} + Б _{10–50}	0.8	478	147

находится под проекцией кроны; «крона» — от 60 до 100 % площади УП находится под проекцией кроны. В случае перекрытия крон нескольких видов деревьев указывали древесную породу и взаимное расположение крон по вертикали.

Распределение вариантов проекции полога учитывали для каждой пробной площади (табл. 2). В тексте обсуждаются межкрановая («окно»), прикрановая («край кроны») и подкрановая («крона») зоны проекции полога материнского древостоя.

При описании *типа микроместообитания* в работе используется термин ксилолитический субстрат (КС). Под ксилолитическим (греч. *xylon* — дерево и *lysis* — разложение, распад) мы понимаем субстрат, образованный в результате многоэтапной биогенной, преимущественно ферментативной трансформации древесины, в естественных условиях осуществляемой ксилотрофным сообществом, включающим в себя грибы, бактерии, археи, насекомых и другие организмы, которые изменяют структуру и химический состав исходного древесного субстрата.

В зависимости от характеристик субстрата все варианты микроместообитаний объединили в пять типов:

1) ненарушенное микроместообитание без изменения микрорельефа и без КС (далее в тексте «ровное, без КС»);

2) микроповышения, не связанные с КС: а) покрытый лесной подстилкой валун, б) покрытые лесной подстилкой крупные корни живых деревьев, в) насыпь из перемешанных почвенных горизонтов, созданная падением дерева;

3) микроповышения, образованные КС: валежные стволы разной степени разложения, пни разной степени разложения;

4) микроместообитания с ровной поверхностью и со зрительно не определяемым (погребенным в почве) КС («скрытая» часть КС): а) почвенный покров с присутствием в толще гумифицированной валежной древесины [валеж 6-й стадии разложения по В. Г. Стороженко (2011)], б) почвенный покров с присутствием в толще разлагающихся корней деревьев в разной степени разложения;

5) микроместообитание в зоне влияния КС — пространство в непосредственной близости от валежного ствола и/или пня 3—6-й стадии разложения, корневая система подростка ели европейской находится в контакте с КС («зона влияния КС»).

Статистическая обработка проведена в пакете Statistica 10.0. В работе приведены результаты применения методов описательной статистики: среднего арифметического, стандартной ошибки среднего. Обсуждаемые в тексте результаты значимы при $p > 0.05$.

Таблица 2. Распределение зон проекции полога и подростка ели европейской на трех пробных площадях

ПП	Зона проекции полога	Варианты организации	Доля площади, %	Доля подростка, %
ПП 1	Межкрановое пространство		34.2	44.7
	Прикрановое пространство	Хвойное: <i>P. abies</i>	39.6	37.4
		Хвойно-лиственное: <i>P. abies</i> + <i>B. pendula</i>	8.1	4.3
	Подкрановое пространство	Хвойное: <i>P. abies</i>	15.4	11.8
		Хвойно-лиственное: <i>P. abies</i> + <i>B. pendula</i>	2.0	1.8
Лиственное: <i>B. pendula</i>		0.7	0.0	
ПП 2	Межкрановое пространство		12.2	17.6
	Прикрановое пространство	Хвойное: <i>P. abies</i>	16.7	20.9
		Хвойно-лиственное: <i>P. abies</i> + <i>B. pendula</i> (1.1 %) <i>P. abies</i> + <i>P. tremula</i> (2.6 %) <i>P. tremula</i> ↑ + <i>P. abies</i> (3.7 %) <i>B. pendula</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (2.2 %)	9.6	11.3
		Лиственное: <i>B. pendula</i> (1.1 %) <i>P. tremula</i> (4.8 %)	5.9	3.0
	Подкрановое пространство	Хвойное: <i>P. abies</i>	17.8	16.5
		Хвойно-лиственное: <i>P. abies</i> ↓ + граница <i>P. tremula</i> ↑ (1.5 %) <i>P. abies</i> ↓ + граница <i>B. pendula</i> (1.1 %) <i>B. pendula</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (5.9 %) <i>B. pendula</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> (1.1 %) <i>P. tremula</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (6.7 %) <i>P. tremula</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> ↓ (5.6 %)	21.9	24.7
		Лиственное: <i>P. tremula</i> (13.7 %) <i>B. pendula</i> (1.5 %)	15.2	6.0

Таблица 2. Окончание

ПП	Зона проекции полога	Варианты организации	Доля площади, %	Доля подроста, %
ПП 3		Межкروновое пространство	4.7	5.5
	Прикroновое пространство	Хвойное: <i>P. abies</i> (8.4%) Подрост <i>P. abies</i> * (0.3%) Сухостой <i>P. abies</i> (0.3%) <i>P. sylvestris</i> (10.4%) <i>P. sylvestris</i> + <i>P. abies</i> (2.7%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (10.0%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + подрост <i>P. abies</i> * ↓ (2.3%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + сухостой <i>P. abies</i> ↓ (0.3%)	34.8	30.6
		Хвойно-лиственное: <i>B. pendula</i> + <i>P. sylvestris</i> (0.7%) <i>B. pendula</i> + <i>P. abies</i> (2.3%) <i>B. pendula</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (1.3%) <i>B. pendula</i> ↑ + <i>P. sylvestris</i> ↑↓ + <i>P. abies</i> ↓ (1.7%) <i>B. pendula</i> ↑ + <i>P. sylvestris</i> ↑↓ + подрост <i>P. abies</i> * (0.3%)	6.4	7.8
		Лиственное: <i>B. pendula</i> (1.3%)	1.3	1.4
	Подкroновое пространство	Хвойное: <i>P. abies</i> (0.3%) Подрост <i>P. abies</i> * (2.7%) <i>P. abies</i> + граница <i>P. sylvestris</i> (10.4%) Сухостой <i>P. abies</i> (0.7%) Подрост <i>P. abies</i> *↓ + граница <i>P. sylvestris</i> ↑ (2.0%) Подрост <i>P. abies</i> *↓ + граница <i>P. abies</i> ↑ (0.7%) <i>P. sylvestris</i> (3.3%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (11.7%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> ↓ (5.7%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + сухостой <i>P. abies</i> ↓ (0.3%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + подрост <i>P. abies</i> *↓ (0.3%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + граница подроста <i>P. abies</i> *↓ (0.3%)	38.4	37.3
		Хвойно-лиственное: <i>P. abies</i> + граница <i>B. pendula</i> (2.0%) Подрост <i>P. abies</i> *↓ + граница <i>B. pendula</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> ↑ (0.7%) <i>P. sylvestris</i> ↑ + граница <i>B. pendula</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> ↓ (1.0%) <i>B. pendula</i> ↑ + <i>P. abies</i> ↓ (0.3%) <i>B. pendula</i> + граница <i>P. sylvestris</i> (1.7%) <i>B. pendula</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> ↓ (0.3%) <i>B. pendula</i> ↑ + граница <i>P. sylvestris</i> ↑ + граница <i>P. abies</i> ↓ (3.0%) <i>B. pendula</i> + подрост <i>P. abies</i> *↓ (4.0%) <i>B. pendula</i> ↑ + подрост <i>P. abies</i> *↓ + граница <i>P. abies</i> (0.7%)	13.7	15.3
Лиственное: <i>B. pendula</i> (0.7%)		0.7	2.0	

Примечание. * — подрост *P. abies* выше 2 м; ↑ — верхнее положение кроны, ↓ — нижнее положение кроны; *Betula pendula* Roth — *B. pendula*, *Populus tremula* L. — *P. tremula*, *Pinus sylvestris* L. — *P. Sylvestris*.

Изучение горизонтального распределения подроста проводили на основании анализа выборок встречаемости и густоты — важнейших параметров естественного возобновления (Мелехов, 1975; Грязькин, 1998). Встречаемость подроста ели европейской рассчитана как доля (%) учетных площадок с его присутствием от общего числа площадок. Выборка встречаемости подроста представляет собой последовательность значений оценки (0 — подрост отсутствует, 1 — присутствует). Густоту подроста рассчитывали как число живых растений ели европейской до 2 м высотой на 1 м² площади. Тип пространственной структуры естественного

возобновления определяли с помощью индекса рассеяния Фишера (Свалов, 1985). Влияние зоны проекции полога и типа микроместообитания на встречаемость (отсутствие / присутствие) и густоту (число растений на 1 м²) подроста определено с помощью дисперсионного анализа. Размерность выборки соответствует количеству учетных площадок на каждой пробной площади. Достоверность различий между значениями в разных вариантах оценивали с помощью критерия Фишера. Взаимосвязь площади зон проекции полога и количества подроста в ней проанализировано с помощью ранговой корреляции Спирмена (*R*).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение подроста ели европейской по зонам проекции полога материнского древостоя. Фитоценозы имеют разную организацию полога древостоя и различное процентное соотношение площади проекций межкроновой, прикроновой и подкroновой зон и количества подроста в каждой из них (табл. 2). Организация полога усложняется в ряду ПП 1 — ПП 2 — ПП 3. Наибольшая численность подроста ели европейской (19933 шт/га) отмечена на ПП 1. Встречаемость и густота подроста здесь высокие и значимо не различаются по зонам проекции полога: 84 % и 2.1 шт/м² — в межкroновом пространстве, 73 % и 1.6 шт/м² — по краю кроны, 68 % и 1.5 шт/м² — под кронами. Численность подроста на ПП 2 ниже в 2.6 раза. Встречаемость и густота подроста высокие в межкroновом пространстве (70 % и 1.1 шт/м² соответственно), последовательно снижаются в прикroновой (60 % и 0.9 шт/м²) и подкroновой (43 % и 0.6 шт/м²) зонах. На ПП 3 самая низкая численность подроста, в 3.7 раза ниже по сравнению с ПП 1. Встречаемость и густота елового подроста здесь во всех зонах одинаково низкие (31, 33 и 30 % и 0.6, 0.5, 0.6 шт/м² соответственно). Усложнение состава полога увеличивает разнообразие условий микроместообитаний под пологом и должно приводить к увеличению количества елового подроста (Стороженко, 2017). В нашем случае наблюдается обратная картина, отмеченная также в исследованиях Н. В. Беляевой (2013). Результаты свидетельствуют о сложности и многофакторности процессов формирования структуры естественных лесных сообществ.

На ПП 1 на долю межкroновой зоны приходилось 34 % исследуемой площади, на которой сосредоточена самая большая часть (46 %) всего встреченного подроста (табл. 2). Площадь, находящаяся под непосредственным влиянием лиственных пород, была мала и, вероятно, не оказывала существенного влияния на структуру растительного покрова нижнего яруса фитоценоза. В прикroновой зоне находилось 48 % исследуемой площади, здесь же был размещен 41 % возобновления ели европейской. Прикroновая зона сложена в большей степени еловым древостоем и в меньшей степени — елово-березовым, подрост распределяется соответственно. Подкroновая зона образована в основном еловым древостоем, малые площади — под влиянием елово-березового и березового древостоя. Здесь находилось 18 % площади и пропорциональная ей часть подроста — 14 %.

На ПП 2 организация полога усложняется. Процентное соотношение площадей межкroновой, прикroновой и подкroновой зон выглядит следующим образом — 12:33:55 %. При этом распределение подроста по зонам — 31, 36 и 33 % соответственно. Прикroновое пространство образовано большей частью еловым древостоем, участие хвойно-лиственного и лиственного древостоя меньшее. Подкroновое пространство поделено между еловым,

хвойно-лиственным и лиственным древостоем. Большие доли подроста сосредоточены под кронами елового и хвойно-лиственного древостоя. Можно предположить, что перераспределение ресурсов, мозаичная структура напочвенного покрова здесь определяются в том числе влиянием лиственных пород.

На ПП 3 отмечена наиболее сложная организация полога, прежде всего, по составу пород и положению их крон относительно друг друга. Практически равное соотношение по запасу ели европейской и сосны обыкновенной, а также более значимое участие березы повислой в составе древостоя создают большее количество вариантов пространственного сочетания крон деревьев. Площадь прикroновой зоны складывается в большей степени из хвойного (разные варианты сочетаний ели европейской и сосны обыкновенной) древостоя, в гораздо меньшей степени — из хвойно-лиственного (ель европейская, сосна обыкновенная, береза повислая, осина обыкновенная) и березового древостоя. Подрост распределяется соответственно — большая часть сосредоточена по «границе крон» хвойного древостоя. Подкroновое пространство и распределение в нем подроста в целом организовано так же. На этой пробной площади наименьшая доля межкroновой зоны — 5 % и самая высокая доля подкroновой зоны — 53 %. Распределение количества подроста в основном повторяет тенденцию распределения долей зон проекции полога — 5:40:55 % соответственно, что указывает на независимое от структуры полога распределение подроста по площади. Возможно, это связано с высоким участием сосны в составе древостоя, которая, в отличие от ели и лиственных пород, своими ажурными кронами не создает сильного затенения и не столь активно перераспределяет осадки. Важно также отметить относительно равномерное распределение сосны.

Сложность организации полога в смешанных по составу древостоях создает неоднородность физико-химических характеристик лесной подстилки (Prescott, 2002), что, в свою очередь, может оказывать влияние на распределение подроста даже в пределах одной зоны проекции полога. Наши исследования, однако, не подтвердили зависимость между густотой подроста и площадью межкroновой и подкroновой зон проекции полога (независимо от видовой принадлежности). Статистически достоверная корреляция отмечена только для количества подроста и площади прикroновой зоны ($R = 0.68$). Условия местообитаний по границам крон на фоне разнообразия условий освещенности и при более высокой концентрации осадков (Уфимцев и др., 2016) более благоприятны, в то же время можно ожидать усиления влияния корневой конкуренции за воду и питательные вещества со стороны взрослых деревьев (Matlack, Litvaitis, 1999) именно в этой зоне.

Распределение подроста ели европейской по типам микроместообитаний на ПП представлено на рис. 1.

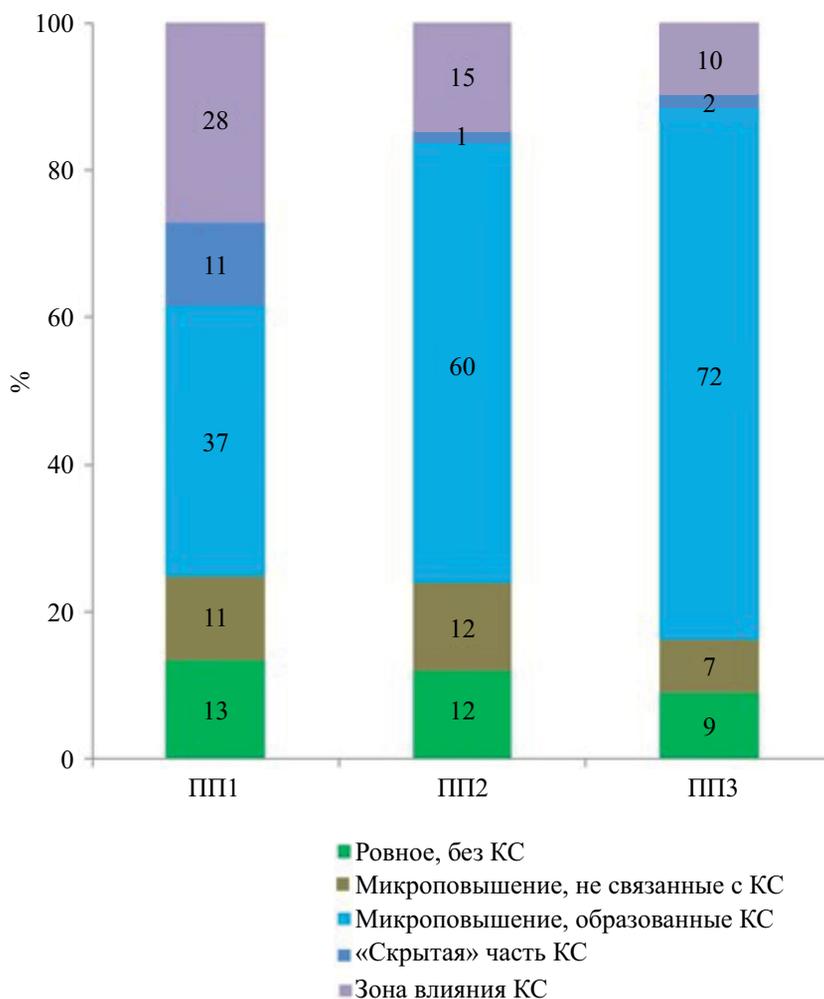


Рис. 1. Распределение подроста *P. abies* по типам микроместообитаний на трех ПП. По оси абсцисс — ПП; по оси ординат — доля подростa, размерность — %.

На ровных участках без КС и микроповышениях, не связанных с КС, сконцентрирована примерно одинаковая доля подростa. В условиях микроместообитаний, образованных древесным детритом, сосредоточено 75 % (ПП 1 и ПП 2) и 84 % (ПП 3) подростa. Считается, что преимущества этого субстрата заключаются в большей аэрации и относительно стабильной влажности, сглаженном температурном режиме, отсутствии корневой конкуренции древесного яруса и угнетения со стороны напочвенного покрова, а также в большей доступности минерального питания (Harmon et al., 1986; Пегов, 1992; Ромашкин, 2021). Ранее исследования по естественному возобновлению ели европейской под пологом материнского древостоя учитывали подрост в основном на валежных стволах и пнях, то есть на видимой части КС (Kathke, Bruelheide, 2010; Ефименко, Алейников, 2019). В бореальных лесах древесные остатки поздних стадий разложения часто погребены под слоем почвы (Stokland et al., 2016) или сплошь прикрыты мхом. На микроместообитаниях, образованных

«скрытой», визуальнo неопределяемой частью КС, найдено от 1 (ПП 2 и ПП 3) до 11 % (ПП 1) подростa (рис. 1). В литературе также редки упоминания о подросте, произрастающем в непосредственной близости от разлагающихся стволов или пней (Kurferschmid, Bugmann, 2005). Между тем, в этой зоне может создаваться особый микроклимат (Сафонов и др., 2017; Vujoczek, Vujoczek, 2022), который поддерживает благоприятные условия для роста ели европейской. По нашим результатам, от 10 (ПП 3) до 27 % (ПП 1) естественного возобновления сосредоточено в непосредственной близости от разлагающихся стволов или пней

Распределение подростa ели европейской на трех ПП

Распределение подростa по типам микроместообитания в зонах проекции полога представлено в табл. 3. Встречаемость подростa в каждом варианте сочетания микроместообитания и зоны проекции полога не превышает 50 %. Высокие значения индекса рассеяния Фишера свидетельствуют о групповом его размещении. Для мелкого подростa характерна

Таблица 3. Основные характеристики распределения подроста ели европейской на трех пробных площадях

Пробная площадь	Зона проекции полога	Тип микроместообитания	<i>P</i> , %	ρ , шт/м ²	<i>I</i>
ПП 1	Межкروновое пространство	Ровное, без КС	18.1±5.0	0.2±0.1	2.1
		М/п, не связанные с КС	13.2±4.4	0.1±0.05	2.3
		М/п, образованные КС	49.1±6.5	1.0±0.5	4.2
		«Скрытая» часть КС	16.0±4.8	0.2±0.1	6.0
		Зона влияния КС	48.5±6.4	0.6±0.2	3.9
	Край кроны	Ровное, без КС	16.4±4.2	0.3±0.1	3.0
		М/п, не связанные с КС	22.7±4.7	0.3±0.1	3.2
		М/п, образованные КС	32.3±5.3	0.5±0.2	2.4
		«Скрытая» часть КС	13.1±3.8	0.2±0.1	3.2
		Зона влияния КС	38.1±5.5	0.5±0.2	3.8
	Подкroновое пространство	Ровное, без КС	21.7±7.0	0.5±0.3	4.2
		М/п, не связанные с КС	21.5±7.0	0.2±0.1	2.1
		М/п, образованные КС	26.1±7.7	0.3±0.1	5.5
		«Скрытая» часть КС	12.0±5.6	0.1±0.05	6.3
		Зона влияния КС	29.0±7.9	0.4±0.2	4.8
ПП 2	Межкroновое пространство	Ровное, без КС	21.4±4.6	0.2±0.1	2.0
		М/п, не связанные с КС	11.5±3.4	0.1±0.05	3.2
		М/п, образованные КС	39.6±5.5	0.7±0.3	3.9
		«Скрытая» часть КС	1.2±1.0	0.02±0.02	7.1
		Зона влияния КС	13.4±3.9	0.1±0.05	5.1
	Край кроны	Ровное, без КС	11.1±2.8	0.1±0.05	2.3
		М/п, не связанные с КС	7.3±2.3	0.1±0.05	2.4
		М/п, образованные КС	34.4±4.2	0.5±0.2	3.5
		«Скрытая» часть КС	2.0±0.8	0.004±0.004	4.3
		Зона влияния КС	20.4±3.6	0.2±0.1	4.1
	Подкroновое пространство	Ровное, без КС	13.1±2.5	0.1±0.001	2.4
		М/п, не связанные с КС	11.6±2.3	0.1±0.001	3.0
		М/п, образованные КС	18.7±2.8	0.3±0.002	3.2
		«Скрытая» часть КС	2.1±0.9	0.01±0.01	6.2
		Зона влияния КС	12.1±2.4	0.1±0.01	5.5
ПП 3	Межкroновое пространство	Ровное, без КС	13.0±9.7	0.4±0.3	10.1
		М/п, не связанные с КС	6.5±7.1	0.03±0.01	-
		М/п, образованные КС	25.5±12.5	0.2±0.1	2.1
		«Скрытая» часть КС	—		
		Зона влияния КС	—		
	Край кроны	Ровное, без КС	6.2±2.0	0.04±0.02	2.1
		М/п, не связанные с КС	4.2±1.9	0.04±0.02	2.3
		М/п, образованные КС	22.0±3.8	0.3±0.1	4.0
		«Скрытая» часть КС	1.3±0.8	0.03±0.03	5.6
		Зона влияния КС	8.2±2.7	0.06±0.01	3.8
	Подкroновое пространство	Ровное, без КС	4.2±1.5	0.02±0.02	2.3
		М/п, не связанные с КС	5.7±1.8	0.04±0.03	3.2
		М/п, образованные КС	23.0±3.4	0.5±0.2	8.4
		«Скрытая» часть КС	—		
		Зона влияния КС	7.1±2.1	0.05±0.03	5.3

Примечание. *P* — встречаемость подроста, ρ — густота подроста, *I* — индекс рассеяния Фишера.

сгруппированность, которая по мере роста и развития деревьев снижается (Манов, 2019). Возраст подростка варьирует от 1 года до 45—50 лет, единично встречаются растения старше 50 лет, самое старшее растение ели европейской в подросте отмечено в возрасте 89 лет на ПП 1. В целом половина (медиана) исследованного подростка на ПП 1 и ПП 2 младше 12 лет и ниже 35 см, на ПП 3 — младше 17 лет и ниже 42 см.

Влияние полога и условий микроместообитания на встречаемость и густоту подростка ели европейской.

На трех ПП параметры горизонтального распределения подростка могут проявлять или не проявлять зависимости от зоны проекции полога влияния полога и микроместообитания (табл. 4).

На исследованных ПП отмечены различные варианты размещения подростка ели европейской. Вопреки господствующим представлениям о всегда большем количестве подростка в окнах, по сравнению с подкроновым пространством, и на валежных стволах, по сравнению с другими микроместообитаниями, мы отмечаем большее количество вариантов его размещения, которое зависит от лесорастительных условий и организации древостоя. На ПП 1 *встречаемость* подростка не проявляет зависимости от зоны проекции полога (табл. 4). Подрост встречается с высокой частотой во всех зонах проекции полога: на 84 % учетных площадок — в межкроновой зоне, 73 % площадок — прикроновой зоне и 68 % площадок — в подкроновой зоне. *Встречаемость* подростка здесь проявляет зависимость только от типа микроместообитания. На валежных стволах и пнях (37 % учетных площадок) и в непосредственной близости от них (40 %) подросток встречается чаще всего. Самая низкая встречаемость подростка отмечена на скрытом в почве КС (14 %). *Густота* подростка также не зависит от зоны проекции полога и значимо не различается в межкроновой, прикроновой и подкроновой зонах (2,1, 1,6 и 1,5 шт/м² соответственно) (рис. 2). Влияние полога проявляется только совместно с типом микроместообитания — наибольшая густота подростка отмечена на валежных стволах и пнях

в межкроновых пространствах. Важно отметить, что статистически не различающиеся, средние значения густоты подростка отмечены в непосредственной близости от валежа в межкроновой зоне, на валеже и в непосредственной близости от него в прикроновой зоне и на почве в подкроновой. Самые низкие значения отмечены на «скрытом» в почве КС (рис. 2).

Встречаемость елового подростка на ПП 2 проявляет зависимость от зоны проекции полога и типа микроместообитания (табл. 4). *Встречаемость* высокая в межкроновой зоне (70 %), последовательно снижается в прикроновой (60 %) и подкроновой (43 %) зонах. Подрост встречается чаще всего на валежных стволах и пнях в межкроновом пространстве (39 %) и по границе крон (34 %). Также с одинаковой частотой (21 %) подросток встречается на почве в межкроновом пространстве, в зоне КС в прикроновой зоне (20 %) и на валежных стволах под кронами (18 %). *Густота* подростка также зависит от двух факторов (рис. 2), она достоверно выше на валежных стволах и пнях, последовательно снижается от межкроновой к подкроновой зоне.

Встречаемость елового подростка на ПП 3 не зависит от зоны проекции полога (табл. 4). В межкроновой, прикроновой и подкроновой зонах древостоя встречаемость подростка одинаково низкая (31, 33 и 30 % соответственно). Тип микроместообитания определяет встречаемость подростка. Наибольшая частота встречаемости подростка наблюдается на валежных стволах и пнях. *Густота* подростка не проявляет зависимости от зоны проекции полога, одинаково низкая (0,6, 0,5, 0,6 шт/м² соответственно) в межкроновом, прикроновом и подкроновом пространствах. Самые высокие значения густоты подростка отмечены на валежных стволах и пнях под кронами древостоя и в прикроновой зоне. Важно отметить, что густота подростка на почве в межкроновом пространстве сопоставима с густотой подростка на валежных стволах в прикроновой и подкроновой зонах (рис. 2).

Таблица 4. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа, характеризующие значимость различий параметров горизонтального распределения подростка ели европейской на трех пробных площадях

Признак	ПП	N	Зона проекции полога			Тип микроместообитания			Взаимодействие факторов		
			df	F	p	df	F	p	df	F	p
Встречаемость, %	ПП 1	855	2	1.86	0.16	4	11.10	0.00	8	1.39	1.19
	ПП 2	1985		5.75	0.00		40.16			4.41	0.00
	ПП 3	1480		0.55	0.57		13.65			0.50	0.85
Густота, шт/м ²	ПП 1	855		1.52	0.22		7.98			0.00	3.01
	ПП 2	1985		5.69	0.00		43.46				3.76
	ПП 3	1480		0.16	0.84		6.47				1.75

Примечание. N — объем выборки, df — число степеней свободы, F — критерий Фишера, p — уровень значимости.

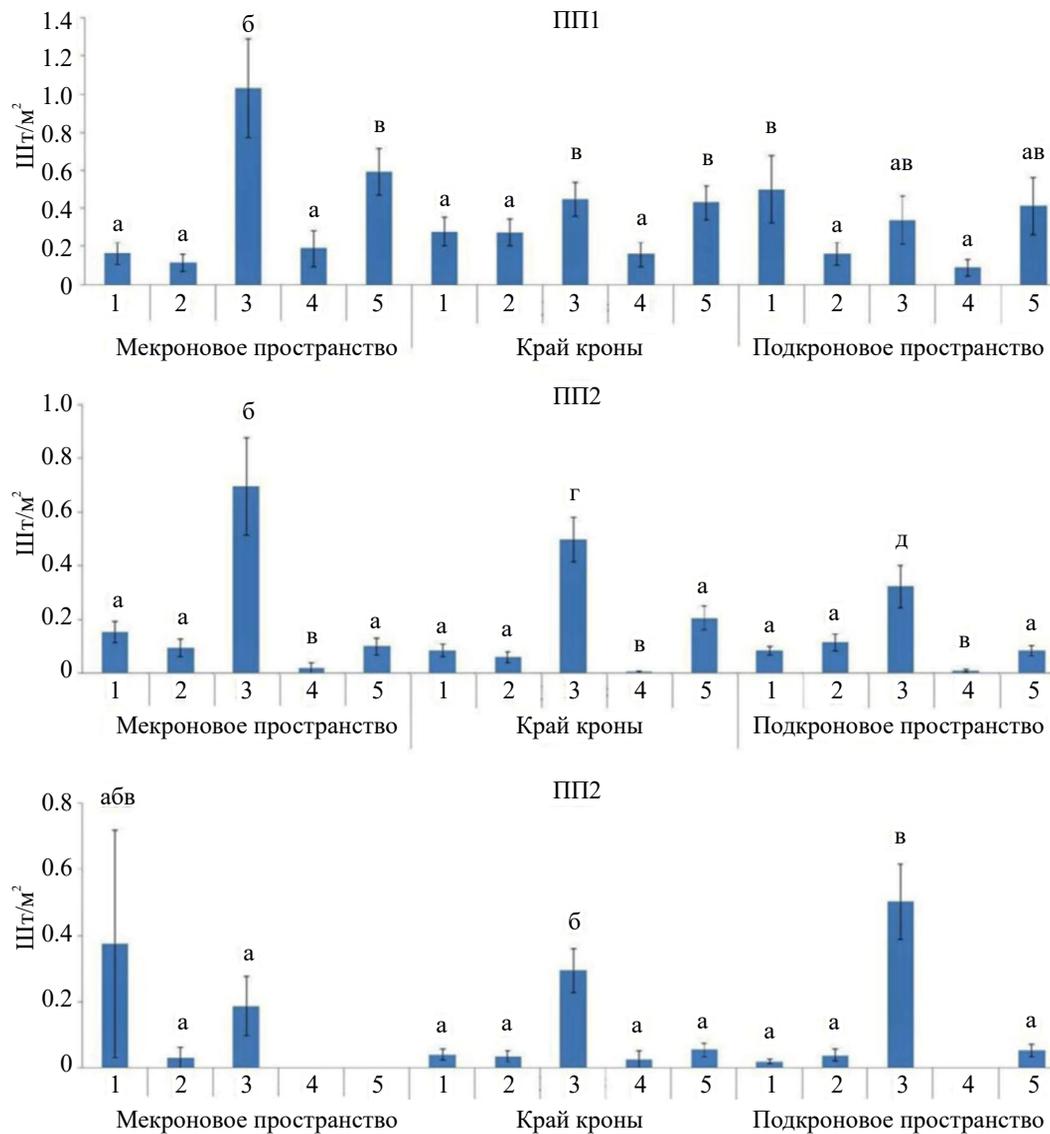


Рис. 2. Густота подроста *P. abies* в условиях разных микроместообитаний (1 — Ровное, без КС; 2 — Микроповышения, не связанные с КС; 3 — Микроповышения, образованные КС; 4 — «Скрытая» часть КС; 5 — Зона влияния КС) и зон проекции полога на трех ПП. По оси абсцисс — тип микроместообитания и зона проекции полога; по оси ординат — густота подроста, размерность — шт/м². Разные буквы обозначают статистически значимые различия между микроместообитаниями ($p \leq 0.05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение подроста в коренных среднетаежных ельниках зависит от сочетания нескольких факторов: лесорастительных условий, состава древостоя, разнообразия микроместообитаний, в т. ч. сформированных мертвой древесиной на разных стадиях разложения.

Исследованы три типа сообщества: ельник черничный с относительно однородным по составу древесным ярусом, ельник чернично-кисличный с активным участием в древостое березы и осины и ельник чернично-кисличный с сосной. Зависимость встречаемости и густоты подроста от зоны проекции

кроны обнаружена только в сообществе с высокой долей лиственных пород в древесном ярусе — максимально высокая в межкroновом пространстве и последовательно снижается в направлении к подкroновой зоне. При этом влияние полога на густоту подроста проявляется совместно с типом микроместообитаний, образованных древесным детритом, — наиболее высокие значения отмечаются на валеже в межкroновом и прикroновом пространствах. В последнем случае закономерность наблюдается во всех исследованных сообществах. По краю кроны создаются благоприятные условия по увлажнению и обогащению субстрата питательными веществами, но здесь же концентрируются питающие корни

взрослых деревьев — произрастание подроста на валеже может быть хорошим вариантом использования преимущества прикроновой зоны с одновременным уходом от конкуренции с деревьями первого яруса.

В целом же около 80 % подроста во всех исследованных сообществах связано с древесными остатками разной степени разложения. Связанные с древесным детритом микроместообитания представлены валежными стволами/пнями (здесь на разных ПП произрастает от 37 до 72 % подроста), прилегающим к ним пространством (10—27 %), а также визуально не определяемыми в почве древесными остатками (1—11 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляева Н. В.* Закономерности изменения структуры и состояния молодого поколения ели в условиях интенсивного хозяйственного воздействия: дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.03.02. Архангельск, 2013. 43 с.
- Бобкова К. С., Бессонов И. М.* Естественное возобновление в среднетаежных ельниках Европейского северо-востока // *Лесоведение*. 2009. № 5. С. 10—16.
- Возмищева А. С., Лонкина Е. С., Крестов П. В.* Размещение подроста в микрогруппировках и окнах северных широколиственно-кедровых лесов // *Вестник КрасГАУ*. 2012. № 3. С. 135—140.
- Волков С. Н., Мухин А. С., Чистяков С. А., Налепин В. П., Кондрашина Е. С.* Особенности естественного лесовозобновления в условиях южной тайги на примере ельников заповедника «Кологривский лес» // *Лесохозяйственная информация*. 2021. № 2. С. 39—48.
- Воронова В. С.* Естественное возобновление под пологом еловых лесов // *Труды Карельского филиала Академии наук СССР. Выпуск ХВИ. Исследования по лесовозобновлению в Карелии*. Петрозаводск: Госиздат Карел. АССР, 1959. С. 30—37.
- Грязькин А. В.* Экологические факторы регулирования возобновительных свойств таежных ельников: На примере преобладающих типов леса: дис. ... доктора биологических наук: 03.00.16. Сыктывкар, 1998. 41 с.
- Дыренков С. А.* Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 176 с.
- Евстигнеев О. И., Горнова М. В.* Микросайты и поддержание флористического разнообразия высокотравных ельников (на примере памятника природы «Болото Рыжуха», Брянская область) // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2017. Т. 2. № 2. С. 1—21.
- Ефименко А. С., Алейников А. А.* Роль микросайтов в естественном возобновлении деревьев в темной хвойных высокотравных лесах Северного Предуралья // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2019. № 2. С. 204—214. doi.org/10.1134/C000233291902005X
- Ильчуков С. В.* Горизонтальная структура подроста ели в спелых среднетаежных ельниках // *Лесной журнал*. 2008. № 1. С. 64—68.
- Карпачевский Л. О., Зубкова Т. А., Ташинова Л. Н., Руденко Р. Н.* Почвенный покров и парцеллярная структура лесного биогеоценоза // *Лесоведение*. 2007. № 6. С. 107—113.
- Манов А. В.* Горизонтальная структура древостоя и подроста ельника разнотравно-черничного средней тайги Республики Коми // *Лесоведение*. 2019. № 4. С. 286—293.
- Манов А. В., Кутявин И. Н.* Горизонтальная структура древостоев и подроста северотаежных коренных ельников чернично-сфагновых в Приуралье // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2018. № 6. С. 78—88. doi:10.17238/иссн0536-1036.2018.6.78
- Мелехов И. С.* Биология, экология и география возобновления леса // *Возобновление леса*. М., 1975. С. 4—22.
- Пегов Л. А.* Исследование точности выборочного учета подроста под пологом древостоев // *Лесоведение*. 1992. № 4. С. 51—59.
- Ромашкин И. В.* Динамика биогенных элементов в процессе разложения валежа в среднетаежных ельниках: дис. ... канд. биол. наук: 1.5.15. Петрозаводск, 2021. 23 с.
- Сафонов М. А., Остапенко А. В., Уварова А. И.* Специфика экотопов, формируемых древесным детритом в лесных экосистемах Южного Предуралья // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 6.
- Свалов С. Н.* Применение статистических методов в лесоводстве // *Итоги науки и техники: Лесоведение и лесоводство*. 1985. № 4. С. 1—164.
- Семенюк О. В., Телеснина В. М., Богатырев Л. Г., Бендиктова А. И., Кузнецова Я. Д.* Оценка внутрибиогеоценозной изменчивости лесных подстилок и травяно-кустарничковой растительности в еловых насаждениях // *Почвоведение*. 2020. № 1. С. 31—43.
- Стороженко В. Г.* Древесный отпад в коренных лесах Русской равнины. М.: Товарищество научных изданий КМК., 2011. 122 с.
- Стороженко В. Г.* Естественное возобновление в коренных разновозрастных ельниках европейской тайги России // *Сибирский лесной журнал*. 2017. № 3. С. 87—92.
- Уфимцев В. И., Беланов И. П., Куприянов О. А.* Эколого-ценотическая роль фитогенных полей сосны обыкновенной на отвалах угольной промышленности // *Сибирский экологический журн.* 2016. № 1. С. 164—175.
- Федорец Н. Г., Морозова Р. М., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н.* Почвы и почвенный покров заповедника «Кивач» // *Труды Карельского НЦ РАН*. 2006. № 10. С. 131—152.
- Battles J. J., Fahey T. J.* Gap dynamics following forest decline: a case study of red spruce forests // *Ecological Applications*. 2000. № 10. P. 760—774.

- Bujoczek L., Bujoczek M. Factors influencing the diversity of deadwood, a crucial microhabitat for many rare and endangered saproxylic organisms // *Ecological Indicators*. 2022. № 142. P. 109197. doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109197
- Červenka J., Bače R., Svoboda M. Stand-replacing disturbance does not directly alter the succession of Norway spruce regeneration on dead wood // *Journal of Forest Science*. 2014. V. 60 (10). P. 417–424. doi.org/10.17221/43/2014-JFS
- Erikäinen K., Miina J., Valkonen S. Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern Finland // *Forest Ecology and Management*. 2007. V. 242. P. 444–461.
- Hammond M. E., Pokorný R. Preliminary assessment of effect of disturbance on natural regeneration in gaps of different sizes // *Journal of Forest Science*. 2020. V. 66. № 5. P. 185–196.
- Harmon M. E., Franklin J. F., Swanson F. J., Sollins P., Gregory S. V., Lattin J. D., Anderson N. H., Cline S. P., Aumen N. G., Sedell J. R., Lienkaemper G. W., Cromack K., Cummins K. W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems // *Advances in Ecological Research*. 1986. № 15. P. 133–263. doi.org/10.1016/s0065-2504(03)34002-4
- Harmon M. E., Franklin J. F. Tree Seedlings on Logs in Picea-Tsuga Forests of Oregon and Washington // *Ecology*. 1989. V. 70. P. 48–59. https://doi.org/10.2307/1938411
- Hofgaard A. Structure and regeneration patterns in a virgin Picea abies forest in Northern Sweden // *Journal of Vegetation Science*. 1993. № 4. P. 601–608. https://doi.org/10.2307/3236125
- Kathke S., Bruelheide H. Interaction of gap age and microsite type for the regeneration of Picea abies // *Forest Ecology and Management*. 2010. V. 259. P. 1597–1605.
- Kupferschmid A. D., Bugmann H. Effect of microsites, logs and ungulate browsing on Picea abies regeneration in a mountain forest // *Forest Ecology and Management*. 2005. V. 205. P. 251–265.
- Kuuluvainen T., Wallenius T. H., Kauhanen H., Aakala T., Mikkola K., Demidova N., Oginin B. Episodic, patchy disturbances characterize an old-growth Picea abies dominated forest landscape in northeastern Europe // *Forest Ecology and Management*. 2014. V. 320. P. 96–103.
- Leemans R. Canopy gaps and establishment patterns of spruce (Picea abies (L.) Karst.) in two old-growth coniferous forests in central Sweden // *Vegetatio*. 1991. V. 93. P. 157–165. https://doi.org/10.1007/BF00033209
- Liu F., Tan C., Yang Z., Li J., Xiao H., Tong Y. Regeneration and growth of tree seedlings and saplings in created gaps of different sizes in a subtropical secondary forest in southern China // *Forest Ecology and Management* 511 (2022) 120143.
- Lundqvist L., Chrimes D., Elfving B., Mörling T., Valinger E. Stand development after different thinnings in two uneven-aged Picea abies forests in Sweden // *Forest Ecology and Management*. 2007. V. 238. P. 141–146.
- Matlack G. R., Litvaitis J. A. Forest edges. // *Maintaining Diversity in Forest Ecosystems*. Cambridge, 1999. P. 210–233.
- Poulson T. L., Platt W. J. Gap light regimes influence canopy tree diversity // *Ecology*. 1989. V. 70. P. 553–555.
- Prescott C. E. The influence of the forest canopy on nutrient cycling // *Tree Physiol*. 2002. V. 22 (15–16). P. 193–200. doi.org/10.1093/treephys/22.15-16.1193
- Shorohova E., Kuuluvainen T., Kangur A., Jogiste K. Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies // *Annals of Forest Science*. 2009. V. 66. P. 201.
- Stokland J. N., Woodall C. W., Fridman J., Ståhl G. Burial of downed deadwood is strongly affected by log attributes, forest ground vegetation, edaphic conditions, and climate zones // *Canadian Journal of Forest Research*. 2016. V. 46 (12). P. 1451–1457. doi.org/10.1139/cjfr-2015-0461
- Ulanova N. G. The effects of windthrow on a forest at different spatial scales: a review // *Forest Ecology and Management*. 2000. V. 135. P. 155–167.

Distribution of European Spruce in Undergrowth of Mid-Boreal Spruce Stand

A. V. Kikeeva^{1,*}, I. V. Romashkin¹, A. M. Kryshen¹

¹ Forest Research Institute of the KarRC RAS
Pushkinskaya Str., 11, Petrozavodsk, 185910, Russia

* E-mail: avkikeeva@mail.ru

The distribution of *Picea abies* (L.) H. Karst. undergrowth in three types of communities was studied: blueberry spruce forest with a relatively homogeneous tree composition, wood-sorrel-blueberry spruce forest with birch and aspen, and wood-sorrel-blueberry spruce forest with pine. Woody detritus as a microhabitat is represented not only by dead trunks and stumps (37 to 72% of the undergrowth grows there), but also by the adjacent space (10–27%), as well as by visually undetectable woody remains in

the soil (1–11 %). In the blueberry spruce forest, the gaps occupy one third of the area with 46 % of the undergrowth, while the inter-crown zone occupies half of the area with 37 % of the undergrowth. The occurrence of the undergrowth is high in all zones (84, 73, 68 %), with clusters on dead wood (37 %) and in adjacent microhabitats (40 %). The density of undergrowth depends on the joint influence of factors — the highest values on deadwood in the gap space (1.0 specimen/m²), the average values — in the gap space near deadwood (0.6), in the inter-crown space on deadwood (0.5) and near it (0.5), as well as in the under-crown areas without deadwood (0.5), the lowest values — on “hidden” in the soil wood remnants (0.1–0.2). In wood-sorrel-blueberry spruce forest with aspen as part of the stand, the canopy organisation becomes more complicated, the undergrowth is almost evenly distributed across the canopy projection space categories with their ratio being 12:33:55 %. The maximum values of undergrowth occurrence and density are found on deadwood in the gap space (39 % and 0.7 pcs/m²), decreasing under the canopy (18 % and 0.3 pcs/m²). In wood-sorrel-blueberry spruce-pine forest the distribution of undergrowth is random: in all space categories the values of occurrence (31, 33, 30 %) and density (0.6, 0.5, 0.6 pcs/m²) are equally low, with the highest values of density found on deadwood under crowns (0.5 pcs/m²). Thus, the distribution of undergrowth in native middle taiga spruce forests is determined by a combination of factors: forest growing conditions, stand composition, diversity of microhabitats, including those formed by dead wood at different stages of decomposition.

Keywords: natural regeneration, spruce, *Picea abies*, microsite, xylolytic substrate, phytogenic field, woody detritus.

Acknowledgements: The study was financially supported by RSF under scientific project No. 23-24-00371.

REFERENCES

- Battles J. J., Fahey T. J., Gap dynamics following forest decline: a case study of red spruce forests, *Ecological Applications*, 2000, no. 10, pp. 760–774.
- Belyaeva N. V., *Zakonomernosti izmeneniya struktury i sostoyaniya molodogo pokoleniya eli v usloviyakh intensivnogo khozyaistvennogo vozdeystviya. Dis. ... doktora sel'skokhozyaistvennykh nauk* (Patterns of changes in the structure and condition of the young generation of spruce under conditions of intensive economic impact. Doctor's agric. sci. thesis), Arkhangelsk, 2013, 43 p.
- Bobkova K. S., Bessonov I. M., Estestvennoe vozobnovlenie v srednetaezhnykh el'nikakh Evropeiskogo severo-vostoka (Natural regeneration in southern taiga spruce forests of the European North-East), *Lesovedenie*, 2009, no. 5, pp. 10–16.
- Bujoczek L., Bujoczek M., Factors influencing the diversity of deadwood, a crucial microhabitat for many rare and endangered saproxylic organisms, *Ecological Indicators*, 2022, no. 142, pp. 109197. doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109197
- Červenka J., Bače R., Svoboda M., Stand-replacing disturbance does not directly alter the succession of Norway spruce regeneration on dead wood, *Journal of Forest Science*, 2014, vol. 60 (10), pp. 417–424. doi.org/10.17221/43/2014-JFS
- Dyrenkov S. A., *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* (Structure and dynamics of the boreal spruce forest), Leningrad: Nauka, 1984, 174 p.
- Eerikäinen K., Miina J., Valkonen S., Models for the regeneration establishment and the development of established seedlings in uneven-aged, Norway spruce dominated forest stands of southern Finland, *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 242, pp. 444–461.
- Efimenko A. S., Aleinikov A. A., Rol' mikrosaitov v estestvennom vozobnovlenii derev'ev v temnokhvoinykh vysokotravnnykh lesakh Severnogo Predural'ya (The role of the microsites in natural regeneration of trees in boreal tall herb dark-needled forests of the Northern Urals), *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*, 2019, no. 2, pp. 204–214. doi.org /10.1134/C000233291902005X
- Evstigneev O. I., Gornova M. V., Mikrosaity i podderzhanie floristicheskogo raznoobraziya vysokotravnnykh el'nikov (na primere pamyatnika prirody “Boloto Ryzhukha”, Bryanskaya oblast') (Microsites and maintenance of floristic diversity of tall-herb spruce forest (on the example of the Ryzhukha swamp natural monument, Bryansk region)), *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2017, vol. 2, no. 2, pp. 1–21.
- Fedorets N. G., Morozova R. M., Bakhmet O. N., Solodovnikov A. N., Pochvy i pochvennyi pokrov zapovednika “Kivach” (Soils and the soil cover of the Kivach stict nature reserve), *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi Akademii nauk*, 2006, no. 10, pp. 131–152.
- Gryaz'kin A. V., *Ekologicheskie faktory regulirovaniya vozobnovitel'nykh svoistv taezhnykh el'nikov: Na primere preobladayushchikh tipov lesa. Dis. doktora biologicheskikh nauk* (Ecological factors regulating the regenerative properties of taiga spruce forests: based on the example of the predominant forest types. Doctor's biol. sci. thesis), 1998, 41 p.
- Hammond M. E., Pokorný R., Preliminary assessment of effect of disturbance on natural regeneration in gaps of different sizes, *Journal of Forest Science*, 2020, vol. 66, no. 5, pp. 185–196.
- Harmon M. E., Franklin J. F., Swanson F. J., Sollins P., Gregory S. V., Lattin J. D., Anderson N. H., Cline S. P., Aumen N. G., Sedell J. R., Lienkaemper G. W., Cromack K., Cummins K. W., Ecology of coarse woody

- debris in temperate ecosystems, *Advances in Ecological Research*, 1986, no. 15, pp. 133–263. doi.org/10.1016/s0065-2504(03)34002-4
- Harmon M. E., Franklin J. F., Tree Seedlings on Logs in Picea-Tsuga Forests of Oregon and Washington, *Ecology*, 1989, vol. 70, pp. 48–59. <https://doi.org/10.2307/1938411>
- Hofgaard A., Structure and regeneration patterns in a virgin *Picea abies* forest in Northern Sweden, *Journal of Vegetation Science*, 1993, no. 4, pp. 601–608. <https://doi.org/10.2307/3236125>
- Il'chukov S. V., Gorizontāl'naya struktura podrosta eli v spelykh srednetaezhnykh el'nikakh (Horizontal structure of spruce undergrowth in mature middle-taiga spruce forests), *Lesnoi zhurnal*, 2008, no. 1, pp. 64–68.
- Karpachevskii L. O., Zubkova T. A., Tashnina L. N., Rudenko R. N., Pochvennyi pokrov i partsellyarnaya struktura lesnogo biogeotsenoza (The soil cover and parcel structure of a forest biogeocenosis), *Lesovedenie*, 2007, no. 6, pp. 107–113.
- Kathke S., Bruelheide H., Interaction of gap age and microsite type for the regeneration of *Picea abies*, *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, pp. 1597–1605.
- Kupferschmid A. D., Bugmann H., Effect of microsites, logs and ungulate browsing on *Picea abies* regeneration in a mountain forest, *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 205, pp. 251–265.
- Kuuluvainen T., Wallenius T. H., Kauhanen H., Aakala T., Mikkola K., Demidova N., Ogibin B., Episodic, patchy disturbances characterize an old-growth *Picea abies* dominated forest landscape in northeastern Europe, *Forest Ecology and Management*, 2014, vol. 320, pp. 96–103.
- Leemans R., Canopy gaps and establishment patterns of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in two old-growth coniferous forests in central Sweden, *Vegetatio*, 1991, vol. 93, pp. 157–165. <https://doi.org/10.1007/BF00033209>
- Liu F., Tan C., Yang Z., Li J., Xiao H., Tong Y., Regeneration and growth of tree seedlings and saplings in created gaps of different sizes in a subtropical secondary forest in southern China, *Forest Ecology and Management*, 2022, no. 511 (2022), 120143.
- Lundqvist L., Chrimes D., Elfving B., Mörling T., Valinger E., Stand development after different thinnings in two uneven-aged *Picea abies* forests in Sweden, *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 238, pp. 141–146.
- Manov A. V., Gorizontāl'naya struktura drevostoya i podrosta el'nika raznotravno-chernichnogo srednei taigi Respubliki Komi (Lateral structure of stand and undergrowth in herbaceous-blueberry spruce forest in middle taiga, the Republic of Komi), *Lesovedenie*, 2019, no. 4, pp. 286–293.
- Manov A. V., Kut'yavin I. N., Gorizontāl'naya struktura drevostoev i podrosta severotaezhnykh korennykh el'nikov chernichno-sfagnovykh v Priural'e (Horizontal structure of forest stands and new growth of Northern taiga virgin blueberry-sphagnum spruce forests in Cisurals), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2018, no. 6, pp. 78–88. doi.org/10.17238/иссн0536-1036.2018.6.78.
- Matlack G. R., Litvaitis J. A., Forest edges, In: *Maintaining Diversity in Forest Ecosystems*, Cambridge, 1999, pp. 210–233.
- Melekhov I. S., Biologiya, ekologiya i geografiya vozobnovleniya lesa (Biology, ecology and geography of reforestation), In: *Vozobnovlenie lesa* (Reforestation), Moscow: Kolos, 1975, pp. 4–22.
- Pegov L. A., Issledovanie tochnosti vyborochnogo ucheta podrosta pod pologom drevostoev (The study of the accuracy of selective accounting of undergrowth under the canopy of tree stands), *Lesovedenie*, 1992, no. 4, pp. 51–59.
- Poulson T. L., Platt W. J., Gap light regimes influence canopy tree diversity, *Ecology*, 1989, vol. 70, pp. 553–555.
- Prescott C. E., The influence of the forest canopy on nutrient cycling, *Tree Physiol*, 2002, vol. 22 (15-16), pp. 193–200. doi.org/10.1093/treephys/22.15-16.1193
- Romashkin I. V., *Dinamika biogennykh elementov v protsesse razlozheniya valezha v srednetaezhnykh el'nikakh. Dis. kand. biol. nauk* (Dynamics of nutrients during the decomposition of dead wood in mid-taiga spruce forests. Candidate's biol. sci. thesis), Petrozavodsk, 2021, 23 p.
- Safonov M. A., Ostapenko A. V., Uvarova A. I., Spetsifika ekotopov, formiruemykh drevesnym detritom v lesnykh ekosistemakh Yuzhnogo Predural'ya (The specificity of the ecotopes generated by woody detritus in forest ecosystems of the Southern Urals), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 6.
- Semenyuk O. V., Telesnina V. M., Bogatyrev L. G., Benediktova A. I., Kuznetsova Y. D., Assessment of intra-biogeocenotic variability of forest litters and dwarf shrub-herbaceous vegetation in spruce stands, *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, no. 1, pp. 27–38.
- Shorohova E., Kuuluvainen T., Kangur A., Jogiste K., Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies, *Annals of Forest Science*, 2009, vol. 66, p. 201.
- Stokland J. N., Woodall C. W., Fridman J., Ståhl G., Burial of downed deadwood is strongly affected by log attributes, forest ground vegetation, edaphic conditions, and climate zones, *Canadian Journal of Forest Research*, 2016, vol. 46 (12), pp. 1451–1457. doi.org/10.1139/cjfr-2015-0461
- Storozhenko V. G., *Drevesnyi otpad v korennykh lesakh Russkoi ravniny* (Woody debris in primary forests of the East European plain), Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2011, 122 p.
- Storozhenko V. G., Estestvennoe vozobnovlenie v korennykh raznovozrastnykh el'nikakh evropeiskoi taigi Rossii (Natural regeneration in native uneven-aged spruce forests of the European Russian taiga), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2017, no. 3, pp. 87–92.
- Svalov S. N., Primenenie statisticheskikh metodov v lesovodstve (Application of statistical methods in silviculture), *Itogi nauki i tekhniki. Seriya: Lesovedenie i lesovodstvo*, 1985, vol. 4, pp. 164.

- Ufimtsev V. I., Kupriyanov O. A., Belanov I. P., Ecological-cenotic role of phytogenous fields of Scots pine on coal dumps, *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, vol. 9, no. 1, pp. 140–149.
- Ulanova N. G., The effects of windthrow on a forest at different spatial scales: a review, *Forest Ecology and Management*, 2000, vol. 135, pp. 155–167.
- Volkov S. N., Mukhin A. S., Chistyakov S. A., Nalepin V. P., Kondrashina E. S., Osobennosti estestvennogo lesovozobnovleniya v usloviyakh yuzhnoi taigi na primere el'nikov zapovednika "Kologrivskii les" (Forest regeneration in the conditions of the southern taiga on the example of the spruce stands of the "Kologrivsky Forest" Nature Reserve), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2021, no. 2, pp. 39–48.
- Voronova V. S., Estestvennoe vozobnovlenie pod pologom elovykh lesov (Natural regeneration under the canopy of spruce forests), *Trudy Karel'skogo filiala Akademii nauk SSSR*, 1959, Issue XVI. Research on reforestation in Karelia, pp. 30–37.
- Vozmishcheva A. S., Lonkina E. S., Krestov P. V., Razmeshchenie podrosta v mikrogruppировkakh i oknakh severnykh shirokolistvenno-kedrovyykh lesov (Young growth distribution in the microcommunities and openings of the northern broadleaved-Korean pine forests), *Vestnik KrasGAU*, 2012, no. 3, pp. 135–140.

УДК 639*43; 631*445

ОТПАД ДРЕВЬЕВ В ОСУШЕННЫХ СОСНЯКАХ КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВЫХ ПОСЛЕ ТОРФЯНОГО ПОЖАРА¹

© 2024 г. М. В. Покоева^{1,*}, Т. В. Глухова¹, А. А. Сири¹

¹ Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Одинцовский р-н, Московская обл, 143030, Россия

* E-mail: mpokeyeva@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.10.2023

После доработки 18.12.2023

Принята к публикации 12.04.2024

Приведены результаты многолетних наблюдений за процессом отпада деревьев в осушенных кустарничково-сфагновых сосняках на верховом болоте в Тверской области Западнодвинского района, пройденном низовым (торфяным) пожаром средней интенсивности, который привел к гибели 80–100 % более продуктивного, чем до осушения, древостоя. Последствия для древостоя оказались более сильными вблизи осушительных каналов (96 % погибших деревьев), чем на удаленных от каналов участках (87 %). В меньшей степени сосняки пострадали на окрайке болота. Показано наличие зависимости величины послепожарного отпада деревьев от высоты нагара на стволах ($R^2 = 0.5622$).

Ключевые слова: олиготрофные болота, торфяная почва, низовые пожары, осадки, уровень почвенно-грунтовых вод, нагар на стволах

DOI: 10.31857/S0024114824030032, EDN: PEHONG

Лесные пожары оказывают значительное влияние на состояние и развитие природных экосистем. Особыми последствиями отличаются лесные торфяные пожары, возникающие в условиях болот и заболоченных лесов. Торфяные пожары характеризуются специфической течением, длительностью, выбросом особо опасных для человека продуктов горения (Сири и др., 2020). Они лидируют среди природных пожаров по количеству сгораемого материала на единицу площади (Huang, Reuin, 2017; Сири и др., 2019). Торфяные пожары могут возникать везде, где есть болота (Hu et al.; 2018), в нашей стране — во всех природных зонах (Minaeva et al., 2013), и наиболее часто — в лесной, являясь естественным фактором развития лесных и болотных экосистем.

Болота вместе с заболоченными мелкоотторфованными землями (мощность торфа <30 см), с которыми они экологически близки и часто трудно делимы в пространстве, занимают более 1/5 территории страны (Вомперский и др., 1994). Наиболее заболочена лесная зона, где широко представлены верховые (олиготрофные) болота, составляющие 18.8 % от всей площади болот страны (Вомперский и др., 2005). Более половины верховых болот облесены: 27.9 % сомкнутой и 26.1 % редкостойной древесной растительностью (Вомперский и др., 2011). На большей

части территории страны до Енисея облесенные верховые болота представлены преимущественно сосняками кустарничково-сфагновыми (например, «рямы» Западной Сибири) разной полноты, высоты и диаметра, восточнее их сменяют лиственничники.

На международном (Assessment... 2008) и национальном (Вомперский и др., 2004; Зайдельман, 2011) уровнях пожары отмечены среди наибольших угроз для болот при изменении климата. Возникающие в лесах и на болотах торфяные пожары нарушают целостность экосистемы и непрерывность природных процессов, являясь разрушающим фактором (Жила, 2013).

Изучение последствий торфяного пожара в случае объекта лесосушения создает предпосылки для анализа влияния различий лесорастительных условий, которые возникают в результате влияния дренажа. Водное питание верховых болот определяется исключительно атмосферной влагой, поэтому они наиболее уязвимы среди болот к колебаниям погодно-климатических условий. В сухие периоды при падении уровней болотных вод происходит разрыв капиллярной каймы, чему способствует высокая пористость верхних слабо разложившихся слоев торфа и сфагнового очеса (Сири, 1999). Это защищает болота от дальнейшей потери влаги, но повышает горючесть поверхностных слоев, включая мох, очес и подстилающий торф. Пожарную опасность увеличивают богатые эфирными маслами кустарнички (Конов, 1977) и пятна лишайников.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта (№ 23-74-00067).

Целью данной работы было рассмотрение динамики отпада древесного после низового торфяного пожара в осушенных сосняках кустарничково-сфагновых за 20-летний период.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследование послепожарного отпада древесного проводили на осушенном открытыми каналами верховом болоте центрально-олиготрофного хода развития Сосвятское, в кустарничково-сфагновых сосняках, на Западнодвинском лесоболотном стационаре Института лесоведения РАН, в Тверской области Западнодвинского района (N56° 09', E32° 10').

Торфяная залежь исследуемого болотного массива имеет мощность 3 м, а крайка болота — 0.8 м. Залежь сформирована сфагновыми и кустарничково-травяными торфами со степенью разложения, не превышающей 20—25%. Объемная масса (плотность) в верхнем полуметровом слое изменяется от 0.050 до 0.087 г/см³. Зольность составляет 3—5%.

В нижних ярусах на участках с различным соотношением видов среди трав и кустарничков преобладают пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), подбел обыкновенный (*Andromeda polifolia* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), из второстепенных видов — марьянник луговой (*Melampyrum pratense* L.), росянка круглолистная (*Drosera rotundifolia* L.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.). Сфагновые мхи представлены сфагнумом божевественным (*Sphagnum magellanicum*), сфагнумом узколиственным (*Sph. angustifolium* (Russ.) C. Jens.), сфагнумом бурым (*Sph. fuscum* (Schimp.) Klinggr.).

В августе 1999 года на юго-западном склоне болотного массива Сосвятское произошел низовой торфяной пожар на площади 29 га, где опытная осушительная сеть, проложенная в 1972 г., имела различные расстояния между осушительными каналами (60—160 м) при глубине их ко времени пожара 1 м (рис. 1). Данные предыдущего исследования (Вомперский и др., 2007) показывают, что огонь продвигался внутри межканавья 160 м



Рис. 1. Схема расположения ПУ на территории, пройденной пожаром 1999 г. Условные обозначения: сплошные линии — осушительные каналы; пунктирная линия — граница пожара. ПУ 1а, 2а, 2б, 4а — приканальные полосы; ПУ 1, 2, 4 — середина между каналами; ПУ 3 — крайка болота.

Таблица 1. Характеристика пробных площадей, пройденных пожаром, на болотном массиве Сосвятское до пожара

ПП	ПУ	Расстояние между каналами, м	Общее количество деревьев до пожара		Древостой		
			шт/га	шт/ПУ	d, см	h, м	Возраст, лет
1	1	160	2958	355	11.9	9.4	90—110
	1a		3130	275	12.1	10.0	80—130
2	2	60	5123	292	12.0	10.2	70—100
	2a		5965	340	12.2	10.9	50—110
	2б		4000	228	12.5	10.4	70—80
3	3	Окрайка болота	2344	293	17.1	15.1	60—110
4	4	106	4720	354	12.9	10.6	100—130
	4a		3267	245	11.6	10.1	90—130

(пробная площадь 1, далее ПП 1) в обоих направлениях, но больше на восток. Позже низовой пожар перебросился через канаву, в соседнее с юга межканавье. Распространение огня на запад было приостановлено магистральным каналом, продвижение пожара на север продолжалось внутри межканавья 60 м (ПП 2). Пожар был локализован за 12 часов, но тление длилось еще сутки.

Согласно многолетним данным метеостанции Западной Двины (Тверская обл.), вегетационные периоды 1999—2004 гг. характеризовались более теплой погодой и малым количеством осадков. За май-июль 1999 г. осадков выпало на 33 % меньше нормы. Это вызвало понижение болотных вод к началу августа вблизи каналов на 69—72 см, а в середине — на 50—62 см (соответственно на ПП 1 и ПП 2). Прекратился сток по осушительной сети. Однако за неделю до пожара прошли три дождя и выпало 97.5 мм осадков, в результате которых уровень болотных вод между каналами поднялся до 18—31 см от поверхности почвы, а вблизи каналов — до 37—38 см (соответственно на ПП 4 и ПП 2). Пожар случился, когда уровень почвенно-грунтовых вод (УПГВ) был близок к среднегодовой норме. Замеры УПГВ осуществлялись полой алюминиевой трубкой диаметром 1 см и длиной 150 см с нанесенными по внешней стороне миллиметровыми рисками. Смотровые скважины (колодцы), в которых замеряли УПГВ, представляют собой полые, перфорированные по всей длине пластиковые трубы диаметром 3 см, один из концов которых закреплен в минеральном грунте или на значительной (до 2 м) глубине в торфе. До пожара на болотном массиве произрастали разновозрастные (40—130 лет) сосняки кустарничково-сфагновые III—IV классов текущего бонитета. В сосняках проводили переписательную таксацию по ступеням толщины с определением диаметра (d), высоты (h) и возраста древостоя. Древостой рассматривались как условно двухъярусные.

На территории, пройденной огнем, были заложены четыре ПП от 0.15 до 0.24 га в самых репрезентативных местах: учитывались интенсивность пожара (т. к. выгорание было неравномерным), степень

осушения — расстояние между каналами, УПГВ на каждой ПП в приканавных зонах и в середине межканавного пространства. ПП были разделены дополнительно на пробные участки (ПУ) в зависимости от положения в межканавном пространстве (рис. 1). ПП характеризовали участки с расстоянием между осушительными каналами 160 (ПУ 1, 1a), 106 (ПУ 4, 4a) и 60 м (ПУ 2, 2a, 2б). ПП 3 была заложена на пройденной огнем окрайке болота (табл. 1).

Сплошной перебор проводили в 2001, 2002, 2004, 2014 гг., было посчитано и измерено 2382 дерева. При оценке послепожарного отпада учитывали погибшие при пожаре и жизнеспособные деревья, поврежденные огнем. В 2022 г. на ПП провели актуализацию данных прошлых лет, при сплошном переборе посчитали и обмерили 108 живых деревьев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После пожара определяли высоту нагара на стволах и глубину прогорания торфа как основные критерии и показатели степени повреждения торфяным пожаром, фиксировали УПГВ (табл. 2).

В первые годы после пожара произошел основной отпад древостоя на болотном массиве (87—100 %) и на окрайке болота (79 %). Этот факт подтверждают и другие исследователи (Жила, 2013; Ковалева, 2014; Иванова и др., 2014; Архипов, Залесов, 2017). На ПП 1 деревья погибли от теплового удара, высота нагара на стволах достигала 2.8 м, огонь повреждал нижние ветви. Корни деревьев почти не пострадали, огонь бегло прошел по кустарничкам, поразив камбиальный слой стволов. При беглом низовом пожаре поражается напочвенный покров, иногда страдает подрост и подлесок (Щербов и др., 2015). Беглый огонь не затрагивает торфяную почву, и пожар не переходит в почвенный (Ефремова, Ефремов, 1994, 2006). На третий год после пожара на этой ПП живых деревьев не осталось (табл. 3).

Древостой на ПП 2 в равной мере пострадал от теплового удара и повреждения корней. На этой площади произошли сильные вывалы древостоя

Таблица 2. Характеристика послепожарных изменений на ПП

ПП	ПУ	Погибшие деревья, %	Средняя высота нагара на стволах, м	Средняя глубина прогорания торфа, см	УПГВ, см
1	1	99.4	2.8	1—2	31
	1a	98.9	2.5	2—2.5	42
2	2	96.6	0.7	7—8	31
	2a	95.0	0.8	10—12	38
	2б	89.5	1.0	10—12	38
3	3	78.8	1.0	12—15	62
4	4	98.0	1.7	5—7	18
	4a	100.0	3.7	8—10	37

Таблица 3. Динамика отпада древостоя после пожара по данным 2001—2022 гг.

ПП	ПУ	Абсолютное и относительное количество живых деревьев после пожара									
		2001		2002		2004		2014		2022	
		шт/ПУ	%	шт/ПУ	%	шт/ПУ	%	шт/ПУ	%	шт/ПУ	%
1	1	2	0.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
	1a	3	1.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
2	2	39	13.4	37	12.7	34	11.6	29	9.9	29	9.9
	2a	17	5.0	16	4.7	16	4.7	11	3.2	11	3.2
	2б	24	10.5	20	8.8	20	8.8	15	7.0	15	7.0
3	3	62	21.2	52	17.7	49	16.7	48	16.4	48	16.4
4	4	7	2.0	7	2.0	7	2.0	5	1.4	5	1.4
	4a	0	0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

в приканальных полосах. Спустя 2—3 года после пожара сохранилось несколько десятков сосен.

На ПП 3, расположенной в облесенном кольце, на окрайке болота, низовой пожар местами переходил в почвенный. Здесь выгорел значительный слой торфа, иногда до 20—25 см, в среднем 12—15 см (табл. 2). Объясняется это тем, что структура сложения древесных корневых систем на болотах многоярусная (Иванов, 1979). Из-за этой ступенчатости образуются пустоты, обуславливающие при горении тягу, как в печке. Пламя быстро занимает это пространство. За счет высоких температур идет дополнительное подсушивание торфа и горение, а чаще тление, которое распространяется вглубь и по периферии. В результате выгорания торфяного горизонта обнажались и повреждались корневые системы древостоя и кустарничков. На 2—3 год на ПП 3 оставались живые деревья, но отпад их происходил более интенсивно, чем на ПП 2 (табл. 3).

На ПП 4 в приканальной полосе погиб весь древостой (табл. 3), сосны диаметром до 4 см сгорели вместе с кронами так, что при перечете было невозможно измерить их высоты. Известно (Архипов, Залесов, 2017), что при низовых пожарах слабой и средней интенсивности деревья диаметром менее 5 см погибают, в то время как деревья диаметром 16—18 см сохраняют жизнеспособность.

Наибольшая или полная гибель древостоя произошла в приканальных полосах, к которым прилегают ПУ 2a, 2b и 4a, интенсивнее осушенных, по сравнению с серединой между каналами на ПУ 2 и 4. Исключением из этих случаев стала ПП 1, откуда начался пожар и где сгорели все деревья, вне зависимости от расположения ПУ от края канавы (табл. 3).

Спустя 5 лет после пожара (2004 г.), несмотря на размножение соснового лубоеда, гибель уцелевших (живых) деревьев по сравнению со вторым годом была не столь значительной, как можно было ожидать (табл. 3). Оставшиеся после пожара деревья оказались вполне жизнеспособными, имеющими наибольшие диаметры и высоты, чем сгоревшие. Число живых деревьев сократилось на ПП 2 и ПП 3 в среднем на 13 и 21 % соответственно. На ПП 4 количество деревьев осталось прежним. Отпад деревьев на ПП 4 происходил в течение 15 лет (в среднем на 20 %). Таким образом, изучаемый пожар имел катастрофические последствия для более продуктивных, чем до осушения, сосняков. Отпад древостоя составил 80—100 %. Известно, что гидроресомелиорация является эффективным средством повышения производительности лесов, способствует увеличению покрытой лесом площади, увеличивает прирост и накопление запасов древесины (Саковец, 2005; Кудряшев, 2011). Через 10—25 лет после осушения на объектах исследования работали сотрудники (лесоводы) Западновинского лесоболотного стационара, которые показали

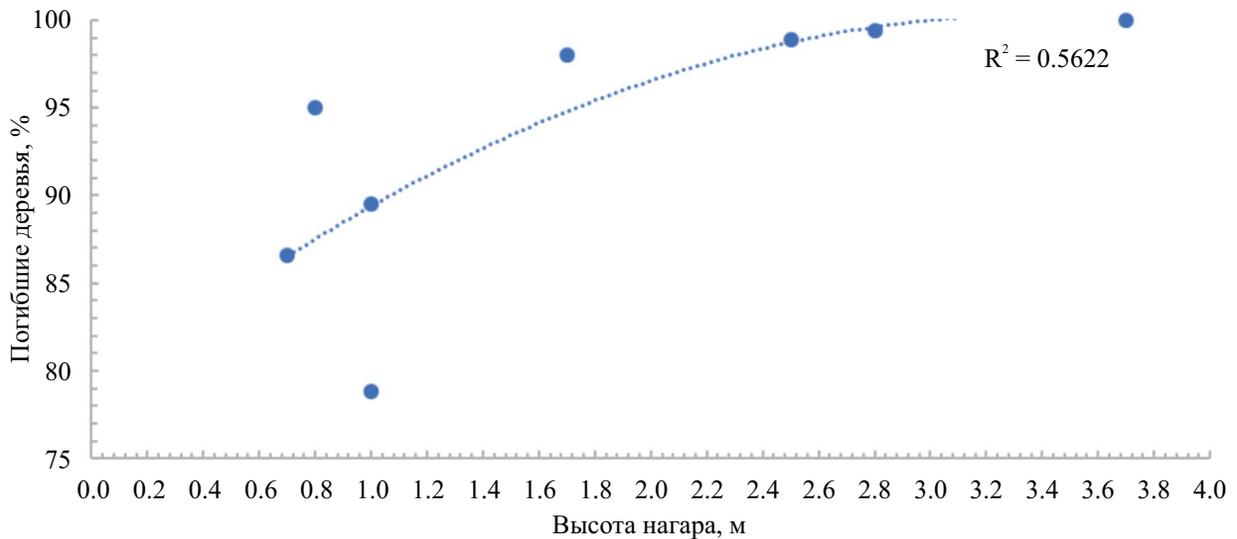


Рис. 2 Зависимость погибших деревьев от высоты нагара на стволах.

(Иванов, Бунин, 1986; Лебков, 2001), что в результате осушения в сосняках произошло увеличение суммы площадей сечения, запаса стволовой массы, полнот, повысился бонитет, т. е. древостой стал более продуктивным, чем до осушения.

Прослеживается зависимость погибших деревьев от высоты нагара на стволах (рис. 2). Чем выше нагар на стволах, тем больший процент погибших деревьев на ПП. При высоте нагара 2.8 и 3.7 соответственно на ПП 1 и ПП 4 процент погибших деревьев составил 100 % (табл. 2).

УПГВ также повлиял на интенсивность огня и соответственно на гибель древостоя. На каждой ПП, где в приканавных полосах УПГВ находился глубже, чем в середине между каналами, процент погибших деревьев был большим (95.0, 89.5, 100.0 % соответственно на ПУ 2а, 2б, 4а), кроме ПП 1, где уже на 3-й год погибли все деревья (табл. 3).

После 2004 г. отпад деревьев практически прекратился, и к 2014 году наибольшее количество деревьев сохранилось на ПП 3 (48 шт.) и ПП 2 (29 шт.) в межканавном пространстве (табл. 3). Это можно объяснить меньшей интенсивностью пожара на этих ПП, где высота нагара на стволах не превышала 1 м. Кроме того, древостой на ПУ 3 имел диаметр 17.1 см и высоту 15.1 м, в отличие от остальных ПУ (табл. 1).

Ряд авторов (Kasischke et al., 1995; Шубин, Залесов, 2013; Архипов, Залесов, 2017) отмечает, что устойчивость деревьев к огню, т. е. жизнеспособность, зависит от их диаметра на высоте 1.3 м и высоты нагара на стволах. Первый показатель характеризует размер дерева, от которого зависит пожароустойчивость, а второй — степень интенсивности пожара.

По данным перечета 2022 г. на ПУ 2 и 3 сохраняется 10 и 16 % живого древостоя соответственно от первоначального послепожарного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследуемый пожар средней интенсивности имел катастрофические последствия для лесных насаждений. Гибель сосняков кустарниково-сфагновых составила 80—100 %. Погиб более продуктивный, чем до осушения, древостой даже при сравнительно небольшом прогорании торфа. Лесные экосистемы на осушенных болотах более ранимы при низовых торфяных пожарах, чем леса на минеральных почвах, где нет таких опасных проводников горимости в виде хорошо развитого яруса болотных кустарничков, способствующих воспламенению, и где пожар не переходит в почвенный.

С учетом снижения УПГВ при приближении к каналам создаются условия для большей пожароопасности. Последствия для древостоя оказались более сильными в относительно более осушенных местопроизрастаниях вблизи осушительных каналов (ПУ 2а, 2б, 4а), чем на удаленных от каналов участках (ПУ 2, 4). Лишь в самом высоком первом ярусе древостоя на окрайке болота они оказались меньше.

Показано наличие зависимости величины послепожарного отпада деревьев от высоты нагара на стволах ($R^2 = 0.5622$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архипов Е. В., Залесов С. В. Отпад деревьев после низовых лесных пожаров в сосняках Казахского мелкосопочника // Вестник БГАУ. 2017. № 4. С. 90—96.
- Вомперский С. Э., Иванов А. И., Цыганова О. П., Валяева Н. А., Глухова Т. В., Дубинин А. И., Глухов А. И., Маркелова Л. Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запасы углерода в их торфах // Почвоведение. 1994. № 12. С. 17—25.

- Вомперский С. Э., Минаева Т. Ю., Сирин А. А.* Экосистемы болот. Глава 7 // Состояние биоразнообразия природных экосистем России. М.: НИИ-Природа, 2004. С. 103—113.
- Вомперский С. Э., Сирин А. А., Цыганова О. П., Валеева Н. А., Майков Д. А.* Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия РАН. Серия географическая. 2005. № 5. С. 21—33.
- Вомперский С. Э., Глухова Т. В., Смагина М. В., Ковалев А. Г.* Условия и последствия пожаров в сосняках на осушенных болотах // Лесоведение. 2007. № 6. С. 35—44.
- Вомперский С. Э., Сирин А. А., Сальников А. А., Цыганова О. П., Валеева Н. А.* Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3—11.
- Жила С. В.* Трансформация фитомассы в светлохвойных насаждениях Нижнего Приангарья под воздействием пожаров: дис... канд. биол. наук: 06.03.02. Красноярск, 2013. 20 с.
- Зайдельман Ф. Р.* Проблемы защиты осушаемых торфяных почв от пожаров и ее решение // Почвоведение. 2011. № 8. С. 1000—1009.
- Ефремова Т. Т., Ефремов С. П.* Торфяные пожары как экологический фактор развития лесоболотных экосистем // Экология. 1994. № 5. С. 27—34.
- Ефремова Т. Т., Ефремов С. П.* Пирогенная трансформация органического вещества почв лесных болот // Почвоведение. 2006. № 12. С. 1441—1450.
- Иванов А. И.* Структура и первичная продуктивность сосняков болотного ряда: дис... канд. биол. наук: 03.00.05. М.: МГУ, 1979. 24 с.
- Иванов А. И., Бунин М. А.* Изменение структуры древостоев болотных сосняков в первые 10 лет после осушения // Лесоведение. 1986. № 2. С. 38—44.
- Иванова Г. А., Конрад С. Г., Макрае Д. Д.* Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
- Ковалева Н. М.* Послепожарное восстановление напочвенного покрова в сосняках Нижнего Приангарья // Сибирский экологический журнал. 2014. № 3. С. 439—447.
- Конев Э. В.* Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, 1977. 239 с.
- Кудряшев А. В.* Осушительная мелиорация как средство повышения продуктивности лесов // Повышение продуктивности, рациональное использование и охрана земель лесного фонда. Труды СПб НИИЛХ. 2011. Вып. 2 (25). С. 26—37.
- Лебков В. Ф.* Дополнительная продукция древесины ствола сосны, ели и березы при гидроресомелиорации // Лесные стационарные исследования: методы, результаты, перспективы. Тула: Гриф и Ко, 2001. С. 420—421.
- Саковец В. И.* Лесоводственная эффективность и биосферная роль осушенных лесоболотных экосистем в условиях Карелии // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. Петрозаводск, 2005. С. 226—231.
- Сирин А. А., Медведева М. А., Макаров Д. А., Маслов А. А., Юстен Х.* Мониторинг растительного покрова вторично обводненных торфяников Московской области // Вестник СПбГУ. Наука о Земле. 2019. Том 65. № 2. С. 321—334. Doi: 10.2638/spbu 07.2020.206
- Сирин А. А., Макаров Д. А., Гуммерт И., Маслов А. А., Гульбе Я. И.* Глубина прогорания торфа и потери углерода при лесном подземном пожаре // Лесоведение. 2019. № 5. С. 410—422. Doi: 10.1134/S0024114819050097
- Сирин А. А.* Водообмен и структурно-функциональные особенности лесных болот: дис... докт. биол. наук: 03.00.16. М., 1999. 44 с.
- Шубин Д. А., Залесов С. В.* Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водохранилища сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края // Аграрный вестник Урала. 2013. № 5 (111). С. 39—41.
- Щербов Б. Л., Лазарева Е. В., Журкова И. С.* Лесные пожары и их последствия (на примере сибирских объектов). Новосибирск: Гео, 2015. 154 с.
- Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report / Eds. Parish F., Sirin A., Charman D., Joosten H., Minayeva T., Silivius M., Stringer L. Wageningen, Kuala Lumpur: Global Environment Centre and Wetlands International, 2008. 179 p.
- Benscoter B. W., Wieder K. K.* Variability in organic matter lost by combustion in a boreal bog during the 2001 Chisholm fire // Canadian Journal of Forest Research. 2003. V. 33. P. 2509—2513.
- Hu Y., Fernandez-Anez N., Smith T. E. L., Rein G.* Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes // International Journal of Wildland Fire. 2018. № 27. P. 293—312. Doi: 10.1071/WF10784
- Huang X., Rein J.* Downward spread of smouldering peat fire: the role of moisture density and oxygen supply // International Journal of Wildland Fire. 2017. № 26. P. 907—918. Doi: 10.1071/WF16198
- Kasichke E. S., French N. H. F., Bourgeau-Chavez L. L., Christensen W. L.* Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 1995. V. 100. P. 2941—2951.
- Minayeva T., Sirin A. A., Stracher G. B.* The peat fires of Russia // Coal and peat fires: a global perspective. Amsterdam: Elsevier, 2013. P. 376—394.
- Turetsky M. R., Benscoter B., Page S., Rein G., van der Werf G. R., Watts A.* Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss // Nature Geoscience. 2015. V. 8. № 1. P. 11—14.
- Zoltai S. C., Morrissey L. A., Livingston G. P., de Groot W. I.* Effects of fires on carbon cycling in North American boreal peatlands // Environmental Reviews. 1998. V. 6. P. 13—24.

Forest Stands' Die-Off After a Peat Fire in Drained Sphagnum-Fructulose Pine Forests

M. V. Pokoeva^{1,*}, T. V. Glukhova¹, A. A. Sirin¹

¹Institute of Forest Science of the RAS

Sovetskaya st. 21, Uspenskoe, Odintsovsky District, Moscow Oblast, 143030, Russia

* E-mail: mpokoeva@yandex.ru

Presented here are the results of long-term observations of the tree die-off process in drained sphagnum-fructulose pine forests in the oligotrophic bog in the Zapadnodvinsky District, Tver Oblast, which was affected by a ground (peat) fire of medium intensity and resulted in the death of 80–100% of stands that were more productive, compared to the ones before the drainage. The effects on stands were more severe near the drainage canals (96% of dead trees) than in areas away from canals (87%). The pine forests at the edge of the bog were affected to a lesser extent. The dependence of the magnitude of post-fire tree die-off on the height of soot on trunks was shown ($R^2 = 0.5622$).

Keywords: oligotrophic bogs, peat soil, ground fires, precipitation, water table, soot on tree trunks.

Acknowledgements: The work has been carried out with the support from the RSF within the framework of the project No. 23-74-00067.

REFERENCES

- Arkhipov E. V., Zalesov S. V., Otpad derev'ev posle nizovykh lesnykh pozharov v sosnyakakh Kazakhskogo melkoso-pochnika (Altrition of trees after ground fires in pine forest of Kazakh uplands), *Vestnik BGAU*, 2017, no. 4, pp. 90–96.
- Assessment on peatlands, biodiversity and climate change: main report*, Kuala Lumpur: Global Environment Centre and Wetlands International, 2008, 179 p.
- Benscoter B. W., Wieder K. K., Variability in organic matter lost by combustion in a boreal bog during the 2001 Chisholm fire, *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, vol. 33, pp. 2509–2513.
- Efremova T. T., Efremov S. P., Pyrogenic transformation of organic matter in soils of forest bogs, *Eurasian Soil Science*, 2006, vol. 39, no. 12, pp. 1297–1305.
- Efremova T. T., Efremov S. P., Torfyanye pozhary kak ekologicheskii faktor razvitiya lesobolotnykh ekosistem (Peat fires as an environmental factor of development of boggy forest ecosystems), *Ekologiya*, 1994, no. 5–6, pp. 27–34.
- Hu Y., Fernandez-Anez N., Smith T. E. L., Rein G., Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes, *International Journal of Wildland Fire*, 2018, no. 27, pp. 293–312. DOI: 10.1071/WF10784
- Huang X., Rein J., Downward spread of smouldering peat fire: the role of moisture density and oxygen supply, *International Journal of Wildland Fire*, 2017, no. 26, pp. 907–918. DOI: 10.1071/WF16198
- Ivanov A. I., Bunin M. A., Izmenenie struktury drevostoev bolotnykh sosnyakov v pervye 10 let posle osusheniya (Changes in the structure of swamp pine forest stands in the first 10 years after drainage), *Lesovedenie*, 1986, no. 2, pp. 38–44.
- Ivanov A. I., *Struktura i pervichnaya produktivnost' sosnyakov bolotnogo ryada. Avtoref dis. kand. biol. nauk* (Structure and primary productivity of swamp pine forests. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Moscow: MGU, 1979, 24 p.
- Ivanova G. A., Konard S. G., Makrae D. D., Bezkorovainaya I. N., Bogorodskaya A. V., Zhila S. V., Ivanov V. A., Ivanov A. V., Kovaleva N. M., Krasnoshchekova E. N., Kukavskaya E. A., Oreshkov D. N., Perevoznikova V. D., Samsonov Y. N., Sorokin N. D., Tarasov P. A., Tsvetkov P. A., Shishikin A. S., *Vozdeistvie pozharov na komponenty ekosistemy srednetaezhnykh sosnyakov Sibiri* (The effect of fires on ecosystem components in pine forests of the middle taiga in Siberia), Novosibirsk: Nauka, 2014, 232 p.
- Kasischke E. S., French N. H. F., Bourgeau-Chavez L. L., Christensen W. L., Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1995, vol. 100, pp. 2941–2951.
- Konev E. V., *Fizicheskie osnovy gorenii rastitel'nykh materialov* (Physical basis of combustion of plant materials), Novosibirsk: Nauka, 1977, 239 p.
- Kovaleva N. M., Poslepozharnoe vosstanovlenie napochvennogo pokrova v sosnyakakh Nizhnego Priangar'ya (Post-fire regeneration of ground vegetation in pine forests in Lower Angara region), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2014, no. 3, pp. 439–447.
- Kudryashev A. V., Osushitel'naya melioratsiya kak sredstvo povysheniya produktivnosti lesov (Hydromelioration as a tool of raising forest productivity), *Povyshenie produktivnosti, ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana zemel' lesnogo fonda*

- (*Raising the productivity, rational use and protection of forest lands*), *Trudy SPb NIILKh*, 2011, Issue 2 (25), pp. 26—37.
- Lebkov V. F., Dopolnitel'naya produktsiya drevesiny stvola sosny, eli i berezy pri gidrolesomelioratsii (Additional production of pine, spruce and birch trunk wood during hydroforestry reclamation), In: *Lesnye statsionarnye issledovaniya: metody, rezul'taty, perspektivy* (Forest stationary research: methods, results, prospects), Tula: Grif i Ko, 2001, pp. 420—421.
- Minayeva T., Sirin A. A., Stracher G. B., The peat fires of Russia, In: *Coal and peat fires: a global perspective*, Amsterdam: Elsevier, 2013, pp. 376—394.
- Sakovets V. I., Lesovodstvennaya effektivnost' i biosfer-naya rol' osushennykh lesobolotnykh ekosistem v uslovi-yakh Karelii (Silvicultural efficiency and biosphere role of drained forest-swamp ecosystems in the conditions of Karelia), In: *Bolotnye ekosistemy severa Evropy: raznoobra-zie, dinamika, uglerodnyi balans, resursy i okhrana* (Swamp ecosystems of northern Europe: diversity, dynamics, carbon balance, resources and protection), Petrozavodsk: 2005, pp. 226—231.
- Shcherbov B. L., Lazareva E. V., Zhurkova I. S., *Lesnye pozhary i ikh posledstviya (na primere sibirskikh ob"ektov)* (Forest fires and their consequences (using the example of Siberian objects)), Novosibirsk: Geo, 2015, 154 p.
- Shubin D. A., Zalesov S. V., Poslepozharniy otpad derev'ev v sosnovykh nasazhdeniyakh Priobskogo vodookhrannogo sosnovo-berezovogo lesokhozyaistvennogo raiona Altaiskogo kraya (Post-fire tree attrition in pine plantations, in the Ob water protection pine-birch forest area of the Altai region), *Agrarnyi vestnik Urala*, 2013, no. 5 (111), pp. 39—41.
- Sirin A. A., Makarov D. A., Gummert I., Maslov A. A., Gul'be Y. I., Glubina progoraniya torfa i poteri ugleroda pri lesnom podzemnom pozhare (Depth of peat burning and carbon losses from an underground forest fire), *Lesovedenie*, 2019, no. 5, pp. 410—422.
- Sirin A. A., Medvedeva M. A., Makarov D. A., Maslov A. A., Yusten K., Monitoring rastitel'nogo pokrova vtorichno obvodnennykh torfyanikov Moskovskoi oblasti (Monitoring of vegetation cover of rewetted peatlands in Moscow oblast), *Vestnik SPbGU. Nauka o Zemle*, 2019, vol. 65, no. 2, pp. 321—334. DOI: 10.2638/spbu.07.2020.206
- Sirin A. A., *Vodoobmen i strukturno-funktsional'nye osobennosti lesnykh bolot. Avtoref. dis. dokt. biol. nauk* (Water exchange and structural and functional features of forest swamps. Extended abstract of Doctor's biol. sci. thesis), Moscow, 1999, 44 p.
- Turetsky M. R., Benschoter B., Page S., Rein G., van der Werf G. R., Watts A., Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss, *Nature Geoscience*, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 11—14.
- Vomperskii S. E., Glukhova T. V., Smagina M. V., Koval'ev A. G., Usloviya i posledstviya pozharov v sosnyakakh na osushennykh bolotakh (The conditions and consequences of fires in pine forests on drained bogs), *Lesovedenie*, 2007, no. 6, pp. 35—44.
- Vomperskii S. E., Minaeva T. Y., Sirin A. A., Ekosistemy bolot (Wetland ecosystems), In: *Sostoyanie bioraznobraziya prirodnykh ekosistem Rossii* (Assessment of biodiversity of the natural ecosystems of Russia), Moscow: NIA—Priroda, 2004, pp. 103—113.
- Vomperskii S. E., Sirin A. A., Tsyganova O. P., Valyaeva N. A., Maikov D. A., Bolota i zabolochennye zemli Rossii: popytka analiza prostranstvennogo raspredeleniya i raznoobraziya (Peatlands and Paludified Lands of Russia: Attempt of Analyses of Spatial Distribution and Diversity), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2005, no. 5, pp. 39—50.
- Vomperskiy S. E., Ivanov A. I., Tsyganova O. P., Valyaeva N. A., Glukhova T. V., Dubinin A. I., Glukhov A. I., Markelova L. G., Zabolochennye organogennye pochvy i bolota Rossii i zapas ugleroda v ikh torfakh (Paludified soils and mires of Russia and carbon pool of their peat), *Pochvovedenie*, 1994, no. 12, pp. 17—25.
- Vomperskiy S. E., Sirin A. A., Sal'nikov A. A., Tsyganova O. P., Valyaeva N. A., Estimation of forest cover extent over peatlands and paludified shallow-peat lands in Russia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, vol. 4, no. 7, pp. 734—741.
- Zaidel'man F. R., Problemy zashchity osushaemykh torfyanikh pochv ot pozharov i ee reshenie (The problem of protecting drained peat soils from fires and its solution), *Pochvovedenie*, 2011, no. 8, pp. 1000—1009.
- Zhila S. V., *Transformatsiya fitomassy v svetlokhvoinnykh nasazhdeniyakh Nizhnego Priangar'ya pod vozdeistviem pozharov. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* (Phytomass transformation in light coniferous stands of the Lower Angara region under the influence of fires. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2013, 20 p.
- Zoltai S. C., Morrissey L. A., Livingston G. P., de Groot W. I., Effects of fires on carbon cycling in North American boreal peatlands, *Environmental Reviews*, 1998, vol. 6, pp. 13—24.

ДЕПОНИРОВАНИЕ УГЛЕРОДА И ПРОДУЦИРОВАНИЕ КИСЛОРОДА В КУЛЬТУРАХ ДУБА МАЙКОПСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕИ

© 2024 г. Е. Н. Штепа^{1,*}, С. С. Шешницан¹, В. Ю. Кулаков²

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова,
ул. Тимирязева, д. 8, Воронеж, 394087, Россия

² Академический центр лесного проектирования и инноваций, Московский пр-т, д. 19, г. Воронеж, 394026, Россия

* E-mail: kulakova_92@list.ru

Поступила в редакцию 26.12.2022

После доработки 08.02.2024

Принята к публикации 12.04.2024

Леса в горных и предгорных районах обеспечивают множество важнейших экосистемных услуг, но изменения в землепользовании, такие как вырубка лесов или, напротив, облесение и лесовосстановление, могут существенным образом влиять на их потенциал. Искусственные лесные насаждения способны выполнять аналогичные функции, но эффективность их зависит от видового состава, возраста и методов управления. Восстановление лесов в этих районах имеет решающее значение для смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, увеличения биоразнообразия и сохранения водных ресурсов. Искусственные лесные насаждения на Северном Кавказе создавались с целью повышения продуктивности дубовых лесов, и благодаря этим мероприятиям в Республике Адыгее лесистость оказалась значительно выше, чем в соседних регионах. Целью исследования была оценка углерододепонирующей и кислородопродуцирующей роли искусственных лесных насаждений с участием дуба в предгорьях Северного Кавказа в условиях Республики Адыгеи. Установлено, что в чистых 70-летних дубовых насаждениях максимальный прирост по запасу составил 5.81 м³/га в год, а в смешанных 58-летних отмечалось минимальное значение — 1.04 м³/га в год. Интенсивность накопления углерода и продукции кислорода рассчитывалась через прирост фитомассы. Результаты показали, что по мере увеличения доли участия дуба в составе древостоя продукционные показатели и секвестрационный потенциал значительно возрастали. Искусственные насаждения Майкопского лесничества накопили в своей надземной и подземной фитомассе от 31 до 328 тС/га. Годичная аккумуляция СО₂ лесами изменялась от 1.98 до 17.17 т/га в год, а годичная продукция О₂ составляла 1.71—12.79 т/га в год. Доказано, что в целях увеличения секвестрационного потенциала в условиях предгорий Северного Кавказа одним из наиболее результативных подходов может стать целенаправленное выращивание чистых и смешанных лесов с преобладанием семенного дуба, а не создание разнообразных многовидовых насаждений, включающих граб и бук.

Ключевые слова: дубравы, предгорья Северного Кавказа, фитомасса, текущий прирост, годовое поглощение углекислого газа, продукция кислорода, экосистемные услуги, митигация

DOI: 10.31857/S0024114824030049, EDN: PEGUMS

Леса предгорий и горных регионов характеризуются многофункциональностью, предоставляя разнообразные экологические, социальные и экономические услуги (Tognetti et al., 2021), являются важным инструментом регулирования климата и поддержания углеродного цикла (Chameides, Perdue, 1997). С другой стороны, многофункциональный характер усиливает динамику и уязвимость лесов по отношению к антропогенным и климатически обусловленным изменениям. Изменения в землепользовании (в частности, облесение) влияют на качество экосистемных услуг, предоставляемых лесными экосистемами горных и предгорных регионов, что

приводит к увеличению риска наводнений, засух, ураганов, эрозии почвы и снижению продовольственной безопасности (Noulèkoun et al., 2021). Создаваемые искусственные леса могут предоставлять многие экосистемные услуги, аналогичные услугам естественных лесов, однако эффективность предоставления этих услуг может варьировать в зависимости от таких факторов, как породный состав деревьев, возраст древостоя и методы управления (Guo et al., 2023).

Усилия по лесовосстановлению в горных и предгорных районах привлекают все большее внимание благодаря своему потенциалу как для смягчения последствий изменения климата, так и для адаптации

к ним (Tognetti et al., 2021). Восстановление дубовых лесов способно повысить местное биоразнообразие и обеспечить среду обитания для многочисленных видов (Von Holle et al., 2020). Кроме того, мероприятия по восстановлению лесов могут способствовать адаптации к изменению климата, защищая почву от эрозии, сохраняя водные ресурсы, что открывает большие перспективы в решении экологических и климатических проблем на региональном уровне.

Использование недорогостоящей естественной регенерации лесной растительности на вырубках в условиях пересеченной местности необязательно является многообещающим методом устойчивого ведения лесного хозяйства. Некоторые «аборигенные» виды деревьев могут иметь сниженную продуктивность в результате изменения климата, поскольку условия на участке уже изменились за время существования лесов (Tognetti et al., 2021). Искусственные лесные насаждения создавались на Северном Кавказе с целью повышения продуктивности дубрав, в том числе путем интродукции новых видов древесных пород (Кулакова, Чернудобов, 2016; Кулакова и др., 2017), и обеспечения потенциала экосистемных услуг. Поэтому важно оценить эффективность искусственных лесных насаждений в поглощении углерода и продуцировании кислорода, чтобы лучше понять их потенциальный вклад в смягчение последствий изменения климата и поддержание экологического баланса в горных и предгорных районах (Nave et al., 2019).

С точки зрения древесной и биологической продуктивности Республика Адыгея значительно превосходит леса других регионов во многом из-за различий в площади, покрытой лесом. Лесистость Республики Адыгеи составляет 37,3 % благодаря лесокультурным мероприятиям, реализованным в прошлом. По данным Национального доклада (Национальный доклад... 2023), в последние годы запасы углерода в лесах республики достигали около 39 млн тонн, а поглощение углерода варьировало в пределах 136—152 тыс. тонн в год, что сопоставимо с аналогичными показателями для республик Северного Кавказа или даже превышает их.

Цель исследования состояла в оценке углерододепонирующей и кислородопродуцирующей роли искусственных лесных насаждений с участием дуба в предгорьях Северного Кавказа (на примере лесов Республики Адыгеи).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводились на территории Майкопского лесничества Республики Адыгеи (Южный федеральный округ). Майкопское лесничество расположено в центральной и южной части республики на территории двух участков лесничеств: Лесо-семенного и Курджипского. Для исследования выделены участки с оптимальными для произрастания

дуба лесорастительными условиями дубравы свежей (D_2). Почвенный покров представлен серыми лесными, бурыми лесными оподзоленными почвами, местами встречаются дерново-карбонатные почвы на известняках и доломитах.

В основу исследований положен метод пробных площадей. Пробные площади заложены с учетом требований ОСТ 56-69-83. Всего заложено 11 постоянных пробных площадей (ППП) по 0,25 га каждая. Перед закладкой пробных площадей проводилось рекогносцировочное обследование насаждений с определением их общего состояния (Калининченко, 2000). На ППП определяли основные таксационные показатели древостоя: возраст, высоту, диаметр ствола, полноту и запас. Проведен сплошной пересчет деревьев с распределением по породам, ступеням толщины и категориям состояния. Размер ступени толщины принят в зависимости от среднего диаметра древостоя: так при диаметре от 6,1 до 16 см ступень принималась равной 2 см, при среднем диаметре 16,1 и более — 4 см. Для измерения диаметра ствола на высоте 1,3 м использовалась мерная вилка, для определения высоты — высотомер SUUNTO PM-5/1520 РС, для определения возраста — возрастной бурав. Таксационная характеристика насаждений с участием дуба, определенная на ППП, представлена в табл. 1.

После проведения полевых исследований в камеральных условиях, основываясь на методике В. И. Таранкова (Таранков, 2006), оценили углерододепонирующую и кислородопродуцирующую функции древесных ценозов. Для оценки запасов углерода использовали расчетно-измерительный метод. При оценке поглощения углекислого газа и выделения кислорода применялся расчетный метод. По текущему приросту фитомассы рассчитывалась интенсивность депонирования углерода. При расчете количества выделяемого кислорода учитывался только прирост древесины, а биомасса листьев не принималась во внимание, поскольку часть выделившегося O_2 расходуется в процессе ее разложения в опаде.

При образовании 1 тонны сухой древесины поглощается 1,8 тонны углекислого газа и выделяется 1,4 тонны кислорода. Известно, что от массы стволовой древесины 15 % составляют ветви и сучья, 20 % — корни, 3 % — листва. По процентным составляющим находили массу ветвей и сучьев, корней и листьев.

Зная плотность древесины и ее запас, путем их умножения находили массу древесины (Таранков, 2000). По данным химического состава, 1 тонна сухой древесины содержит 500 кг углерода. Общую фитомассу определяли как сумму всех составляющих древостоя.

Таким образом, через уравнение фотосинтеза при умножении массы годичного прироста в абсолютном сухом состоянии на коэффициент продуцирования кислорода (1,4) и величину поглощения CO_2 (1,8) определяли массу выделенного за год кислорода, который можно перевести в объем через объемный вес O_2 , равный 1,43 г/л поглощенного углекислого газа.

Таблица 1. Таксационная характеристика искусственных насаждений дуба в Майкопском лесничестве

№ ППП	№ квартала/ выдела	Состав насаждения	А, лет	Н, м	ДВН, см	Бонитет	Полнота	Запас, м ³ /га	Средний прирост, м ³ /год
Майкопское лесничество, Лесосеменное участковое лесничество									
1	28/19	10ДГ+Г+КЛП	68	20	28	II	0.7	349.0	5.13
2	28/18	10ДЧ+Г	68	19	20	II	0.7	395.0	5.81
3	28/1	5ДЧ3Г2КЛП	70	20	22	II	0.7	378.6	5.41
Майкопское лесничество, Курджипское участковое лесничество									
4	5/14	5ДК2ДЧ1Г2ОС	50	17	20	II	0.8	144.0	2.88
5	40/9.53	5ДЧ5Г+БК	58	17	24	II	0.8	112.4	1.94
6	40/18	4ДЧ5Г1БК	58	18	24	II	0.7	78.54	1.35
7	40/20	6ДЧ4Г+БК	57	18	24	II	0.7	142.9	2.51
8	40/26	3ДЧ5Г2БК	58	18	26	II	0.8	125.7	2.16
9	40/28	3ДЧ5Г2БК+ОС	58	18	26	II	0.7	84.42	1.45
10	40/38	4ДЧ3Г2БК1ОЛЧ+ОС	58	18	26	II	0.5	60.61	1.04
11	40/41	4ДЧ3Г2БК1ОЛЧ+ОС	58	18	26	II	0.7	68.06	1.17

Примечание. ППП — постоянная пробная площадь, А — возраст древостоя, Н — высота, ДВН — диаметр ствола на высоте 1.3 м; виды деревьев: ДГ — дуб Гартвиса, ДК — дуб красный, ДЧ — дуб черешчатый, Г — граб кавказский, БК — бук восточный, ОЛЧ — ольха черная, ОС — осина. КЛП — клен полевой.

Главный принцип расчета массы углерода в древостоях основан на дифференциации их фитомассы по отдельным элементам. На основе запаса древостоя вычисляются запасы других компонентов: коры, сучьев, ветвей, древесной зелени, пней, корней.

Чтобы установить содержание углерода в разных компонентах древостоя, определяется запас фитомассы каждого из них. Далее с помощью коэффициентов содержания углерода в абсолютно сухом веществе фитомассы рассчитывается его масса в каждом компоненте древостоя. Затем полученные данные суммируются.

Из вышесказанного видим, что запас определяется через общий запас фитомассы древесной, кустарниковой растительности на территории лесного фонда и удельное содержание углерода в фитомассе. Исходными данными для количественной оценки кислородопroduцирующей и углероддепонирующей функций, аккумулированных в первичной продукции лесных экосистем, являются элементы биологической продуктивности, выраженные в весовых единицах абсолютно сухого вещества (Уткин и др., 2006).

Статистическую обработку данных и корреляционно-регрессионный анализ проводили в пакете прикладных программ STATISTICA 12. В исследовании принят уровень значимости $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Скорость роста искусственных насаждений отражается в величине их среднего прироста по запасу. Максимальное значение прироста установлено в чистых древостоях дуба черешчатого (*Quercus*

robur L.) Лесосеменного участкового лесничества в возрасте 70 лет, и оно составляет 5.81 м³/га в год, а минимальное значение отмечено в смешанных насаждениях дуба черешчатого Курджипского участкового лесничества, где к возрасту 58 лет текущий прирост по запасу составляет 1.04 м³/га в год. Заметим, что при одинаковой полноте древостоев (0.7—0.8) наблюдается заметная вариабельность (в пределах одного порядка) как запаса сырой древесины, так и текущего прироста древесины от 1.17 до 5.81 м³/га в год, что наиболее вероятно отражает влияние лимитирующего фактора плодородия почвы (табл. 1). Отчетливо влияние почвенно-растительных условий проявляется в насаждении на ППП № 10, созданном на маломощных дерново-карбонатных почвах, сформированных на известняках и доломитах. Здесь значительно снижены полнота, запас и текущий прирост древостоя. Кроме того, необходимо учитывать, что с возрастом происходит уменьшение прироста по запасу, выпадение отдельных деревьев из состава древостоев, что сопровождается снижением величины прироста (Таранков, 2000).

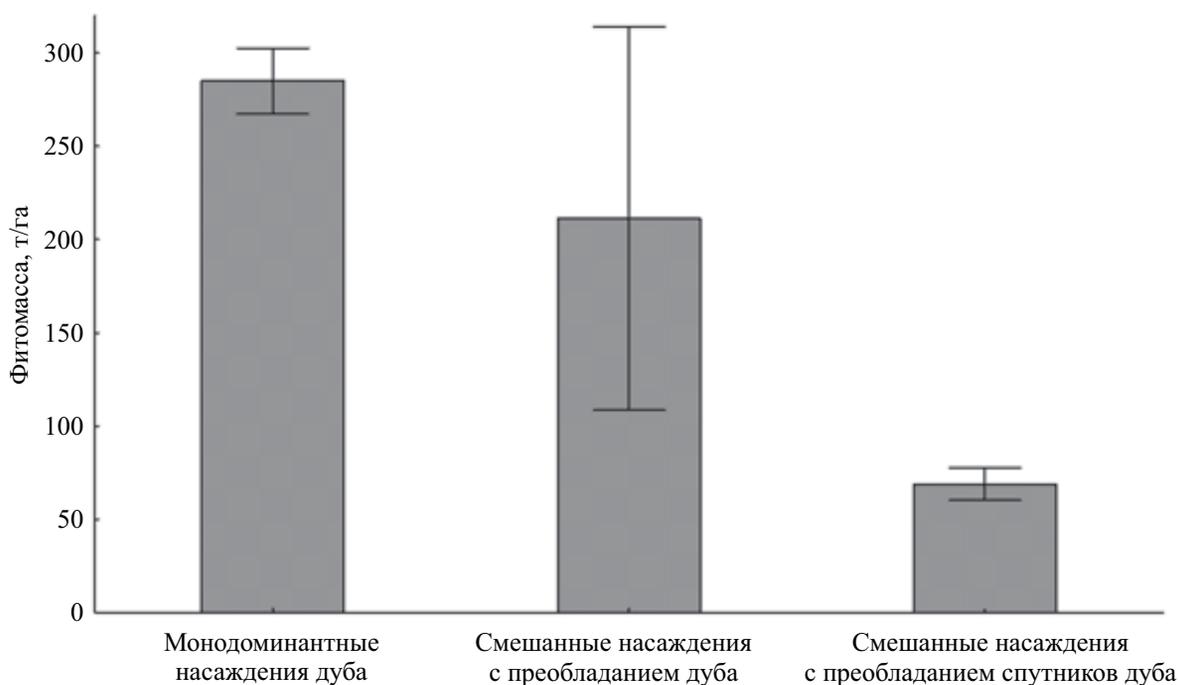
Исследования продуктивности насаждения, как правило, включают анализ структуры, динамики запасов стволовой древесины и фракций фитомассы. Фитомасса является ключевым компонентом природного углеродного цикла и итогом валовой первичной продукции биогеоценоза (Борисенков, Кондратьев, 1988). Результаты расчетов фракционированных запасов фитомассы искусственных насаждений с участием дуба, выраженные в тоннах абсолютно сухой массы на единицу площади, обобщены в табл. 2.

Таблица 2. Фракционированные запасы фитомассы искусственных насаждений дуба в Майкопском лесничестве

№ ППП	Состав насаждения	Фитомасса, т/га				
		ствола	ветвей	корней	листьев	Всего...
Монодоминантные насаждения дуба						
1	10ДГ+Г+КЛП	192.24	38.45	28.84	7.69	267.22
2	10ДЧ+Г	217.71	43.54	32.66	8.71	302.61
Смешанные насаждения с преобладанием дуба						
3	5ДЧ3Г2КЛП	299.67	59.94	44.95	11.99	416.55
4	5ДК2ДЧ1Г2ОС	73.65	14.73	11.05	2.95	102.37
7	6ДЧ4Г+БК	82.57	16.51	12.39	3.30	114.78
Смешанные насаждения с преобладанием спутников дуба						
5	5ДЧ5Г+БК	63.72	12.74	9.56	2.55	88.57
6	4ДЧ5Г1БК	45.35	9.07	6.80	1.81	63.04
8	3ДЧ5Г2БК	71.25	14.25	10.69	2.85	99.05
9	3ДЧ5Г2БК+ОС	47.42	9.48	7.11	1.90	65.92
10	4ДЧ3Г2БК1ОЛЧ+ОС	32.72	6.54	4.91	1.31	45.49
11	4ДЧ3Г2БК1ОЛЧ+ОС	36.79	7.36	5.52	1.47	51.14

Запасы фитомассы древостоя изменяются значительно в пределах от 45.49 до 416.55 т/га, прежде всего, в зависимости от состава древостоя. Очевидной закономерностью является увеличение суммарных запасов фитомассы при увеличении доли участия дуба (рис. 1). Так, в монодоминантных дубравах Лесосеменного участкового лесничества суммарная фитомасса достигала 302.6 т/га, в то время как в смешанных древостоях с доминированием граба (*Carpinus betulus* L.) и бука (*Fagus orientalis* Lipsky)

фитомасса не превышала 100 т/га. Необходимо отметить, что максимальная величина фитомассы, отмеченная в смешанном дубово-грабово-кленовом насаждении, составляла 416.6 т/га, однако и в данном случае вклад дуба по запасу стволовой древесины оказался максимальным в сравнении с другими видами древесных пород. В этой связи фитомасса изученных древостоев была пропорциональна его запасу (рис. 2, А) и, соответственно, текущему приросту.

**Рис. 1.** Средние запасы суммарной фитомассы в искусственных насаждениях дуба Майкопского лесничества.

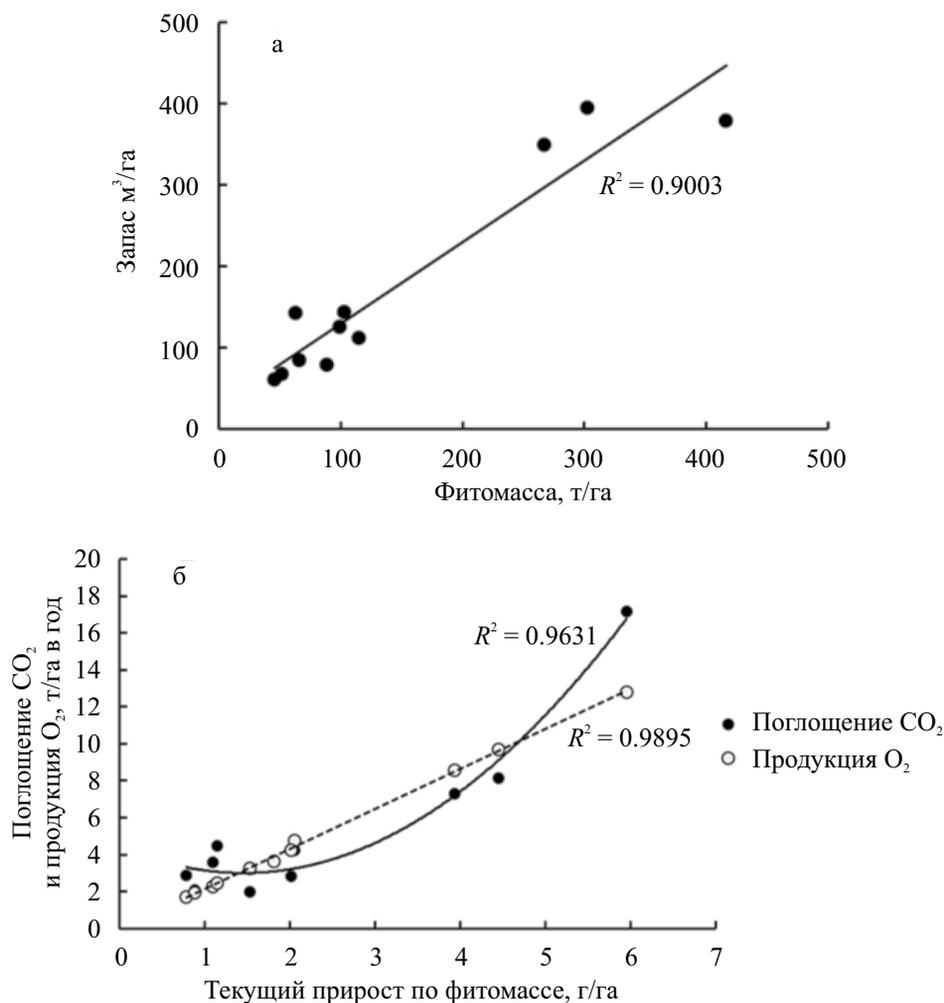


Рис. 2. Зависимость запаса древесины от фитомассы (а), а также годовичного поглощения углекислого газа и продукции кислорода от текущего прироста фитомассы (б) в искусственных насаждениях с участием дуба в Майкопском лесничестве.

Характерные особенности продукционных показателей древостоев, а также их потенциал углерододепонирования и кислородопродуцирования искусственных насаждений можно оценить на основе данных, представленных в табл. 3.

Анализ данных табл. 3 позволяет судить о сравнительно высокой продуктивности монодоминантных насаждений дуба в предгорьях Северного Кавказа, это же суждение относится и к насаждениям с преобладающей долей дуба в составе. Текущий прирост фитомассы в таких насаждениях изменялся в диапазоне от 2.01 до 5.95 т/га в год, достигая максимума в смешанных насаждениях с преобладанием дуба черешчатого (ППП № 3). Монокультуры дуба Гартвиса (*Quercus hartwissiana* Steven) (ППП № 1) также характеризовались высокой продуктивностью, в которых фитомасса ежегодно увеличивалась на 4.45 т/га, что эквивалентно ежегодной аккумуляции 1.98 тонны углерода на единицу площади. Заметим, что введение дуба красного (*Quercus rubra* L.) в состав древостоя

(ППП № 4) не привело к существенному повышению продуктивности, и текущий прирост фитомассы и углероды фитомассы в таких дубравах составили 2.05 и 1.15 т/га соответственно. В то же время общее снижение доли дуба в насаждении и увеличение вклада сопутствующих древесных пород приводило к снижению годовичного прироста фитомассы, который в таких насаждениях не превышал 1.81 т/га. Ежегодная аккумуляция углерода в этих древостоях оказалась менее 1.0 т/га.

Так, годовичный прирост фитомассы сопоставим или даже выше, чем в нагорных дубравах южной лесостепи, где на продукцию фитомассы древостоя приходится от 1.3 до 3.8 т/га в год (Экосистемы... 2004). В итоге средневозрастные искусственные древостои с участием дуба в Майкопском лесничестве к 50–70 гг. аккумулялировали в своей надземной и подземной фитомассе от 31 до 328 тонн углерода на 1 га. Учитывая эти особенности, следует отметить, что средневозрастные искусственные дубравы в предгорьях

Таблица 3. Продукционные показатели, поглощение углекислого газа и продукция кислорода в искусственных насаждениях с участием дуба в Майкопском лесничестве Республики Адыгеи

№ ППП	Состав насаждения	Текущий прирост фитомассы, т/га в год	Запасы углерода фитомассы, т/га	Текущий прирост углерода фитомассы, т/га в год	Суммарная продукция кислорода, т/га	Годичная продукция кислорода, т/га в год	Суммарное поглощение CO ₂ , т/га	Годичное поглощение CO ₂ , т/га в год
Монодоминантные насаждения дуба								
1	10ДГ+Г+КЛП	3.93	134.83	1.98	582.85	8.57	494.82	7.27
2	10ДЧ+Г	4.45	150.87	2.22	659.71	9.70	553.69	8.14
Смешанные насаждения с преобладанием дуба								
3	5ДЧ3Г2КЛП	5.95	327.55	4.67	895.07	12.79	1202.10	17.17
4	5ДК2ДЧ1Г2ОС	2.05	57.66	1.15	237.74	4.75	211.61	4.23
7	6ДЧ4Г+БК	2.01	44.97	0.78	240.59	4.22	165.04	2.84
Смешанные насаждения с преобладанием спутников дуба								
5	5ДЧ5Г+БК	1.53	31.43	0.54	188.62	3.25	115.34	1.98
6	4ДЧ5Г1БК	1.09	58.43	0.97	132.17	2.28	214.43	3.57
8	3ДЧ5Г2БК	1.81	57.22	1.00	210.87	3.64	209.99	3.68
9	3ДЧ5Г2БК+ОС	1.14	70.34	0.78	141.43	2.44	258.15	4.45
10	4ДЧ3Г2БК1ОЛЧ+ОС	0.78	45.47	0.57	98.93	1.71	166.87	2.87
11	4ДЧ3Г2БК1ОЛЧ+ОС	0.88	32.87	0.39	113.32	1.95	120.63	2.08

Северного Кавказа имеют в среднем сопоставимые запасы углерода с перестойными нагорными дубравами южной лесостепи (~150 тС/га) и аналогичный диапазон варьирования — от ~30 до ~300 тС/га (Экосистемы... 2004). Для сравнения также укажем, что сходные запасы углерода (88—232 тС/га) отмечались в 50—60-летних искусственных древостоях с участием дуба в условиях Карачаево-Черкесии (Kulakova, 2021), а также дубравах горных районов Непала — от 78.6 до 251.1 тС/га (Poudel et al., 2020). В лесах с преобладанием дуба в Грузии суммарный запас углерода фитомассы оказался в среднем ниже и составил, по данным G. Vachnadze с соавторами (Vachnadze et al., 2018), 41.6 тС/га, что сопоставимо с низкопродуктивными смешанными древостоями Майкопского лесничества, где дуб не формирует основную часть древостоя.

Поглощение углекислого газа из атмосферы в процессе фотосинтеза и кислородопроизводящая функция древостоев тесно взаимосвязаны между собой и напрямую зависят от ежегодного прироста фитомассы (рис. 26). Поэтому очевидно, что наибольшей углеродоемкостью и кислородопроизводящей способностью характеризуются насаждения Лесосеменного участка лесничества, где отмечаются наиболее высокие годовые показатели. Годичная аккумуляция углекислого газа лесами тем не менее

изменяется пропорционально приросту фитомассы в очень широких пределах от 1.98 до 17.17 т CO₂/га в год, а годичная продукция кислорода составляет 1.71—12.79 т/га в год. Сравнительный анализ подтверждает значительный потенциал монодоминантных дубовых древостоев в секвестрации углерода и продуцировании кислорода в сравнении со смешанными многовидовыми насаждениями, где доля дуба сильно снижена (рис. 3). Например, в древостоях дуба черешчатого и дуба Гартвиса поглощение составляет в среднем 7.7±0.6 т CO₂/га, а выделение O₂ достигает 9.1±0.8 т O₂/га, в то время как в смешанных дубово-грабово-буковых древостоях с примесью ольхи (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) и/или осины (*Populus tremula* L.) отмечено снижение показателей до 3.1±1.0 т CO₂/га и 2.6±0.8 т O₂/га.

В среднем на единицу площади искусственные дубравы Майкопского лесничества поглощали 5.3±4.4 т CO₂ в год и выделяли в атмосферу 5.0±3.7 т CO₂ в год. Это по меньшей мере в два раза больше, чем в дубравах Грузии (Vachnadze et al., 2018), где оценочные величины составили для поглощения углекислого газа 2.3 т/га в год, а для продукции кислорода — 1.8 т/га в год, но сопоставимо с уровнями поглощения CO₂ и продуцирования O₂ в лесах Карачаево-Черкесии (Kulakova, 2021). Значительный потенциал связывания углерода и, соответственно,

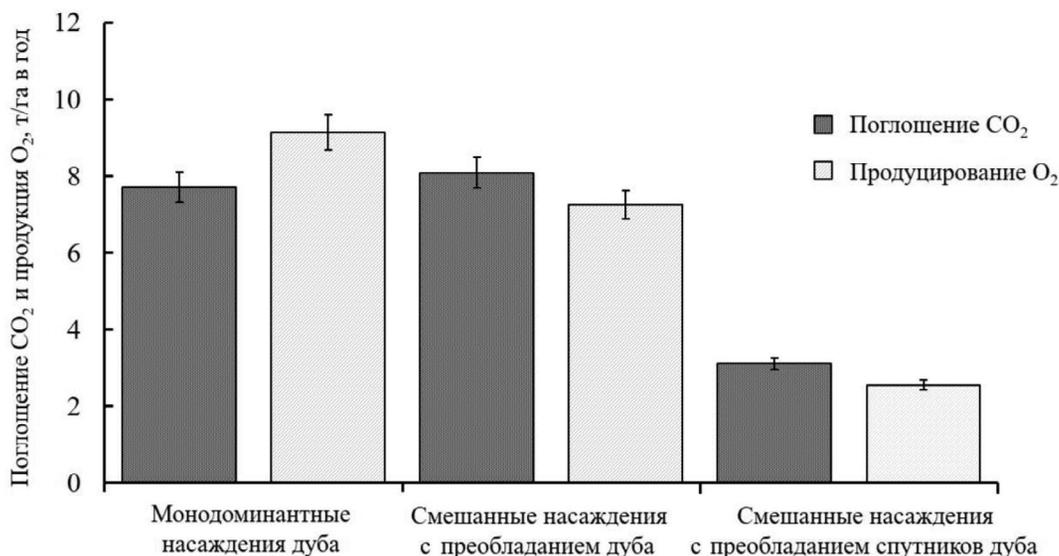


Рис. 3. Годичное поглощение углекислого газа и годичная продукция кислорода в искусственных насаждениях дуба Майкопского лесничества.

кислородопроизводства в лесах Северного Кавказа неразрывно связан с историческими моделями лесопользования. На месте обширных вырубок в период с 1945 по 1975 гг. возникли естественным образом или созданы искусственно новые лесные насаждения, интенсивно поглощающие атмосферный углерод. Благодаря современным методам лесопользования и весьма ограниченному распространению разрушительных лесных пожаров потери углерода значительно ниже общего прироста фитомассы (Бакаева, Замолотчиков, 2009).

Разные виды древесных пород оказывают различное влияние на поглощение и накопление углерода в лесах, поскольку имеют разную скорость поглощения углерода и его удержания в биомассе. Вместе с тем многие исследователи находят подтверждение тому факту, что многовидовые смешанные древостои обеспечивают более эффективное связывание атмосферного углерода и характеризуются наибольшими его запасами (Lazaro-Lobo et al., 2023; Warner et al., 2023; Sidik, 2023). Другие исследователи отмечают, что общие запасы углерода в смешанных древостоях в среднем могут быть такими же, как и в наиболее продуктивных монокультурах (Osei et al., 2022), а результаты третьих свидетельствуют, что смешанные древостои имеют более низкий уровень накопления углерода по сравнению с чистыми хвойными и широколиственными насаждениями (Bulut, Günlü, 2019; Rodriguez De Prado et al., 2023). В настоящем исследовании получены результаты, подтверждающие последнюю позицию. По-видимому, в условиях предгорий Северного Кавказа в целях повышения секвестрационного потенциала и продукции кислорода наиболее эффективной стратегией лесовосстановления является искусственное создание чистых и смешанных культур с преобладанием

дуба семенного происхождения взамен смешанных многовидовых древостоев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований доказан высокий потенциал поглощения углекислого газа и продукции кислорода искусственными насаждениями с участием или доминированием дуба в предгорьях Северного Кавказа. При этом показано, что породный состав и почвенно-растительные условия оказывают существенное влияние на продуктивность насаждений. Эффективность углероддепонирующей и кислородопроизводящей функций древостоев находится в прямой зависимости от продуктивности их фитомассы. В возрасте от 50—70 лет дубовые насаждения в Майкопском лесничестве Республики Адыгеи интенсивно поглощают углекислый газ, депонируют углерод и выделяют кислород в отличие от многовидовых древостоев, где преобладающая роль принадлежит древесным породам-спутникам дуба. Продуктивность последних снижена, и поэтому их потенциал обеспечения экосистемных услуг по секвестрации углерода и кислородопроизводанию невысок. Таким образом, оптимальным подходом к увеличению секвестрации углерода в этих условиях будет целенаправленное выращивание чистых и смешанных лесов с преобладанием дуба, в отличие от практики создания разнообразных многовидовых древостоев с участием граба и бука.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бакаева З.М., Замолотчиков Д.Г. Запасы и потоки углерода в лесах Северного Кавказа // Известия

- высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 5 (153). С. 78—82.
- Борисенков Е. П., Кондратьев К. Я. Круговорот углерода и климат. Л.: Гидрометиздат, 1988. 320 с.
- Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Честных О. В. Пулы углерода фитомассы, биологического углерода и азота почв в лесном фонде России // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 2. С. 18—34.
- Калининченко Н. П. Дубравы России. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 536 с.
- Кулакова Е. Н., Чернодубов А. И. Искусственные лесные насаждения восточной части Северного Кавказа // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 2(22). С. 30—36.
- Кулакова Е. Н., Чернодубов А. И., Манаенков А. С. Эколого-экономическая оценка искусственных лесных насаждений предгорий Карачаево-Черкесской Республики // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 6. № 4(24). С. 13—21.
- Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990—2021 гг. [Электронный ресурс] // М.: ИГКЭ, Росгидромет, 2023. Ч. 2. 103 с. URL: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> (дата обращения: 13.11.2023).
- ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М., 1983. 24 с.
- Таранков В. И. Мониторинг лесных экосистем. Воронеж: ВГЛТА, 2006. 300 с.
- Таранков В. И. Особенности циклической динамики прироста древесных пород в различных лесорастительных условиях // Восстановление лесов, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесного комплекса. Воронеж, ВГЛТА, 2000. С. 130—134.
- Экосистемы Теллермановского леса / под ред. В. В. Осипова. Ин-т лесоведения. М.: Наука, 2004. 340 с.
- Bulut S., Günlü A. Determination of Total Carbon Storage using Sentinel-2 and Geographic Information Systems in Mixed Forests // Anatolian Journal of Forest Research. 2019. V. 5. № 2. P. 127—135.
- Chameides W.L., Perdue E. M. Biogeochemical Cycles: A Computer-Interactive Study of Earth System Science and Global Change (Computer-Based Earth System Science Series). Biogeochemical cycles. New York: Oxford University Press, 1997. 224 p.
- Gou Q., Gao M., Wang G. Multi-functional characteristics of artificial forests of *Caragana korshinskii* Kom with different plantation ages in the hilly and sandy area of Northwest Shanxi, China // Land Degradation & Development. 2023. № 14(34). P. 4195—4207.
- Kulakova E. Carbon sequestration in artificial forest stands of the Karachayevo-Cherkessian Republic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 1(875). P. 012022.
- Lázaro-Lobo A. et al. Quantifying carbon storage and sequestration by native and non-native forests under contrasting climate types // Global Change Biology. 2023. № 16(29). P. 4530—4542.
- Nave L.E. et al. The role of reforestation in carbon sequestration // New Forests. 2019. V. 50. № 1. P. 115—137.
- Noulèkoun F., Mensah S., Birhane E., Son Y., Khamzina A. Forest Landscape Restoration under Global Environmental Change: Challenges and a Future Roadmap // Forests. 2021. V. 12. № 3. P. 276.
- Osei R. et al. The distribution of carbon stocks between tree woody biomass and soil differs between Scots pine and broadleaved species (beech, oak) in European forests // European Journal of Forest Research. 2022. V. 3. № 141. P. 467—480.
- Poudel A., Sasaki N., Abe I. Assessment of carbon stocks in oak forests along the altitudinal gradient: A case study in the Panchase Conservation Area in Nepal // Global Ecology and Conservation. 2020. V. 23. P. e01171.
- Rodríguez De Prado D. et al. Can mixed forests sequester more CO₂ than pure forests in future climate scenarios? A case study of *Pinus sylvestris* combinations in Spain // European Journal of Forest Research. 2023. V. 1. № 142. P. 91—105.
- Sidik S. Diverse Forests Store More Carbon Than Monocultures // Eos. 2023. V. 104.
- Tognetti R., Smith M., Panzacchi P. Climate-Smart Forestry in Mountain Regions. Springer Nature, 2021. 574 p.
- Vachnadze G. et al. Carbon Stock Sequestered in the phytocenosis of oak forests in Georgia // Annals of Agrarian Science. 2018. V. 4. № 16. P. 476—480.
- Von Holle B., Yelenik S., Gornish E. S. Restoration at the landscape scale as a means of mitigation and adaptation to climate change // Current Landscape Ecology Reports. 2020. V. 5. № 3. P. 85—97.
- Warner E. et al. Young mixed planted forests store more carbon than monocultures — a meta-analysis // Frontiers in Forests and Global Change. 2023. V. 6. P. 1226514.

Carbon Depositing and Oxygen Emission in Artificial Oak Stands of Maykop Forestry District of the Adygea Republic

E. N. Shtepa^{1,*}, S. S. Sheshnitsan¹, V. Yu. Kulakov²

¹ Voronezh State University of Forestry and Technology,
Timiryazeva st. 8, Voronezh, 394087 Russian Federation
² Academic Centre for forest planning and innovations, LLC
Moskovskiy ave. 19, Voronezh, 394026 Russian Federation
* E-mail: kulakova_92@list.ru

Mountain and foothill forests provide many essential ecosystem services, but land use changes such as deforestation or, conversely, afforestation and reforestation can significantly impact their potential. Artificial forest stands can perform similar functions, but their effectiveness depends on species composition, age and management methods. Reforestation in these areas is critical to mitigating and adapting to climate change, increasing biodiversity and conserving water resources. Artificial forest stands in the North Caucasus were created with the aim of increasing the productivity of oak forests, and thanks to these measures, forest cover in the Republic of Adygea turned out to be significantly higher than in neighbouring regions. The purpose of the study was to assess the carbon-depositing and oxygen-producing role of artificial forest stands with oak in the foothills of the North Caucasus within the Republic of Adygea. It was found that in pure 70-year-old oak plantations the maximum increase in timber volume was 5.81 m³/ha per year, and the mixed 58-year-old oak stands were characterised by the minimum increase value, 1.04 m³/ha per year. The intensity of carbon accumulation and oxygen production was calculated through the increase in phytomass. The results showed that as the share of oak in the forest stand increased, production indicators and sequestration potential increased significantly. Artificial plantings of the Maikop forestry have accumulated in their above-ground and underground phytomass from 31 to 328 t C/ha. The annual accumulation of CO₂ by forests varied from 1.98 to 17.17 t/ha per year, and the annual production of O₂ was 1.71–12.79 t/ha per year. It has been proven that in order to increase the sequestration potential in the North Caucasus foothills, one of the most effective approaches may be targeted cultivation of pure and mixed forests with a predominance of seed oak, rather than the creation of a variety of multi-species plantations, including hornbeam and beech.

Key words: oak forests, North Caucasus foothills, phytomass, current growth, annual sequestration of carbon dioxide, oxygen production, ecosystem services, mitigation

REFERENCES

- Bulut S., Günlü A., Determination of Total Carbon Storage using Sentinel-2 and Geographic Information Systems in Mixed Forests, *Anatolian Journal of Forest Research*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 127–135.
- Chameides W. L., Perdue E. M., *Biogeochemical Cycles: A Computer-Interactive Study of Earth System Science and Global Change (Computer-Based Earth System Science Series)*, Biogeochemical cycles, New York: Oxford University Press, 1997, 224 p.
- Gou Q., Gao M., Wang G., Multi-functional characteristics of artificial forests of *Caragana korshinskii* Kom with different plantation ages in the hilly and sandy area of Northwest Shanxi, China, *Land Degradation & Development*, 2023, no. 14 (34), pp. 4195–4207.
- Kulakova E., Carbon sequestration in artificial forest stands of the Karachayev-Cherkessian Republic, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, no. 1 (875), pp. 012022.
- Lázaro-Lobo A. et al., Quantifying carbon storage and sequestration by native and non-native forests under contrasting climate types, *Global Change Biology*, 2023, no. 16(29), pp. 4530–4542.
- Nave L. E. et al., The role of reforestation in carbon sequestration, *New Forests*, 2019, vol. 50, no. 1, pp. 115–137.
- Noulèkoun F., Mensah S., Birhane E., Son Y., Khamzina A., Forest Landscape Restoration under Global Environmental Change: Challenges and a Future Roadmap, *Forests*, 2021, vol. 12, no. 3, pp. 276.
- Osei R. et al., The distribution of carbon stocks between tree woody biomass and soil differs between Scots pine and broadleaved species (beech, oak) in European forests, *European Journal of Forest Research*, 2022, vol. 3, no. 141, pp. 467–480.
- Poudel A., Sasaki N., Abe I., Assessment of carbon stocks in oak forests along the altitudinal gradient: A case study in the Panchase Conservation Area in Nepal, *Global Ecology and Conservation*, 2020, vol. 23, p. e01171.

- Rodriguez De Prado D. et al., Can mixed forests sequester more CO₂ than pure forests in future climate scenarios? A case study of *Pinus sylvestris* combinations in Spain, *European Journal of Forest Research*, 2023, vol. 1, no. 142, pp. 91–105.
- Sidik S., Diverse Forests Store More Carbon Than Monocultures, *Eos*, 2023, vol. 104.
- Tognetti R., Smith M., Panzacchi P., *Climate-Smart Forestry in Mountain Regions*, Springer Nature, 2021, 574 p.
- Vachnadze G. et al., Carbon Stock Sequestered in the phytocenosis of oak forests in Georgia, *Annals of Agrarian Science*, 2018, vol. 4, no. 16, pp. 476–480.
- Von Holle B., Yelenik S., Gornish E. S., Restoration at the landscape scale as a means of mitigation and adaptation to climate change, *Current Landscape Ecology Reports*, 2020, vol. 5, no. 3, pp. 85–97.
- Warner E. et al., Young mixed planted forests store more carbon than monocultures — a meta-analysis, *Frontiers in Forests and Global Change*, 2023, vol. 6, p. 1226514.
- Kalinichenko N. P., *Dubravyy Rossii* (Oak-forests of Russia), Moscow: VNIITslesresurs, 2000, 536 p.
- Tarankov V. I., *Monitoring lesnykh ekosistem* (Monitoring of forest ecosystems), Voronezh: VGLTU, 2006, 300 p.
- Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* (Ecosystems of Tellermanovskii forest), Moscow: Nauka, 2004, 339 p.
- Bakaeva Z. M., Zamolodchikov D. G., Zapasy i potoki ugleroda v lesakh Severnogo Kavkaza (Carbon pools and fluxes in forests of Northern Caucasia), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Estvennyye nauki*, 2009, no. 5(153), pp. 78–82.
- Borisenkov E. P., Kondrat'ev K. Y., *Krugovorot ugleroda i klimat* (Carbon cycle and climate), Leningrad: Gidrometizdat, 1988, 320 p.
- Utkin A. I., Zamolodchikov D. G., Chestnykh O. V., Puly ugleroda fitomassy, biologicheskogo ugleroda i azota pochv v lesnom fonde Rossii (Pools of phytomass carbon, biological carbon and soil nitrogen in the Russian forest fund), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2006, no. 2, pp. 18–34.
- Kulakova E. N., Chernodubov A. I., Iskusstvennye lesnye nasazhdeniya vostochnoi chasti Severnogo Kavkaza (Artificial forest plantations eastern part of North Caucasus), *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2016, vol. 6, no. 2(22), pp. 30–36.
- Kulakova E. N., Chernodubov A. I., Manaenkov A. S., Ekologo-ekonomicheskaya otsenka iskusstvennykh lesnykh nasazhdenii predgorii Karachaevo-Cherkesskoi Respubliki (Ecological and economics evaluation of artificial forest plantations of the foothills of Karachay-Cherkess Republic), *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2016, vol. 6, no. 4(24), pp. 13–21.
- <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/> (November 13, 2023).
- OST 56-69-83*.
- Tarankov V. I., Osobennosti tsiklicheskoj dinamiki prirosta drevesnykh porod v razlichnykh lesorastitel'nykh usloviyakh (Features of the cyclic dynamics of growth of tree species in various forest conditions), In: *Vosstanovlenie lesov, resurso- i energosberegayushchie tekhnologii lesnogo kompleksa* (Forest restoration, resource- and energy-saving technologies of the forestry complex), Voronezh: VGLTA, 2000, pp. 130–134.

УДК 631.962.4*582

ФЛОРА ЛЕСОПОЛОС С БЕРЕЗОЙ ПОВИСЛОЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА УФЫ

© 2024 г. Л. М. Ишбирдина^{1,*}, А. Ш. Тимерьянов¹, Г. Е. Одинцов¹, А. А. Габитова¹

¹ Башкирский государственный аграрный университет,
ул. 50-летия Октября, д. 34, Уфа, Республика Башкортостан, 450001, Россия

* E-mail: butomus11@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.03.2023

После доработки 15.07.2023

Принята к публикации 12.04.2024

В работе приводятся результаты исследования флоры защитных лесных полос, созданных из березы повислой (*Betula pendula* Roth), березы повислой и липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), березы повислой и яблони лесной (*Malus sylvestris* Mill.), березы повислой и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), березы повислой и тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в окрестностях г. Уфы. Выявлено большое видовое разнообразие флоры лесополос с березой повислой, значительно превышающее видовое разнообразие лесополос с тополем бальзамическим этой же зоны исследования. Ведущими семействами во флоре лесополос с березой повислой являются Сложноцветные (*Asteraceae*), Шиповниковые (*Rosaceae*), Бобовые (*Fabaceae*), Сельдерейные (*Apiaceae*), Мятликовые (*Poaceae*). Также хорошо представлены «рудеральные» и «полурудеральные» семейства: Капустные (*Brassicaceae*), Гвоздиковые (*Caryophyllaceae*), Яснотковые (*Lamiaceae*). Во флоре лесополос преобладают луговые, лугово-рудеральные виды и виды широколиственных лесов и их опушек. При этом в более старых, разреженных и более высоких лесополосах с увеличением количества света возрастает количество луговых и рудеральных видов. При условии низкой антропогенной нагрузки с возрастом лесополос увеличивается участие видов широколиственных лесов и их синантропизированных вариантов. Также установлено преобладание видов широкого спектра гемеробии — олиго-мезо-β-эугемеробов, но при осветлении древесного полога доминирование переходит к видам, более устойчивым к антропогенному влиянию, — мезо-эугемеробам. При высоких антропогенных нагрузках возрастает участие эугемеробов. В лесополосах из чистых березовых насаждений, березы и липы, березы и яблони обнаружен подрост и ювенильные экземпляры березы повислой. Нет возобновления березы в лесополосах с березой и тополем бальзамическим.

Ключевые слова: защитные лесополосы, анализ флоры, жизненные формы, гемеробия, экоценогруппы

DOI: 10.31857/S0024114824030054, EDN: PECVER

В последние годы работы по содержанию защитных лесополос практически не проводятся. Лесополосы, заложенные около 70 лет назад, развиваются спонтанно. Под полог основных насаждений внедряются древесные и кустарниковые виды, которые в настоящее время участвуют в создании ярусов подроста и подлеска. Происходит также изреживание древостоя, осветление посадок, что влечет за собой приток большого количества луговых и лугово-рудеральных видов, а частые заезды техники в лесополосы ведут к нарушению почвенного покрова и внедрению рудеральных малолетников. В 2017 г. проводилось обследование защитных полевых лесополос в окрестностях г. Уфы. Результаты анализа флоры лесополос с тополем бальзамическим были опубликованы ранее (Ишбирдина и др., 2019). В настоящей работе приводится анализ флоры лесополос из березы повислой, также расположенных в окрестностях г. Уфы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследование флоры проводилось в лесополосах, созданных с участием березы повислой: березы повислой и липы сердцевидной, березы повислой и яблони лесной, березы повислой и сосны обыкновенной, березы повислой и тополя бальзамического.

Пробные площади (ПП) были заложены в защитных лесополосах в окрестностях г. Уфы на удалении 30–50 км. В зависимости от ширины лесополос размер ПП составил от 200 до 400 м² (табл. 1), на каждой ПП выполнены геоботанические описания, их распределение по ПП приведено в табл. 1.

Таксация древостоев на ПП проводилась согласно ОСТ 56–69–83 (1983) по общепринятой методике (Методы... 2002). Возраст деревьев определялся подсчетом годовичных колец кернов древесины. Отбор образцов древесины производился с помощью бурава

Таблица 1. Общая характеристика лесополос

Параметры	Лесополосы								
	АЛ	АЛ	ЧЛ	ЧЛ	СП	СП	ОС	ОС	ОС
Порода	Б, Лп	Б	Б, С	Б, Т	Б	Б, Т	Б	Б, Яб	Б, Т
Количество выполненных геоботанических описаний	1	3	1	1	3	2	2	3	3
Формула древостоя	9Б1Лп	10Б	7Б3С	7Т3Б	6Т4Б	6Т4Б	10Б	9Б1Яб	5Б5Т
Длина лесополосы, м	660	1500	510	520	1350	1120	990	1500	1500
Ширина лесополосы, м	12.5	12	27	5	25	19	12.5	12	13.5
Высота древостоя, м	27	24	21	20	18.5	23.5	27	17	27
Диаметр ствола березы, см	25	24	36	28	34	26	28	26	33
Возраст лесополос	70	70	75	75	70	70	75	75	75
Наличие следов прямого антропогенного воздействия*	2	2	1	2	1	2	3	3	2
Сомкнутость крон древесного яруса, %	60	60	50	80	65	50	50	50	65
Сомкнутость крон подлеска и подроста, %	20	20	30	30	45	50	5	5	5
Проективное покрытие травянистого яруса, %	20	60	20	5	40	50	70	70	45
Количество видов	47	63	39	13	51	32	47	42	62
Количество семейств	22	26	24	10	24	17	16	17	24
Количество родов	44	58	34	11	44	31	43	37	56

Примечание. 1. Обозначения лесных полос: АЛ — Алексеевский, ОС — Осоргино; ЧЛ — Чернолесовский, СП — Сперанский. Обозначения древесных и кустарниковых пород: Б — береза, Лп — липа, Т — тополь, С — сосна, Яб — яблоня.

* Следы прямого антропогенного воздействия: 1 — слабое (незначительное количество пешеходных троп), 2 — среднее (умеренное количество пешеходных троп, следы заезда крупной техники), 3 — сильное (большое количество пешеходных троп, следы заезда крупной техники, наличие стихийных свалок бытового и строительного мусора).

Пресслера с деревьев на высоте 1.3 м по произвольно взятому радиусу.

Антропогенная нагрузка оценивалась как по степени прямого воздействия на лесополосы (наличие сети пешеходных троп, следов заезда крупной техники, свалок бытового и строительного мусора) (табл. 1), так и по количеству видов эу-поли-мета гемеробиального спектра.

Участие вида в сообществе оценивалось по шкале Браун-Бланке: г — вид на описываемой площадке встречен единично; + — проективное покрытие вида до 1%; 1 — от 1 до 5%; 2 — от 6 до 25%; 3 — от 26 до 50%; 4 — от 51 до 75%, 5 — выше 75%.

Номенклатура видов дана по С. К. Черепанову (1995).

Спектр жизненных форм флоры является ее важнейшей характеристикой. Анализ спектра жизненных форм лесополос проводился по системе С. Raunkjær (1934), отражающей приспособленность различных видов растений к перенесению неблагоприятных погодных и климатических условий в зимний период.

Гемеробия — это результат различных видов антропогенного воздействия на экосистему. Чем оно выше, тем больше уровень синантропности видов, составляющих растительные сообщества. Наивысшей

стадией проявления гемеробии являются искусственные местообитания, асфальтовые или бетонные площади, мусорные полигоны, отвалы и другие техногенные сооружения. Несколько более слабый уровень гемеробии — у растительных сообществ, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие, затем — у умеренно уязвимых сообществ лесов, лугов, остепенённых лугов и степей, находящихся под экстенсивным антропогенным влиянием. Наименьший уровень гемеробии — у особо чувствительных к изменениям естественных сообществ, где полностью или частично отсутствует антропогенное влияние. Анализ флоры лесополос проводился по методике разделения видов на 7 степеней гемеробии по D. Kunkin (1982), S. Klotz (1984) (шкала гемеробии имеет 7 степеней по Яласу (Frank et al., 1990): *a* — агемеробные виды, не выносящие антропогенного влияния; *o* — олигогемеробные виды лесов, лугов, верховых болот и т. д., выносящие очень незначительное антропогенное влияние; *m* — мезогемеробные виды лесов, лугов, остепенённых лугов и степей, испытывающих экстенсивное антропогенное влияние; *b* — β-эугемеробные виды лугов и лесов с интенсивным уходом, выносящие эвтрофикацию, известкование, незначительное нарушение грунта; *c* — α-эугемеробные виды удобряемых лугов, деградирующих

лесов, полевые сорняки; *p* — полигемеробные виды, выращиваемые в культуре и типичные рудеральные растения, выносящие сильные и частые нарушения местообитаний; *t* — метагемеробные виды полностью деградировавших экосистем и искусственных сообществ). При анализе гемеробии флоры лесополос было учтено, что большинство видов растений имеет широкие спектры гемеробии, т. е. способно произрастать как в олигогемеробных и мезогемеробных сообществах (т. е. *om*, например колокольчик скученный (*Campanula glomerata* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), первоцвет крупночашечный (*Primula macracalyx*) и другие) или в олигогемеробных сообществах, так и в мезо- и эугемеробных типах сообществ (т. е. *ombc*, например полевица тонкая (*Agrostis tenuis*), спаржа лекарственная (*Asparagus officinalis* L.), подорожник средний (*Plantago media*) и другие), поэтому в работе виды проанализированы по широте спектров гемеробии.

Эколого-ценотические группы видов (ЭЦГ) были выделены на основании литературных данных (Frank et al., 1990) и собственных исследований. В лесополосах насчитывалось 11 ЭЦГ:

- 1) ЭЦГ видов мезофитных широколиственных лесов;
- 2) ЭЦГ видов ксерофитных дубняков и их опушек;
- 3) стенотопная группа видов ксерофитных и мезофитных опушек широколиственных лесов;
- 4) эвритопная ЭЦГ видов синатропизированных вариантов широколиственных лесов;
- 5) стенотопная ЭЦГ пойменных лесов;
- 6) ЭЦГ луговых видов;
- 7) стенотопная группа степных видов;
- 8) эвритопная ЭЦГ лугово-рудеральных сообществ;
- 9) стенотопная ЭЦГ ксерофитных рудеральных многолетних сообществ;
- 10) эвритопная ЭЦГ видов рудеральных сообществ поздних стадий сукцессий с преобладанием малолетников;
- 11) ЭЦГ видов сообществ начальных стадий сукцессий и хронически сериальных рудеральных сообществ с преобладанием малолетников.

Анализ корреляционной зависимости проводился с применением рангового коэффициента корреляции, при этом сравнивались длина, ширина лесополос, возраст деревьев, количество видов флоры по изучаемым группам в общей выборке для лесополос с березой повислой, результаты интерпретировались по шкале Чеддока.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые лесополосы расположены в Чермасанско-Уршакском районе, относящемся к Левобережному Прибельскому округу южно-лесостепной

подзоны (Кадильников, 1964). Район охватывает узкую часть предгорий до южной границы Башкирии. Рельеф возвышенно-равнинный и равнинно-увалистый с одиночными горами и хребтами в предгорьях, отличается эрозионной расчлененностью, значительной облесенностью и развитием типичных черноземов, темно-серых лесных и дерновых почв. По классификации Крашенинникова и Кучеровской-Рожанец (1941) лесополосы в районе д. Осоргино (ОС) относятся к Дема-Уршакскому степному району Степной зоны Предуралья, а лесополосы Чернолесовского (ЧЛ), Алексеевского (АЛ) и Сперанского (СП) — к району Предбельской леостепи, представляющей собой волнисто-увалистое пространство, расчлененное ее левыми притоками — реками Чермасан, Кармасан и нижними течениями рек Демы и Уршака. По геоботаническому районированию эти лесополосы относятся к Забельскому району широколиственных лесов (Кадильников, 1964).

Общая характеристика лесополос дана в табл. 1.

Лесополосы с березой повислой отличаются разнообразным видовым составом подлеска, кустарникового и травянистого ярусов. Проективное покрытие древесного яруса составляет в среднем 59 %, подлеска — 23 %, травянистого яруса — 42 %. Всего во флоре лесополос с березой повислой зарегистрировано 138 видов, относящихся к 48 семействам.

Общее количество видов в лесополосах варьирует, максимальное число видов (63) выявлено в чистой березовой лесополосе АЛ, минимальное (13) — в лесополосе береза-тополь ЧЛ. При этом количество видов положительно коррелирует с длиной лесополосы (0.67). Ведущими семействами во флоре лесополос являются Сложноцветные (22 вида), Шиповниковые (14), Бобовые (10), Сельдерейные, Мятликовые (по 9 видов), Капустные, Гвоздиковые, Норичниковые (*Scrophulariaceae*) (по 5 видов), Яснотковые, Ивовые (*Salicaceae*) (по 4 вида). Во всех лесополосах с березой повислой представлены виды четырех семейств: Сложноцветных, Шиповниковых, Сельдерейных, Березовых (*Betulaceae*), в восьми из девяти изученных лесополос — виды семейств Бобовых, Мареновых (*Rubiaceae*), Молочайных (*Euphorbiaceae*), в семи лесополосах — виды семейств Мятликовых, в шести — Кленовых (*Aceraceae*), Осоковых (*Cyperaceae*), Ивовых (*Salicaceae*) (рис. 1).

При этом виды семейств по-разному реагируют на сомкнутость крон древесного яруса, отрицательную корреляцию проявили следующие семейства: Шиповниковые (–0.59), Молочайные (–0.77). Семейство Норичниковые положительно коррелирует с сомкнутостью крон древесного яруса (0.61). С проективным покрытием кустарникового яруса положительную корреляцию показали семейства Осоковые (*Cyperaceae*) (0.59), Ивовые (0.62), Калиновые (*Viburnaceae*) (0.68) и отрицательную корреляцию — семейства Мятликовые (–0.57), Сложноцветные (–0.79). С проективным покрытием травянистого

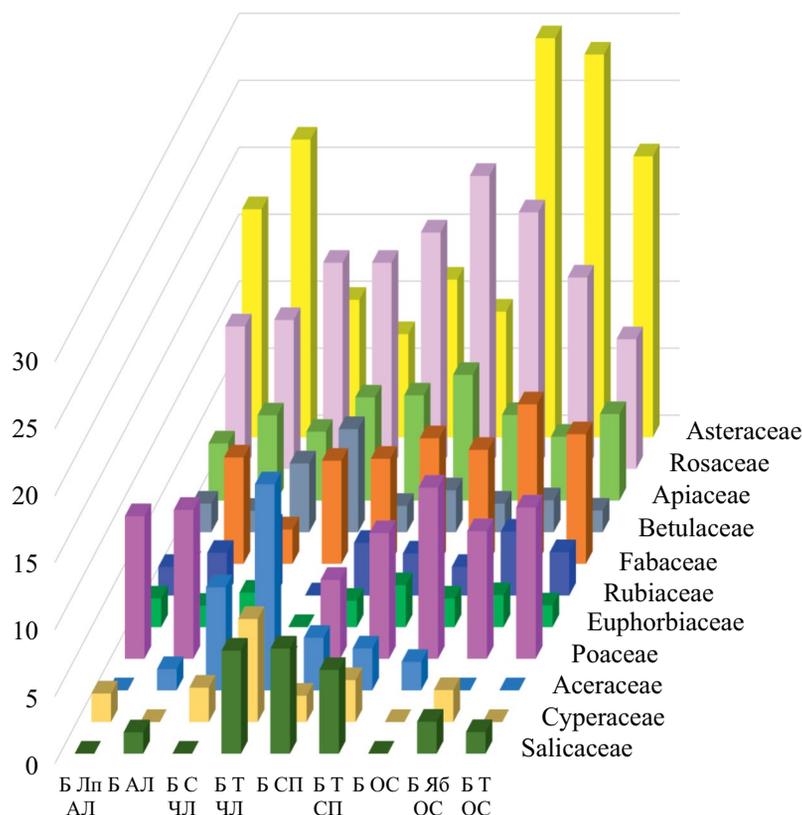


Рис. 1. Роль ведущих семейств во флоре лесополос с березой повислой, %.

яруса отрицательную корреляцию показали виды семейств Кленовых (-0.78), а положительную — виды семейств Сложноцветных (0.76), Шиповниковых (0.69), Сельдерейных (0.54), Бобовых (0.77). Заметную положительную корреляцию с длиной лесополосы по количеству выявленных видов показали семейства Шиповниковые, Мареновые, Сложноцветные, Мятликовые ($0.51, 0.63, 0.66, 0.68$), высокую — семейства Сельдерейные и Бобовые ($0.75, 0.93$).

С шириной лесополос заметную корреляцию показали семейства Кленовые (0.52), Калиновые (0.63), Шиповниковые (0.55), Мареновые, Молочайные (0.56). Со средней высотой деревьев в лесополосах положительно коррелирует семейство Мятликовые (0.62) и отрицательную корреляцию показало семейство Осоковые (-0.63).

В спектре жизненных форм почти всех изученных лесополос доминируют гемикриптофиты, однако в лесополосе ЧЛ береза — тополь преобладает доля фанерофитов и нанофанерофитов, при высокой сомкнутости крон древесного яруса в лесополосе береза — сосна преобладание криптофитов над фанерофитами составляет лишь 2.6% (табл. 2).

Терофиты и гемитерофиты заметно представлены в лесополосах Ал и Ос (от 9.5 до 11.3% видов). Количество нанофанерофитов в лесополосах с березой показало отрицательную корреляцию с проективным покрытием травяного яруса (-0.71), хамефиты — отрицательную корреляцию с проективным покрытием древесного яруса (-0.82). Гемикриптофиты положительно коррелируют с длиной лесополос (0.75) и отрицательно — с проективным покрытием кустарникового

Таблица 2. Спектр жизненных форм флоры лесополос с березой повислой (%)

Показатель, составляющая	Лесополоса								
	Ал	Ал	ЧЛ	ЧЛ	СП	СП	ОС	ОС	ОС
Состав лесополос	Б Лп	Б	Б С	Б Т	Б	Б Т	Б	Б Яб	Б Т
Фанерофиты	14.9	11.1	33.3	50.0	19.6	25.0	10.6	9.5	9.7
Нанофанерофиты	2.1	6.3	12.8	16.7	9.8	3.1	2.1	2.4	4.8
Хамефиты	6.4	6.3	5.1	0.0	5.9	6.3	6.4	7.1	3.2
Гемикриптофиты	59.6	65.1	35.9	25.0	52.9	53.1	66.0	64.3	66.1
Криптофиты	6.4	4.8	10.3	8.3	11.8	12.5	4.3	7.1	4.8
Гемитерофиты и терофиты	10.6	6.3	2.6	0.0	0.0	0.0	10.6	9.5	11.3

яруса (−0.52), криптофиты положительно коррелируют с шириной лесополос (0.64) и проективным покрытием кустарникового яруса (0.89), а терофиты показали с ним отрицательную корреляцию (−0.9).

В спектре гемеробии лесополос доминируют олиго-мезо-β-эугемеробы (тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), репешок аптечный (*Agrimonia eupatoria* L.), пупавка красильная (*Anthemis tinctoria* L.), василек узкочешуйчатый (*Centaurea stenolepis* A. Kern.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), девясил британский (*Inula Britannica* L.), бедренец камнеломка (*Pimpinella saxifraga* L.), мятлик дубравный (*Poa nemoralis* L.), лютик многоцветковый (*Ranunculus polyanthemos* L.), звездчатка злаковидная (*Stellaria graminea* L.) и др.) и лишь в лесополосах Береза-Тополь, Береза-Яблоня и чистая Береза (ОС) преобладают мезо-эугемеробы. Общий анализ флоры лесополос с березой по спектру гемеробии показал, что второй и третьей по численности группами являются олиго-мезогемеробы (колокольчик скученный (*Campanula glomerata* L.), колокольчик крапиволистный (*C. trachelium* L.), осока колосистая (*Carex contigua*), дремлик чемерицевидный (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), подмаренник душистый (*Galium odoratum* (L.) Scop.), чина весенняя (*Lathyrus vernus* (L.) Bernh.), купена многоцветковая (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.) и др.) и мезо-эугемеробы (икотник серо-зелёный (*Berteroa incana* (L.) DC.), свербига восточная (*Bunias orientalis* L.), ясколка костенцовая (*Cerastium holosteoides* Fr.), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), короставник

полевой (*Knautia arvensis* (L.) Coult.), хатма тюрингенская (*Lavatera thuringiaca* (L.) Vis.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) и др.) (рис. 2).

Доля олиго-мезогемероб достаточно высока в лесополосах Береза-Сосна (ЧЛ), Береза и Береза-Тополь (СП). В лесополосах Береза-Тополь (ЧЛ), Береза-Яблоня и Береза-Тополь (ОС) большая доля видов приходится на эу-полигемеробы, что свидетельствует о высокой и средней степени антропогенной нагрузки на эти полосы. С длиной лесополос положительную корреляцию показали мезо-β-эугемеробы (0.6), мезо-β-α-эугемеробы (0.54), а мезо-β-α-эу-полигемеробы — отрицательную (−0.67). С шириной лесополос положительную корреляцию показали олигогемеробы (0.86) и олиго-мезогемеробы (0.75), в то же время олиго-мезо-β-α-эугемеробы (−0.68), β-α-эугемеробы — полигемеробы (−0.63) и α-эугемеробы — полигемеробы (−0.77) показали отрицательную корреляцию. С высотой древостоя лесополос отрицательную корреляцию показали олиго-мезогемеробы (−0.52) и положительную — β-α-эугемеробы (0.77). С возрастом лесополос (диаметром ствола) положительно коррелируют олигогемеробы (0.8) и олиго-мезогемеробы (0.67). С сомкнутостью крон деревьев лесополос отрицательно коррелируют мезо-β-эугемеробы (−0.57) и положительно — α-эугемеробы — полигемеробы (0.7). С проективным покрытием кустарникового яруса положительно коррелируют олиго-мезогемеробы (0.7) и олиго-мезо-β-эугемеробы (0.92), отрицательную корреляцию показали олиго-мезо-β-α-эугемеробы (−0.53), мезо-β-α-эугемеробы (−0.84), β-α-эугемеробы

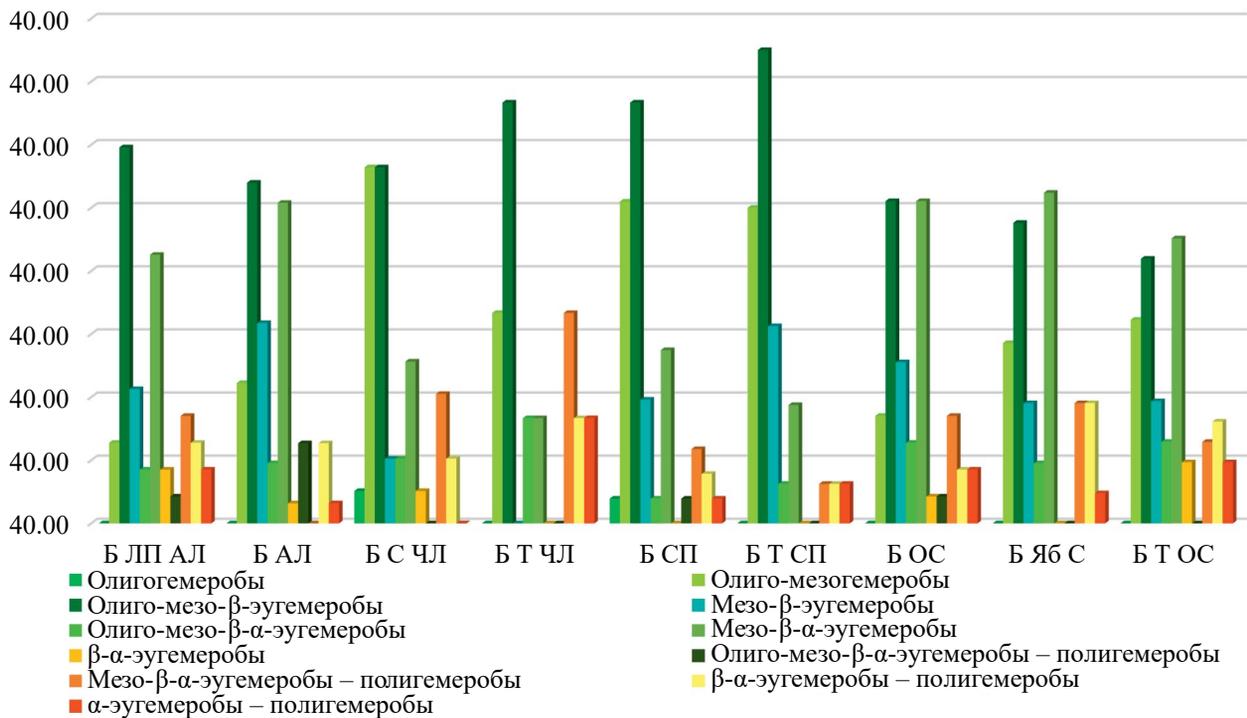


Рис. 2. Спектры гемеробии флоры лесополос, %.

(-0.5), β - α -эугемеробы — полигемеробы (-0.62). С про-
ективным покрытием травянистого яруса положительно
коррелируют мезо- β -эугемеробы (0.73) и мезо- β - α -эу-
гемеробы (0.69), а мезо- β - α -эугемеробы — полигеме-
робы (-0.58) показали отрицательную корреляцию.

Анализ распределения видов флоры лесополос
по эколого-ценотическим группам показал преоб-
ладание луговых видов и видов широколиственных
лесов и их опушек, кроме того хорошо представлены
лугово-рудеральные виды (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. Количественное распределение видов общей флоры лесополос по эколого-ценотическим группам

№	Экоценогруппа	Количество видов
1	Виды мезофильных липово-дубовых и мезоигрофильных ольхово-черемуховых лесов	12
2	Виды широколиственных лесов и их опушек	21
3	Виды ксерофитных дубняков и их опушек	7
4	Виды ксерофитных и мезофитных опушек	16
5	Виды пойменных лесов	4
6	Луговые виды	29
7	Виды степных сообществ	4
8	Виды лугово-рудеральных сообществ	19
9	Виды ксерофитных рудеральных многолетних сообществ	7
10	Виды рудеральных сообществ поздних стадий сукцессий с преобладанием многолетников	8
11	Виды сообществ начальных стадий сукцессий и хронически сериальных рудеральных сообществ с преобладанием малолетников	8

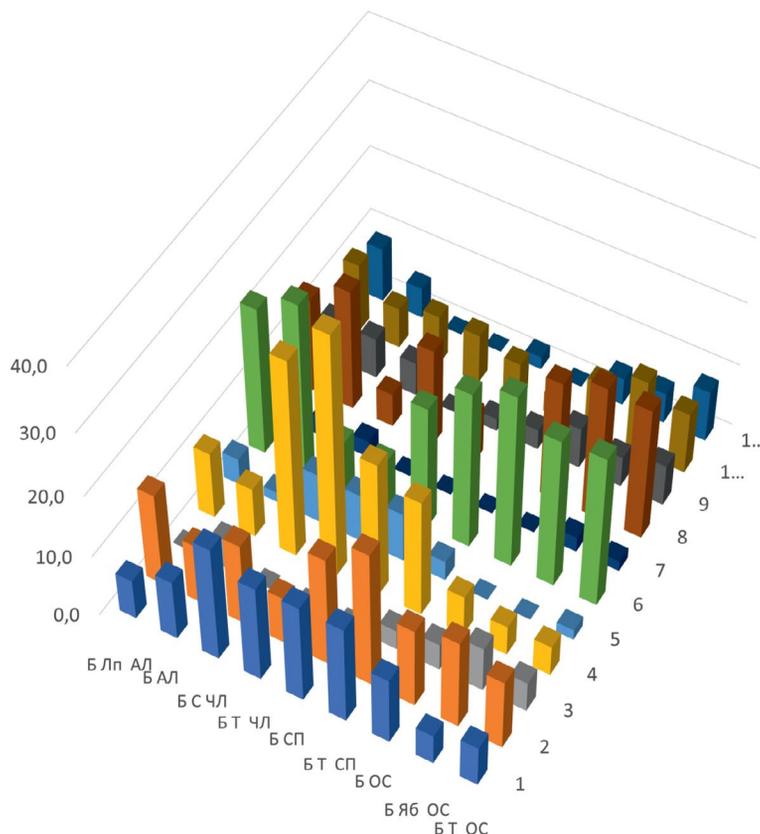


Рис. 3. Спектр эколого-ценотических групп видов лесополос из березы повислой, %: 1) ЭЦГ видов мезофитных широколиственных лесов; 2) ЭЦГ видов ксерофитных дубняков и их опушек; 3) стенотопная группа видов ксерофитных и мезофитных опушек широколиственных лесов; 4) эвритопная ЭЦГ видов синатропизированных вариантов широколиственных лесов; 5) стенотопная ЭЦГ пойменных лесов; 6) ЭЦГ луговых видов; 7) стенотопная группа степных видов; 8) эвритопная ЭЦГ лугово-рудеральных сообществ; 9) стенотопная ЭЦГ ксерофитных рудеральных многолетних сообществ; 10) эвритопная ЭЦГ видов рудеральных сообществ поздних стадий сукцессий с преобладанием малолетников; 11) ЭЦГ видов сообществ начальных стадий сукцессий и хронически сериальных рудеральных сообществ с преобладанием малолетников.

С длиной лесополос положительную корреляцию показали виды ЭЦГ ксерофитных дубняков и их опушек (0.56), ЭЦГ стенотопной группы ксерофитных и мезофитных опушек широколиственных лесов (0.78), ЭЦГ луговых сообществ (0.75), эвритопной ЭЦГ лугово-рудеральных сообществ (0.68). С шириной лесополос положительно коррелируют виды ЭЦГ мезофитных широколиственных лесов (0.82), ЭЦГ ксерофитных дубняков и их опушек (0.59), эвритопной ЭЦГ синатропизированных вариантов широколиственных лесов (0.83), стенотопной ЭЦГ пойменных лесов (0.74). Отрицательную корреляцию с шириной лесополос показала стенотопная ЭЦГ ксерофитных рудеральных многолетних сообществ (-0.59). Положительную корреляцию с высотой деревьев лесополос показали виды ЭЦГ луговых сообществ (0.51), виды стенотопной ЭЦГ ксерофитных рудеральных многолетних сообществ (0.54), виды сообществ начальных стадий сукцессий и хронически сериальных рудеральных сообществ с преобладанием малолетников (0.6). Положительную корреляцию с возрастом деревьев показали виды ЭЦГ мезофитных широколиственных лесов (0.54), эвритопной ЭЦГ синатропизированных вариантов широколиственных лесов (0.67), стенотопной ЭЦГ пойменных лесов (0.64). Положительную корреляцию с проективным покрытием кустарникового яруса показали виды эвритопной ЭЦГ синатропизированных вариантов широколиственных лесов

(0.67), стенотопной ЭЦГ пойменных лесов (0.62). Отрицательную корреляцию с проективным покрытием кустарникового яруса показали виды стенотопной группы ксерофитных и мезофитных опушек широколиственных лесов (-0.68), эвритопной ЭЦГ лугово-рудеральных сообществ (-0.77), стенотопной ЭЦГ ксерофитных рудеральных многолетних сообществ (-0.62), эвритопной ЭЦГ рудеральных сообществ поздних стадий сукцессий с преобладанием малолетников (-0.79), ЭЦГ сообществ начальных стадий сукцессий и хронически сериальных рудеральных сообществ с преобладанием малолетников (-0.67). Положительную корреляцию с проективным покрытием травянистого яруса показали виды стенотопной группы ксерофитных и мезофитных опушек широколиственных лесов (0.79), ЭЦГ луговых сообществ (0.7), эвритопной ЭЦГ лугово-рудеральных сообществ (0.64). Отрицательную корреляцию с проективным покрытием травянистого яруса показали виды стенотопной ЭЦГ пойменных лесов (-0.52).

В исследованных лесополосах идет развитие подроста и подлеска, на рис. 4 отражено количество древесно-кустарниковых видов в лесополосах, составляющих подрост и подлесок. Анализ количества видов подроста и подлеска по лесополосам выявил положительную корреляцию (0.6) с шириной лесополос. В табл. 4 отмечено выявленное возобновление основных видов, формирующих лесополосы.

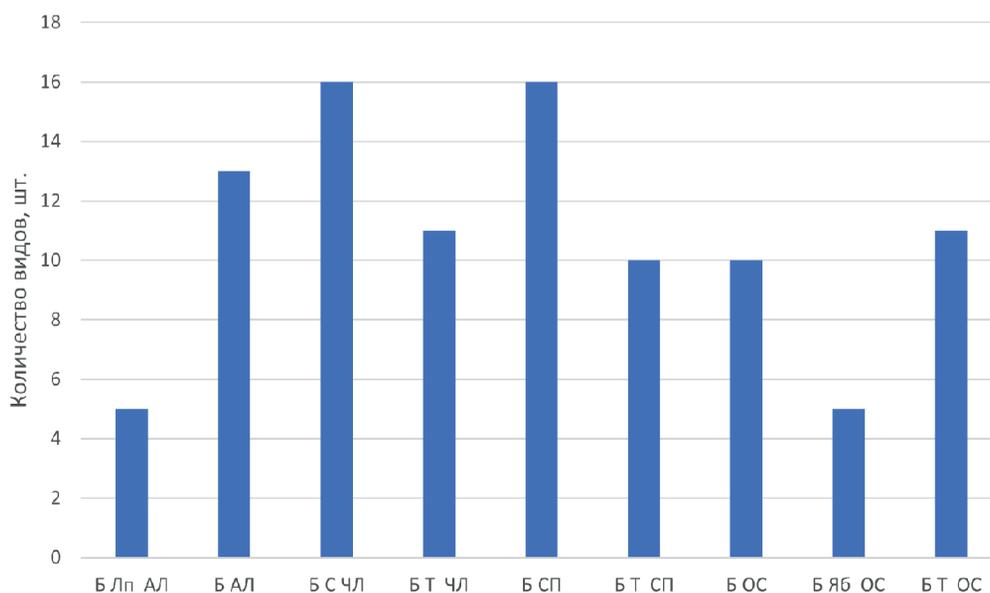


Рис. 4. Количественные характеристики видового состава подроста и подлеска в лесополосах из березы повислой.

Таблица 4. Возобновление видов, формирующих лесополосы

Показатель	Лесополоса								
	АЛ	АЛ	ЧЛ	ЧЛ	СП	СП	ОС	ОС	ОС
Состав лесополос	Б Лп	Б	Б С	Б Т	Б	Б Т	Б	Б Яб	Б Т
Возобновление основных видов	Береза юв, подрост	Береза юв, подрост	Сосна юв	—	Береза юв, подрост	—	Береза юв, подрост	Береза юв, яблоня юв, подрост	—

Почти во всех лесополосах отмечен подрост заносных видов: клена американского (*Acer negundo* L.), клена татарского (*A. tataricum* L.), ирги канадской (*Amelanchier canadensis* (L.) Medik.), ясени американского (*Fraxinus americana* L.), тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), единственная лесополоса, где не обнаружено заносных видов, — Береза-Яблоня ОС, в ней подрост и подлесок сформированы из видов аборигенной флоры: рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), яблони лесной, шиповника коричневого (*Rosa majalis* L.), осины обыкновенной (*Populus tremula* L.). В описанных лесополосах также часто встречается подрост из клена остролистного (*Acer platanoides* L.), лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.), бересклета бородавчатого (*Euonymus verrucosa* Scop.), крушины ольховидной (*Frangula alnus* Mill.), черемухи обыкновенной (*Padus avium* Mill.), сосны обыкновенной, дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), липы сердцевидной, вяза голого (*Ulmus glabra* Huds.), калины обыкновенной (*Viburnum opulus* L.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, большое видовое разнообразие флоры лесополос с березой повислой, значительно превышающее видовое разнообразие лесополос с тополем бальзамическим (Ишбирдина и др., 2019), связано с меньшей сомкнутостью крон древесного яруса и, благодаря этому, более олуговелым характером травяного яруса.

Ведущими семействами во флоре лесополос с березой повислой являются Сложноцветные, Шиповниковые, Бобовые, Сельдерейные, Мятликовые. Хорошо представлены «рудеральные» и «полурудеральные» семейства: Капустные, Гвоздиковые, Яснотковые. В лесополосах с тополем бальзамическим представленность рудеральных семейств значительно ниже, что говорит о большей затененности и меньшей степени антропогенной нагрузки.

Семейства Шиповниковые и Молочайные избегают насаждений с большей сомкнутостью крон деревьев, а семейства Мятликовые и Сложноцветные — с большей сомкнутостью кустарникового яруса. Увеличение высоты древесного яруса способствует росту доли участия семейства Мятликовые и снижению доли семейства Осоковые.

С олуговелым характером травянистого яруса связано и преобладание гемикриптофитов в спектре жизненных форм флоры лесополос с низкой и средней сомкнутостью крон. При усилении антропогенной нагрузки и частых нарушениях грунта в лесополосах увеличивается доля терофитов и гемитерофитов. А при увеличении сомкнутости крон — фанерофитов и нанофанерофитов.

В более старых лесополосах возрастает доля олигогемеробов и олиго-мезогемеробов, выносящих очень незначительное антропогенное влияние и экстенсивное пользование.

В целом в лесополосах с березой преобладают виды широкого спектра гемеробии — олиго-мезо-β-эугемеробы, при осветлении древесного полога преобладание переходит к видам, более устойчивым к антропогенному влиянию, — мезо-эугемеробам. При высоких антропогенных нагрузках возрастает участие эугемеробов (желтушник левкойный (*Erysimum cheiranthoides* L.), ясень американский, донник желтый (*Melilotus officinalis* (L.) Lam.), чистец однолетний (*Stachys annua* (L.) L.) и др.) и эу-полигемеробов (полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), молочай прутьевидный (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.), латук татарский (*Lactuca tatarica* (L.) C. A. Mey.), пустырник пятилопастный (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.), трехреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) и др.).

Анализ видов разных экоценогрупп подтвердил преобладание во флоре луговых, лугово-рудеральных видов и видов широколиственных лесов и их опушек. При этом в более старых, разреженных и более высоких лесополосах с увеличением количества света возрастает количество луговых и рудеральных видов. Также при условии низкой антропогенной нагрузки с возрастом лесополос увеличивается участие видов широколиственных лесов и их синантропизированных вариантов.

С увеличением длины лесополос незначительно возрастает участие семейств Шиповниковых, Мареновых, в средней степени нарастает доля семейств Сложноцветных, Мятликовых и значительно увеличивается количество семейств Сельдерейных и Бобовых. Это в основном виды ксерофитных дубняков, широколиственных лесов и их опушек, луговые и лугово-рудеральные виды. Возрастание ширины лесополос увеличивает долю участия семейств Кленовых, Калиновых, Шиповниковых, Мареновых, Молочайных.

Увеличение ширины лесополос положительно отражается на возрастании доли олигогемеробных и олиго-мезогемеробных видов широколиственных лесов и их синантропизированных вариантов, ксерофитных дубняков и их опушек, пойменных лесов. При этом сокращается доля видов более широкого спектра гемеробии: олиго-мезо-эугемеробов, эу-полигемеробов, в том числе видов ксерофитных рудеральных многолетних сообществ.

Во всех лесополосах с березой повислой хорошо развит подрост и подлесок из видов широколиственных лесов: клена остролистного, лещины обыкновенной, бересклета бородавчатого, крушины ольховидной, яблони лесной, черемухи обыкновенной, сосны обыкновенной, осины обыкновенной, дуба черешчатого, шиповника коричневого, ежевики сизой (*Rubus caesius* L.), ивы белой (*Salix alba* L.), ивы пепельной (*Salix cinerea* L.), рябины обыкновенной, липы сердцевидной, вяза голого, калины обыкновенной, которые внедряются в лесопосадки из окрестных лесов. Однако также часто встречаются

заносные виды [ясень американский, тополь бальзамический, клен американский, клен татарский, ирга канадская, карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), крыжовник обыкновенный (*Grossularia uva-crispa* (L.) Mill.)], они попадают в лесополосы из близлежащих садовых участков, а рудеральные древесные виды — с обочин дорог.

В лесополосах из чистых березовых насаждений, из березы и липы, березы и яблони обнаружен подрост и ювенильные экземпляры березы повислой. Нет возобновления березы в лесополосах с березой и тополем бальзамическим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ишбирдина Л. М., Тимерьянов А. Ш., Одинцов Г. Е.* Флора лесополос с тополем бальзамическим (*Populus balsamifera* L.) в окрестностях города Уфы // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2019. № 2. С. 4—22.
- Кадильников И. П.* Физико-географическое районирование Башкирской АССР. Уфа: Башкирский гос. ун-т, 1964. 210 с.
- Крашенинников И. М., Кучеровская-Рожанец С. Е.* Природные ресурсы Башкирской АССР: в 3 т. Т. 1: Растительность Башкирской АССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 155 с.
- Методы изучения лесных сообществ / под ред. В. Т. Ярмишко, И. В. Лянгузовой. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 2002. 240 с.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- Черепанов С. К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 990 с.
- Frank D., Klotz S., Klotz S.* Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR. Halle (Saale), 1990. 167 p.
- Klotz S.* Die ruderalgesellschaften eines neubaugebietes — ihre verbreitung und kombination // Acta Bot. Slov. Acad. Sci. Slovaca. 1984. № 1. P. 111—125.
- Kunick D.* Zonietung des Stadtgebietes von Berlin (West). Ergebnisse Floristischer Untersuchung // Gen. Schriftenr. d. Fachber. Landschaftsentwicklung u. Umweltforsch. 1982. № 14. P. 1—164.
- Raunkiaer C.* The life forms of plant and statistical plant geography. Oxford: Clarendon Press, 1934. 632 p.

The Flora of Silver Birch Shelter Belts in the Vicinity of the Ufa City

L. M. Ishbirdina^{1,*}, A. Sh. Timer'yanov¹, G. E. Odintsov¹, A. A. Gabitova¹

¹ Bashkir State Agrarian University,
50-letiya Oktyabrya st. 34, Ufa, 450001, Russian Federation
* E-mail: butomus11@yandex.ru

The paper presents the results of a study of the flora of shelter belts comprised of: silver birch (*Betula pendula* Roth), silver birch and heart-shaped linden (*Tilia cordata* Mill.), silver birch and apple trees (*Malus sylvestris* Mill.), silver birch and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch and balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) in the vicinity of the Ufa city. It was revealed that there exists a large species diversity of flora in shelter belts with silver birch, significantly exceeding the species diversity of shelter belts with balsam poplar in the same study area. The leading families in the flora of shelterbelts with silver birch were *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Fabaceae*, *Apiaceae*, and *Poaceae*. The “ruderal” and “semi-ruderal” families are also well represented: *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Lamiaceae*. The flora of shelter belts is dominated by meadow, meadow-ruderal species and species of broadleaved forests and their fringes. At the same time, in older, sparser and taller shelter belts, the number of meadow and ruderal species increases with an increase in the amount of light passing through the canopy. Under the conditions of low anthropogenic load, the proportion of broadleaved forest species and their synanthropized variants increases with the age of shelter belts. The predominance of species with a wide range of hemeroby accommodation — oligo-meso-β-euhemerobes — has also been established, but with the tree canopy getting sparser, the dominant position passes to species that are more resistant to anthropogenic influence — meso-euhemerobes. At high anthropogenic loads, the participation of euhemerobes increases. In shelter belts of pure birch, birch and linden, birch and apple trees, undergrowth and juvenile specimens of silver birch were found. There is no regeneration of birch in forest belts with birch and balsam poplar.

Keywords: shelter belts, floristic analysis, life forms, hemeroby, ecosystem groups

REFERENCES

- Czerepanov S. K., *Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR)*, Cambridge: Cambridge university press, 1995, 516 p.
- Frank D., Klotz S., Klotz S., *Biologisch-ökologische Daten zur Flora der DDR*, Halle (Saale), 1990, 167 p.
- Ishbirdina L. M., Timer'yanov A.S., Odintsov G. E., Flora lesopolos s topolem bal'zamicheskim (*Populus balsamifera* L.) v okrestnostyakh goroda Ufy (The flora of the forest belt with balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) in the vicinity of the city of Ufa), *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva*, 2019, no. 2, pp. 4—22.
- Kadil'nikov I.P., *Fiziko-geograficheskoe raionirovanie Bashkirskoi ASSR* (Physico-geographical zoning of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic), Ufa: Bashkirskii gos. un-t, 1964, 210 p.
- Klotz S., Die rudergesellschaften eines neubaugebietes — ihre verbreitung und combination, *Acta Bot. Slov. Acad. Sci. Slovaca*, 1984, no. 1, pp. 111—125.
- Krashennikov I. M., Kucherovskaya-Rozhanets S.E., *Prirodnye resursy Bashkirskoi ASSR* (Natural resources of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic), Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1941, vol. 1: Vegetation of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic, 155 p.
- Kunick D., Zonietung des Stadtgebietes von Berlin (West). Ergebnisse Floristischer Untersuchung, *Gen. Schriftenr. d. Fachber. Landschaftsentwicklung u. Umweltforsch*, 1982, no. 14, pp. 1—164.
- Metody izucheniya lesnykh soobshchestv* (Methods of forest communities study), Saint Petersburg: Izd-vo NII Khimii SPbGU, 2002, 240 p.
- OST 56-69-83* (Industrial standart), Moscow: TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1983, 60 p.
- Raunkjær C., *The life forms of plant and statistical plant geography*, Oxford: Clarendon Press, 1934, 632 p.

УДК 504.064.2: 574.2

СВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ С ЖИЗНЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ДРЕВОСТОЯ В ГРАДИЕНТЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМБИНАТА «КАРАБАШМЕДЬ»

© 2024 г. В. Д. Горбунова^{1,*}, С. Л. Менщиков¹¹ Botanical Garden, Ural Branch of the RAS, 8-Marta st. 202a, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

* E-mail: botgarden.gor@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.10.2023

После доработки 13.03.2024

Принята к публикации 12.04.2024

Город Карабаш (Челябинская обл.) является примером экологических катастроф, связанных с промышленным производством. До сих пор есть недостаток информации о механизмах, обеспечивающих устойчивость различных пород к повышенным концентрациям тяжелых металлов. Целью данной работы стало выявление связи химического состава листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) с жизненным состоянием древостоя в градиенте загрязнения АО «Карабашмедь». Для исследования выбрали естественные древостои березы повислой на разном удалении от АО «Карабашмедь» в северном и северо-восточном направлениях. В листьях березы повислой определили содержание макроэлементов (азот, фосфор, калий, магний, кальций, натрий, сера; рассчитали NPK как суммарное содержание азота, фосфора и калия) и микроэлементов (кадмий, кобальт, хром, медь, железо, никель, свинец и цинк). Была установлена зависимость содержания макро- и микроэлементов в листьях березы повислой от жизненного состояния древостоя в градиенте аэротехногенных выбросов АО «Карабашмедь». Зафиксировано повышение концентрации серы и микроэлементов: кадмия, свинца, цинка, меди, железа и хрома — и снижение общего содержания азота, фосфора и калия в листьях берез на пробных площадях, ближайших к источнику загрязнения. Корреляционный анализ выявил увеличение содержания кадмия, свинца, меди, цинка и серы (коэффициенты корреляции более 0.3—0.6) и снижение общего содержания азота, фосфора и калия с увеличением дефолиации, дехромации и ухудшением категории состояния.

Ключевые слова: макроэлементы, микроэлементы, береза повислая, техногенное загрязнение, категория состояния древостоя

DOI: 10.31857/S0024114824030066, EDN: PECKIC

Промышленное воздействие является одной из основных причин изменения природных сообществ, создаваемых человеком. Примером экологической катастрофы, связанной с промышленным производством, является г. Карабаш в Челябинской обл. Зона воздействия АО «Карабашмедь» охватывает площадь свыше 35 км² (Коротеева, Вейсберг, 2019). Значительное загрязнение природных сообществ этой территории происходит в основном из-за выбросов газов и пыли. Сернистый газ составляет около 98 % всех выбросов и является источником кислотного загрязнения, а пыль содержит различные тяжелые металлы. Основными загрязнителями комбината, наряду с диоксидом серы, являются тяжелые металлы. Особенность токсического эффекта данных загрязнителей заключается в совместном действии, оказываемом ими на лесные экосистемы (Менщиков, Ившин, 2006).

На территории воздействия Карабашского медеплавильного комбината изучалась как древесная (Суховольский, Иванова, 2018; Тагилова, Ольберг,

2021; Махнева, Менщиков, 2021; Усольцев и др., 2021), так и травянистая растительность (Малева и др., 2018; Коротеева, Вейсберг, 2019; Ночевный, Тептина, 2020), было проанализировано содержание тяжелых металлов в разных органах березы повислой в южном направлении (Коротеева и др., 2015). Наиболее общими проявлениями действия тяжелых металлов на растения являются: ингибирование фотосинтеза, нарушение транспорта ассимилятов и минерального питания, изменение водного и гормонального обмена, торможение роста (Кузнецов, 2006; Титов, 2007). Концентрация питательных элементов в ассимиляционных органах является одним из критериев оценки состояния лесных экосистем, определения влияния аэротехногенного загрязнения и оценки обеспечения элементами питания древесных растений. При нехватке или избытке определенных питательных элементов в почве анализ химического состава ассимилирующих органов позволяет выявить дисбаланс питания в растениях. Состояние питания деревьев часто свидетельствует о процессах, происходящих

на уровне экосистемы (в границах биогеоценоза). Недостаточное поступление питательных веществ может быть прямой причиной низкой жизнеспособности деревьев или фактором, усиливающим неблагоприятное воздействие загрязнения воздуха. Высокие концентрации определенных элементов в тканях листьев могут быть причиной последствия интоксикации или высокого уровня загрязнения воздуха. Химическое загрязнение почвы также может привести к дисбалансу в поступлении питательных веществ и, как следствие, к несбалансированному питанию деревьев.

На березу приходится 124.8 тыс. га площади в Челябинской обл., занятой лесом, что составляет 52.8 % среди всех древесных видов (Доклад ... 2015). Береза является подходящим видом для долгосрочного мониторинга изменений в развитии ситуации с загрязнением воздуха из-за ее устойчивости и толерантности к атмосферному загрязнению (Hrdlička, Kula, 2004). Березовые насаждения широко распространены в различных климатических условиях и средах. Береза повислая приспособлена к неблагоприятным условиям среды, особенно к загрязнению (Петункина, Сарсацкая, 2015), ей свойственны особенности в потреблении химических элементов. Береза имеет на листьях толстую кутикулу, в связи с чем этот вид характеризуется повышенной стойкостью к загрязняющим веществам, выбрасываемым в атмосферу промышленными предприятиями, включая сернистый газ (Бухарина, Двоеглазова, 2010). В дополнение к углероду, водороду и кислороду основные макроэлементы (N, P и K), вторичные макроэлементы (Ca, Mg и S) и микроэлементы (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo и Zn) необходимы для здорового роста высших растений. Листья березы аккумулируют медь, никель и марганец более интенсивно, чем хвоя ели или сосны (Протасова, Беляев, 2001; Диярова и др., 2009). Сравнение содержания макро- и микроэлементов в листьях разных форм березы повислой, по мнению некоторых авторов, показало, что соотношение потребления и закрепления в листе макроэлементов устойчиво и не зависит от загрязненности почв (Волова, Наквасина, 2019).

Если учитывать текущее и накопленное аэротехногенное воздействие (загрязнение почвы) в зоне действия АО «Карабашмедь», то существует потребность в дальнейшем изучении состояния лесных насаждений в данном районе. Кроме того, проведение мониторинга лесов и сбор данных играют важную роль в поддержании устойчивого лесопользования и защите лесов, так как загрязнение атмосферы значительно влияет на жизненное состояние и продуктивность древостоев.

Несмотря на многолетние исследования в данном очаге поражения лесов, анализ полученных результатов показал, что связь содержания макро- и микроэлементов с жизненным состоянием древостоя березы повислой не была изучена. В связи с этим

целью данной работы стало выявление связи химического состава листьев березы повислой с жизненным состоянием древостоя в градиенте загрязнения АО «Карабашмедь».

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Для исследования были выбраны естественные древостой березы повислой, находящиеся под влиянием выбросов от АО «Карабашмедь», расположенного в естественной депрессии Саймоновской долины. В данном районе преобладают юго-западные и западные ветры. Число осадков здесь составляет 400 мм в год, из них 90 мм выпадает в морозный период (XI—XII), а 300 мм — в безморозный (IV—X) (Дзугаев, 2003). Почвенный профиль характеризуется каменистостью и незначительной мощностью (Залесов и др., 2017). Загрязнение водоемов на территории произошло в результате сброса отходов в реку Сак-Элга (Калабин и др., 2011).

В зависимости от ведущих ветров и рельефа выбрали пять пробных площадей (ВПП) с березовым насаждением различной степени загрязнения: С-1.5, СВ-5, СВ-15, СВ-20 и СВ-24, где буквенные обозначения указывают на направление севера и северо-востока, а цифры представляют расстояние от источника загрязнений в километрах. В качестве фоновых были выбраны березовые насаждения на расстоянии 20 км, так как данные древостой характеризуются наилучшим жизненным состоянием. Пробная площадь включала 100 учетных деревьев на участке в среднем 1 га. Оценка состояния березовых насаждений проводилась методом биоиндикации с использованием показателей дефолиации (потеря хвои и листвы) и дехромации (изменение окраски) крон деревьев в качестве индикаторов (Методика организации и проведения работ... 1995). Категория жизненного состояния насаждений определялась на основе значения средней категории состояния в соответствии с рекомендациями В.А. Алексеева (Алексеев, 1989). Древостой характеризуется как здоровый при $K_c = 1.0—1.5$, как ослабленный — при $K_c = 1.6—2.5$, сильно ослабленный — при $K_c = 2.6—3.5$, отмирающий — при $K_c = 3.6—4.6$ и отмерший — при $K_c = 4.6$ и более.

Для изучения вариабельности химического состава листьев и индивидуальной изменчивости отобрали по 10 модельных деревьев разных категорий состояния с каждого пробного участка, с одного дерева был взят один образец листьев весом около 20 г (всего 50 образцов листьев). В эту работу включены листья только с укороченных побегов, которые образуют основную часть полога у взрослых деревьев и имеют одинаковый возраст из-за синхронного распускания листьев весной (Macdonald, Mothersill, 1983).

В листьях березы повислой было определено содержание макроэлементов: азота, фосфора, калия, кальция, натрия, серы — и микроэлементов: кадмия, кобальта, хрома, меди, железа, никеля,

свинца и цинка. Общее содержание азота определяли по методу Кьельдаля с помощью автоматического анализатора азота UDK 152 (VELP Scientifica, Italy). Содержание калия, кальция, магния, натрия и фосфора — из одной навески мокрым озолением в концентрированной серной кислоте с добавлением окислителей. После озоления содержание калия, кальция, магния было определено с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра (спектрофотометр novAA-300), содержание фосфора — спектрофотометрическим методом с молибденовой синью (Проведение биохимического анализа растительных образцов, 1979). Содержание серы определяли по методу ЦИНАО (Методические указания по определению серы... 1999). Содержание микроэлементов — кадмия, кобальта, хрома, меди, железа, никеля, свинца и цинка — было определено методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра novAA-300 (Analytic Jena, Германия).

Для интерпретации полученных результатов нами использовалась шкала, приводимая А. Кабата-Пендиас (1989), в которой указаны нормальные (или достаточные) концентрации микроэлементов (мг/кг сухой массы): Cd — 0.05—0.2; Co — 0.02—1; Cr — 0.1—0.5; Cu — 5—30; Ni — 0.1—5; Pb — 5—10; Zn — 27—150, избыточные (или токсичные): Cd — 5—30; Co — 15—50; Cr — 5—30; Cu — 20—100; Ni — 10—100; Pb — 30—300; Zn — 100—400.

Полученный материал проанализировали с использованием пакета программ Microsoft Excel 2007 и метода статистического анализа в программе ПО STATISTICA V. 10 (StatSoft, Inc.). Для определения различий между пятью группами использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) и критерий Фишера. Зависимость содержания элементов в растениях от жизненного состояния деревьев проверялась с помощью параметрического корреляционного теста Пирсона. Результаты статистического анализа были оценены по уровню значимости 5 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание макро- и микроэлементов в градиенте загрязнения АО «Карабашмедь».

В районе исследования была проведена оценка жизненного состояния березовых древостоев. В табл. 1 представлена информация о состоянии древостоев на разном расстоянии от источника загрязнения АО «Карабашмедь». Березовые леса, находящиеся ближе к источнику загрязнения (С-1.5), имеют наибольшую степень повреждения. Уровень дефолиации составляет 59.5 %, дехромации — 52 %, индекс повреждения — 3.3, что в 1.5 и 2 раза больше, чем на более удаленных пробных площадях.

Пробные площади, находящиеся на расстоянии от 15 до 24 км, характеризуются наилучшим состоянием по сравнению с другими. На СВ-20, СВ-24, СВ-15 древостои являются ослабленными ($K_c = 1.6$, $K_c = 2.4$ и $K_c = 2.1$ соответственно), на СВ-5 и С-1.5 — сильно ослабленными ($K_c = 2.6$ и $K_c = 3.2$ соответственно). На основе данных результатов можно сделать вывод о негативном воздействии КМК на жизненное состояние березовых древостоев, что проявляется в увеличении дефолиации, дехромации и ухудшении категории состояния.

Содержание общего азота в листьях варьирует между пробными площадями (табл. 2). Наименьшие значения в контроле — 21.3 ± 0.9 мг/г (СВ-24) и в зонах, приближенных к источнику выбросов — 21.4 ± 0.4 мг/г и 21.5 ± 0.6 мг/г (С-1.5 и СВ-5). В работе И. Л. Бухариной и А. А. Двоглазовой (2010) также не были обнаружены достоверные отличия по этому показателю в листьях растений, произрастающих в разных функциональных типах насаждений.

Выявлено снижение содержания калия и фосфора в листьях в зоне сильного загрязнения. Содержание калия в листьях в зоне сильного загрязнения на С-1.5 снижалось на 35 % по сравнению с контролем, составляло 8.7 ± 0.5 мг/г и достоверно отличалось от СВ-24, СВ-15 и СВ-5. Содержание фосфора в листьях снизилось на 15 % на пробных площадях, ближайших к источнику загрязнения (СВ-5 и С-1.5), по сравнению с более удаленными ПП, и составило 6.41 ± 0.6 мг/г и 6.31 ± 0.6 мг/г соответственно, что противоречит исследованиям на листьях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), где концентрация калия и фосфора увеличилась в ответ на увеличение концентрации в них поллютантов, что рассматривается как один из механизмов защиты ассимиляционного аппарата от воздействия автотранспорта

Таблица 1. Характеристика березового древостоя

Участок	Расстояние от источника загрязнения, км	Средняя дефолиация, %	Средняя дехромация, %	Категория состояния
С-1.5	1.5	59.5 ± 3.4	52 ± 4.5	3.2 ± 0.1
СВ-5	5	$42.8 \pm 6.1^*$	$16.7 \pm 5.6^*$	$2.6 \pm 0.2^*$
СВ-15	15	$25.6 \pm 3.2^*$	$8.5 \pm 2.6^*$	$2.1 \pm 0.07^*$
СВ-20	20	$22 \pm 2.5^*$	$16.1 \pm 4.2^*$	$1.6 \pm 0.07^*$
СВ-24	24	$39.5 \pm 5.1^*$	$17.8 \pm 2.8^*$	$2.4 \pm 0.2^*$

Примечание. * Различия с С-1.5 достоверны при $p < 0.05$.

Таблица 2. Содержание макроэлементов в листьях березы повислой на разном удалении от АО «Карабашмедь», мг/г

ПП	Ст. п.	N	P	S	K	Ca	Mg	Na
СВ-24	SA	21.3 ^A	7.37 ^A	1.74 ^A	12.7 ^A	7.99 ^A	6.41 ^B	1.78 ^A
	Sx	0.9	0.35	0.14	1.0	0.95	0.49	0.17
СВ-20	SA	24.6 ^B	6.64 ^{AB}	1.76 ^A	11.5 ^{AB}	7.67 ^A	4.12 ^A	2.12 ^A
	Sx	0.7	0.25	0.19	1.6	0.50	0.19	0.40
СВ-15	SA	24.4 ^B	7.22 ^{AC}	1.88 ^A	12.6 ^A	5.50 ^B	5.27 ^C	2.54 ^A
	Sx	0.7	0.36	0.16	1.3	0.48	0.57	0.44
СВ-5	SA	21.4 ^A	6.41 ^{BC}	1.73 ^A	14.9 ^A	5.79 ^{BC}	3.69 ^A	1.74 ^A
	Sx	0.4	0.17	0.15	1.3	0.34	0.18	0.16
С-1.5	SA	21.5 ^A	6.31 ^B	2.65 ^B	8.7 ^B	7.38 ^{AC}	3.61 ^A	1.85 ^A
	Sx	0.6	0.29	0.18	0.5	0.72	0.28	0.18

Примечание. SA — среднее арифметическое, Sx — ошибка среднего, разные надстрочные буквы обозначают достоверные различия по вертикали при $p < 0.05$, ПП — пробные площади; Ст. п. — статистические параметры.

(Кулакова и др., 2021). При этом в зоне воздействия комбината «Печенганикель» также было выявлено существенное снижение элементов питания: Ca, K, Mn, Zn — в листьях березы, а в неповрежденных экосистемах в значительных концентрациях в листьях аккумулировались магний, сера и цинк (Исаева, Сухарева, 2021). Исследования хвойного опада в лесах, подверженных влиянию воздушного загрязнения выбросами медно-никелевого комбината «Североникель», выявили снижение кальция, магния, марганца и цинка и увеличение содержания тяжелых металлов (Ni, Cu) (Иванова и др., 2022).

Содержание магния снизилось на 44 % на ПП, ближайших к АО «Карабашмедь», по сравнению с более удаленными ПП, и достигло 3.69 ± 0.18 мг/г на СВ-5 и 3.61 ± 0.28 мг/г на С-1.5. Содержание натрия варьировало от 1.74 ± 0.16 мг/г до 2.54 ± 0.54 мг/г и достоверно не отличалось среди всех ПП ($p > 0.05$). Содержание серы увеличилось на 35 % ($p < 0.05$) на ПП, ближайшей к источнику загрязнения, по сравнению с другими ПП, и достигло 2.65 ± 0.18 мг/г (табл. 2). Пробные площади на расстоянии от 5 до 24 км от АО «Карабашмедь» достоверно не отличаются по содержанию серы в листьях, значения варьируют от 1.73 ± 0.15 мг/г до 1.88 ± 0.16 мг/г. Также по градиенту атмосферного загрязнения от комбината «Североникель» в ненарушенных лесных биогеоценозах в фотосинтезирующих органах березы было выявлено достаточно высокое содержание серы, которое варьирует от 900 до 1700 мг/кг (Сухарева, 2017). Поступление серы в ассимиляционный аппарат возможно как через атмосферу, так и из почвы, так как вблизи металлургического производства валовое содержание серы в почвах превышает ПДК в среднем в 2—8 раз (Шабанов, 2021.). Сернистый ангидрид, подкисляя среду, повышает подвижность и биологическую активность ионов металлов, что резко увеличивает их токсическое воздействие на биоту (Воробейчик, Хантемирова, 1994).

Преобладающий элемент питания в листе — азот, на его долю приходится 22—24 мг/г, на долю калия — 9—15 мг/г, фосфора — 6.5—7 мг/г, кальция — 5.5—8 мг/г, магния — 3.6—6.4 мг/г, серы — 1.7—2.7 мг/г, натрия — 1.8—2.5 мг/г.

В табл. 3 показаны результаты анализа содержания микроэлементов в листьях берез на разном удалении от АО «Карабашмедь». По мере приближения к источнику загрязнения в листьях березы повислой увеличивается концентрация микроэлементов, входящих в состав выбросов комбината. Выявлено повышение концентрации кадмия, свинца, цинка, меди и железа на ПП, ближайших к источнику загрязнения.

Содержание цинка на пробных площадях, приближенных к источнику загрязнения, выше в 2.7—2.8 раза контрольных значений. На расстоянии от 15 до 24 км содержание цинка достоверно не изменяется между участками и варьирует от 240 до 322 мг/кг. Виды *Betula* выделяют как концентраторы цинка (Уразгильдин и др., 2022), а также используют как биоиндикаторы содержания цинка (Zakrzewska, Klimek, 2017), высокое накопление которого зафиксировано при аэротехногенном загрязнении (Kosiorek et al., 2016).

Содержание кадмия на ПП С-1.5, ближайшей к АО «Карабашмедь», составляет 2.3 ± 0.5 мг/кг и превышает в 11.6 раз контрольные ПП. Содержание свинца на более удаленных ПП достоверно не отличается и варьирует от 1.48 ± 0.33 мг/кг до 2.99 ± 0.32 мг/кг, на ПП СВ-5 достигает значительный 5.9 ± 0.4 мг/кг, а на С-1.5 превышает в 8 раз контрольные значения и составляет 11.96 ± 1.33 мг/кг. Содержание меди в листьях увеличивается по мере приближения к АО «Карабашмедь» и на ПП С-1.5 достигает максимальных значений 15.87 ± 0.59 мг/кг, что превышает в 2.5 раза контрольные концентрации. На более удаленных ПП содержание меди колеблется от 6.31 ± 0.19 мг/кг до 6.97 ± 0.22 мг/кг и не превышает нормальных концентраций (5—30 мг/кг). По данным Н. А. Кузьминой с соавторами (2020), в лесной

Таблица 3. Содержание микроэлементов в листьях березы повислой на разном удалении от АО «Карабашмедь», мг/кг

ПП	Ст. п.	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
CB-24	SA	0.32 ^A	1.44 ^A	0.66 ^A	6.31 ^A	165 ^A	1231 ^A	22.5 ^A	1.91 ^A	278 ^A
	Sx	0.03	0.22	0.06	0.19	10	208	1.3	0.41	28
CB-20	SA	0.20 ^A	0.83 ^B	0.56 ^A	6.38 ^A	125 ^A	648 ^B	10.3 ^B	1.48 ^A	240 ^A
	Sx	0.02	0.13	0.08	0.18	15	83	0.7	0.33	33
CB-15	SA	0.20 ^A	0.73 ^B	0.98 ^A	6.97 ^A	122 ^A	650 ^B	24.5 ^A	2.99 ^A	322 ^A
	Sx	0.04	0.09	0.16	0.22	9	69	2.8	0.32	32
CB-5	SA	1.13 ^B	1.44 ^A	2.00 ^B	13.36 ^B	287 ^B	1294 ^A	27.8 ^A	5.90 ^B	650 ^B
	Sx	0.14	0.26	0.20	0.81	24	152	3.2	0.40	53
C-1.5	SA	2.32 ^C	1.10 ^{AB}	0.98 ^A	15.87 ^C	211 ^C	1155 ^A	26.7 ^A	11.96 ^C	675 ^B
	Sx	0.49	0.18	0.15	0.59	12	252	4.5	1.33	66

Примечание. SA — среднее арифметическое, Sx — ошибка среднего, разные надстрочные буквы обозначают достоверные различия по вертикали при $p < 0.05$, ПП — пробные площади; Ст.п. — статистические параметры.

подстилке и верхних слоях почвы в зоне сильного загрязнения АО «Карабашмедь» обнаружены высокие концентрации меди, цинка, свинца, железа и кадмия. Таким образом, повышение концентрации данных металлов в листьях берез идет за счет поглощения металлов из почвы.

Содержание кобальта, хрома, марганца и никеля варьирует между ПП, при этом содержание этих микроэлементов в листьях не отличается достоверно между поврежденными и слабоповрежденными березовыми древостоями. По мере убывания микроэлементов можно расположить в следующем порядке: $Mn > Zn > Fe > Ni > Cu > Pb > Co > Cr > Cd$. Кадмий,

никель, хром и кобальт, как правило, являются для березы повислой элементами слабого поглощения и среднего захвата (Бухарина, Двоеглазова, 2010).

Связь содержания макро- и микроэлементов с жизненным состоянием деревьев березы повислой

В табл. 4 отображены результаты корреляционного анализа между содержанием макро- и микроэлементов и состоянием древостоя. С увеличением степени дехромации листьев содержание калия снижается ($r = -0.32, p < 0.05$), а серы увеличивается ($r = 0.30, p < 0.05$). Также обнаружена положительная корреляция содержания серы с дехромацией листовой ($r = 0.30, p < 0.05$) (табл. 4), т. е. содержание серы

Таблица 4. Теснота связи (коэффициенты корреляции Пирсона) между содержанием макро- и микроэлементов в листьях березы повислой и жизненным состоянием дерева

Параметр	Средняя дефолиация, %	Средняя дехромация, %	Категория состояния
Средняя дефолиация, %	1.00	0.61	0.85
Средняя дехромация, %	0.61	1.00	0.56
Категория состояния	0.85	0.56	1.00
Ca	0.00	0.19	0.03
K	-0.18	-0.32	-0.25
Mg	-0.10	-0.27	-0.09
N	-0.50	-0.30	-0.48
P	-0.30	-0.18	-0.28
S	0.18	0.30	0.21
N+P+K	-0.46	-0.40	-0.46
Cd	0.59	0.46	0.58
Cu	0.62	0.59	0.59
Pb	0.48	0.53	0.56
Zn	0.54	0.41	0.49
Fe	0.44	0.23	0.34
Ni	0.40	0.04	0.38
Co	0.019	0.00	0.05
Cr	0.22	-0.04	0.22

Примечание. Жирным шрифтом обозначены статистически значимые корреляции ($p < 0.05$).

в листве увеличивалось в поврежденных выбросами сернистого газа древостоях березы, что также визуально проявлялось в пожелтении листьев и, следовательно, увеличении дехромации. При увеличении степени дефолиации наблюдается снижение содержания азота ($r = -0.50$ и $r = -0.48$ соответственно, $p < 0.05$) и фосфора ($r = -0.30$, $p < 0.05$). Содержание кальция и магния не зависит от степени дефолиации, дехромации и категории состояния дерева ($p > 0.05$). Таким образом, с увеличением дехромации листвы содержание калия уменьшается, а серы увеличивается, с увеличением дефолиации снижается содержание азота, фосфора и натрия.

Параметр, отражающий жизненное состояние древостоя, — суммарное содержание биофильных элементов NPK. На ПП, наиболее поврежденной диоксидом серы (С-1.5), концентрация биофильных элементов на 16 % ниже и достоверно отличается от других пробных площадей. Кроме того, данный параметр зависит от жизненного состояния древостоя — обнаружена отрицательная взаимосвязь со степенью дефолиации (–46 %), дехромации (–40 %) и категорией состояния (–46 %), то есть содержание биофильных элементов уменьшается с увеличением дефолиации, дехромации и ухудшением санитарного состояния (табл. 4). Дефолиацию так же, как неспецифический показатель жизнеспособности деревьев, связывают с состоянием питания деревьев (Ferretti et al., 2015).

Анализ связи содержания микроэлементов с жизненным состоянием деревьев выявил положительную корреляционную связь параметров жизненного состояния с содержанием микроэлементов (коэффициенты корреляции на уровне 0.4–0.6). С ухудшением состояния березового древостоя содержание микроэлементов в листьях увеличивается. Результаты корреляционного анализа показали наличие достоверных положительных связей между параметрами жизненного состояния и накоплением в листве кадмия ($r = 0.58$, $r = 0.46$, $r = 0.57$), меди ($r = 0.61$, $r = 0.59$, $r = 0.59$), свинца ($r = 0.48$, $r = 0.53$, $r = 0.56$), цинка ($r = 0.54$, $r = 0.41$, $r = 0.49$). Отмечается положительная корреляция дефолиации и санитарного состояния с содержанием железа ($r = 0.44$ и $r = 0.34$) и никеля ($r = 0.40$ и $r = 0.37$). Содержание кобальта и хрома в листве не коррелирует с дефолиацией, дехромацией и с санитарным состоянием древостоя.

ВЫВОДЫ

Наблюдается негативное влияние на березовый древостой к северо-востоку от комбината на расстоянии до 5 км. В этой области концентрация микроэлементов увеличивается в несколько раз по сравнению с более удаленными пробными точками. В целом наиболее благоприятными по экологическим условиям являются пробные площади СВ-20 и СВ-24, так как содержание почти всех изученных микроэлементов

наименьшее, по сравнению с другими участками, и не превышает нормальных концентраций. Общее содержание макроэлементов (азот, фосфор и калий) в листьях снизилось на пробных площадях, ближайших к источнику загрязнения. Содержание биофильных элементов уменьшается с увеличением дефолиации, дехромации и ухудшением санитарного состояния. С ухудшением состояния березового древостоя (дефолиация, дехромация и категория состояния) содержание микроэлементов увеличилось (коэффициенты корреляции более 0.4–0.6). Увеличенная концентрация серы в листьях березы в зоне поражения АО «Карабашмедь» (в 1.5 раза больше, чем на других ПП) и ухудшение жизненного состояния древостоя (степень дефолиации и дехромации выше в 1.5–2 раза, а санитарное состояние — в 1.5 раза) указывают на сильное повреждение листьев березы диоксидом серы. Из изученных микроэлементов наибольшее влияние на растительность в зоне действия АО «Карабашмедь» оказывают кадмий, свинец, медь и цинк.

Таким образом, березовые древостои подвергаются комплексному воздействию на фотосинтетический аппарат, что проявляется в снижении содержания макроэлементов и повышении содержания серы и микроэлементов, таких как кадмий, медь, железо, свинец и цинк. В связи с обнаруженной связью содержания макро- и микроэлементов с жизненным состоянием березового древостоя данный параметр можно использовать для диагностики состояния и степени повреждения древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Бухарина И. Л., Двоеглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Удмуртский университет, 2010. 184 с.
- Волова А. В., Наквасина Е. Н. Содержание макро- и микроэлементов в листьях березы (*Betula pendula* Roth) различных форм // Лесной вестник. 2019. Т. 23. № 6. С. 5–12.
- Воробейчик Е. Л., Хантемирова Е. В. Реакция лесных фитоценозов на техногенное загрязнение: зависимости доза-эффект // Экология. № 3. 1994. С. 31–43.
- Дзугаев М. Д. Карабаш — город «экологического бедствия» // Вестник Челябинского государственного университета. Серия: Право. 2003. № 2 (6). С. 92–97.
- Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2014 году. Министерство экологии Челябинской области. Челябинск, 2015. 204 с.
- Диярова Э. Р., Гиниятуллин Р. Х., Кулагин А. А. Содержание металлов в древесных растениях, произрастающих на отвалах Учалинского горно-обогатительного

- комбината Республики Башкортостан // Вестник ОГУ. 2009. № 6. С. 118—120.
- Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В.* Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. 277 с.
- Иванова Е. А., Лукина Н. В., Смирнов В. Э., Исаева Л. Г.* Влияние воздушного промышленного загрязнения на химический состав опада хвои сосны в сосновых лесах на северном пределе распространения // Лесоведение. 2022. № 2. С. 157—171.
- Исаева Л. Г., Сухарева Т. А.* Оценка состояния зеленых насаждений в зоне воздействия комбината «Печенганикель» (Мурманская область) // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24. № 1. С. 97—106.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Калабин Г. В., Титова А. В., Шаров А. В.* Модернизация медеплавильного производства комбината ЗАО «Карабашмедь» и динамика состояния природной среды в зоне его влияния // Маркшейдерия и недропользование. 2011. № 3(53). С. 65—70.
- Коротеева Е. В., Вейсберг Е. И.* Закономерности экологического распределения сосудистых растений в импактной зоне медеплавильного комбината (Карабаш, Южный Урал) // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 1. С. 85—101.
- Коротеева Е. В., Веселкин Д. В., Куянцева Н. Б., Мумбер А. Г., Чащина О. Е.* Накопление тяжелых металлов в разных органах березы повислой возле Карабашского медеплавильного комбината // Агрохимия. 2015. № 3. С. 88—96.
- Кузнецов В. В.* Физиология растений. М.: Высшая школа, 2006. 742 с.
- Кузьмина Н. А., Мохначев П. Е., Менищikov С. Л.* Аккумуляция тяжелых металлов в снеговой воде, почве и состоянии березовых древостоев в условиях техногенного загрязнения // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 6. С. 73—82.
- Кулакова Н. Ю., Колесников А. В., Курганова И. Н., Шуйская Е. В., Миронова А. В., Скоробогатова Д. М.* Влияние автотранспортного загрязнения на биохимические и морфологические показатели состояния деревьев дуба черешчатого // Лесоведение. 2021. № 4. С. 393—405.
- Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г., Синенко О. С., Ширяев Г. И.* Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата *Turpha latifolia* L. в условиях техногенного загрязнения // Проблемы региональной экологии. 2018. № 6. С. 24—26.
- Махнева С. Г., Менищikov С. Л.* Качество пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне действия выбросов АО «Карабашмедь» // Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 1. С. 32—44.
- Менищikov С. Л., Ившин А. П.* Закономерности трансформации предтундровых и таежных лесов в условиях аэротехногенного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 294 с.
- Методика организации и проведения работ по наблюдению за лесами в европейской части России в рамках программы ИКП-Леса (методика ЕКО ООН). Москва, 1995. 42 с.
- Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. Москва: ЦИНАО, 1999. 8 с.
- Ночевный А. Д., Тетина А. Ю.* Анализ фертильности пыльцы в ценопопуляциях видов рода *Alyssum* L. на Южном Урале // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2020. № 19—2. С. 325—330.
- Петункина Л. О., Сарсацкая А. С.* Береза повислая как индикатор качества городской среды // Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. № 3 (4). С. 68—71.
- Проведение биохимического анализа растительных образцов / под ред. М. И. Касаткиной. Л.: ЛенНИИЛХ, 1979. 12 с.
- Протасова Н. А., Беляев А. Б.* Химические элементы в жизни растений // Соровский образовательный журнал. 2001. № 3. С. 25—32.
- Сухарева Т. А.* Особенности накопления химических элементов древесными растениями северотаежных лесов на фоновых и техногенно нарушенных территориях // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 438—441.
- Суховольский В. Г., Иванова Ю. Д.* Моделирование повреждений и гибели лесных ценозов под воздействием точечных источников загрязнений // Журнал общей биологии. 2018. Т. 79. № 2. С. 148—158.
- Тагирова О. В., Ольберг О. В.* Оценка состояния березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях загрязнения окружающей среды выбросами медеплавильного комбината г. Карабаш, Челябинская область // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: мат-лы II Международной научно-практической конференции. Сибай, 2021. С. 245—247.
- Титов А. Ф.* Устойчивость растений к тяжелым металлам // Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 172 с.
- Уразгильдин Р. В., Сулейманов Р. Р., Гиниятуллин Р. Х., Тагирова О. В., Кулагин А. Ю.* Техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами и их накопление в листьях и хвое лесообразователей Предуралья // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 6. С. 60—66.
- Усольцев В. А., Цепордей И. С., Ковязин В. Ф., Урзова А. Ф., Борников А. В.* Биомасса генеративных органов сосны обыкновенной и березы повислой в градиенте загрязнений от Карабашского медеплавильного завода на Урале // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. № 234. С. 23—52.
- Шабанов М. В.* Сера в геохимически сопряженных ландшафтах Соймоновской долины Челябинской области // Известия УГГУ. 2021. Вып. 1(61). С. 118—126.

- Ferretti M., Calderisi M., Marchetto A., Waldner P., Thimonier A., Jonard M., Cools N., Rautio P., Clarke N., Hansen K. Variables related to nitrogen deposition improve defoliation models for European forests // *Annals of Forest Science*. 2015. V. 72. № 7. P. 897–906.
- Hrdlička P., Kula E. Changes in the chemical content of birch (*Betula pendula* Roth) leaves in the air polluted Krasne hory mountains // *Trees*. 2004. V. 18(2). P. 237–244.
- Kosiorek M., Modrzewska B., Wyszowski M. Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2016. № 188(10). P. 598.
- Macdonald A. D., Mothersill D. H. Shoot development in *Betula papyrifera*. 1. Short-shoot organogenesis // *Canadian Journal of Botany*. 1983. 3049–3065 p.
- Zakrzewska M., Klimek B. Trace element concentrations in tree leaves and lichen collected along a metal pollution gradient near Olkusz (Southern Poland) // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 201. № 100(2). 245–249 p.

The Relationship Between Chemical Composition of a Silver Birch Leaves and the Forest Stand's Vital State on the Pollution Gradient of the Karabashmed Jsc

V. D. Gorbunova^{1,*}, S. L. Menshchikov¹

¹ Ботанический сад УрО РАН, ул. 8 Марта, д. 202а, Екатеринбург, 620144, Россия

* E-mail: botgarden.gor@yandex.ru

The city of Karabash (Chelyabinsk region) is an example of industrial environmental disasters. There is still a lack of information about the mechanisms behind the resistance of various tree species to elevated concentrations of heavy metals. The purpose of this work was to identify the relationship between the chemical composition of silver birch leaves (*Betula pendula* Roth) and the vital state of the tree stand in the pollution gradient caused by the Karabashmed JSC. For the study, natural stands of silver birch were chosen, located at different distances from the JSC Karabashmed in the northern and north-eastern directions. The content of macroelements (nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, sulphur; NPK was calculated as the total content of nitrogen, phosphorus and potassium) and microelements (cadmium, cobalt, chromium, copper, iron, nickel, lead and zinc). The dependence of the content of macro- and microelements in the leaves of silver birch on the vital state of the tree stand on the gradient of aerotechnogenic emissions from Karabashmed JSC was established. An increase in the concentration of sulphur and microelements (namely cadmium, lead, zinc, copper, iron and chromium) was recorded, as well as a decrease in the total content of nitrogen, phosphorus and potassium in birch leaves in the sample plots closest to the source of pollution. Correlation analysis revealed an increase in the content of cadmium, lead, copper, zinc and sulfur (correlation coefficients exceeding 0.3-0.6) and a decrease in the total content of nitrogen, phosphorus and potassium with an increase in defoliation, dechromation and deterioration of the vital state category.

Keywords: macroelements, microelements, silver birch, technogenic pollution, forest stand vital state category

REFERENCES

- Alekseev V. A., Diagnostika zhiznennogo sostoyaniya derev'ev i drevostoev (Diagnostics of vitality of trees and stands), *Lesovedenie*, 1989, no. 4, pp. 51–57.
- Bukharina I. L., Dvoeglazova A. A., *Bioekologicheskie osobennosti travyanistykh i drevesnykh rastenii v gorodskikh nasazhdeniyakh* (Bioecological features of herbaceous and woody plants in urban landscaped areas), Izhevsk: Udmurtskii universitet, 2010, 184 p.
- Diyarova E. R., Giniyatullin R. K., Kulagin A. A., Soderzhanie metallov v drevesnykh rasteniyakh, proizrastayushchikh na otvalakh Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata Respubliki Bashkortostan (Content of metals in woody plants growing on the dumps of the Uchalinsky mining and processing plant of the Republic of Bashkortostan), *Vestnik OGU*, 2009, no. 6, pp. 118–120.
- Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Chelyabinskoi oblasti v 2014 godu*, (Report on the environmental situation in the Chelyabinsk region in 2014), Chelyabinsk: Ministerstvo ekologii Chelyabinskoi oblasti, 2015, 204 p.
- Dzugaev M. D., Karabash — gorod “ekologicheskogo bedstviya” (Karabash — the city of “ecological disaster”), *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pravo*, 2003, no. 2 (6), pp. 92–97.

- Ferretti M., Calderisi M., Marchetto A., Waldner P., Thimonier A., Jonard M., Cools N., Rautio P., Clarke N., Hansen K., Variables related to nitrogen deposition improve defoliation models for European forests, *Annals of Forest Science*, 2015, vol. 72, no. 7, pp. 897–906.
- Hrdlička P., Kula E., Changes in the chemical content of birch (*Betula pendula* Roth) leaves in the air polluted Krusne hory mountains, *Trees*, 2004, vol. 18 (2), pp. 237–244.
- Isaeva L. G., Sukhareva T. A., Otsenka sostoyaniya zelenykh nasazhdenii v zone vozdeistviya kombinata “Pechenganikel” (Murmanskaya oblast’) (Assessment of the green spaces’ state in the impact zone of the Pechenganikel smelter, the Murmansk region), *Vestnik MGTU*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 97–106.
- Ivanova E. A., Lukina N. V., Smirnov V. E., Isaeva L. G., Vliyanie vozdušnogo promyshlennogo zagryazneniya na khimicheskii sostav opada khvoi sosny v osnovnykh lesakh na severnom predele rasprostraneniya (Industrial airborne pollution’s impact on the chemical composition of pine’s needles in forests on the northern boundaries of its areal), *Lesovedenie*, 2022, no. 2, pp. 157–171.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., *Trace elements in soil & plants*, Moscow: Mir, 1989, 440 p.
- Kalabin G. V., Titova A. V., Sharov A. V., Modernizatsiya medeplavil’nogo proizvodstva kombinata ZAO “Karabashmed” i dinamika sostoyaniya prirodnoi sredy v zone ego vliyaniya (Modernization of copper smelting production at the Karabashmed CJSC plant and the dynamics of the state of the natural environment in the zone of its influence), *Marksheideriya i nedropol’zovanie*, 2011, vol. 3(53), pp. 65–70.
- Koroteeva E. V., Veisberg E. I., Zakonomernosti ekotopicheskogo raspredeleniya sosudistykh rastenii v impaktnoi zone medeplavil’nogo kombinata (Karabash, Yuzhnyi Ural) [Spatial distribution patterns of vascular plants in the impact zone of copper smelter (Karabash, the Southern Urals)], *Rastitel’nye resursy*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 85–101.
- Koroteeva E. V., Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Mumber A. G., Chashchina O. E., Nakoplenie tyazhelykh metallov v raznykh organakh berezy povisloi vuzle Karabashskogo medeplavil’nogo kombinata (Accumulation of heavy metals in the different *Betula pendula* Roth organs near the Karabash copper smelter), *Agrokhiimiya*, 2015, no. 3, pp. 88–96.
- Kosiorek M., Modrzewska B., Wyszowski M., Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, no. 188(10), p. 598.
- Kulakova N. Y., Kolesnikov A. V., Kurganova I. N., Shuiskaya E. V., Mironova A. V., Skorobogatova D. M., Vliyanie avtotransportnogo zagryazneniya na biokhimicheskie i morfologicheskie pokazateli sostoyaniya derev’ev duba chereshchatogo (Pollution from the automobile transport Influencing biochemical and morphological condition indicators of Oak trees), *Lesovedenie*, 2021, no. 4, pp. 393–405.
- Kuz’mina N. A., Mokhnachev P. E., Menshchikov S. L., Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v snegovoi vode, pochve i sostoyanie berezovykh drevostoev v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya (Accumulation of heavy metals in snow water, soil and the state of birch stands in conditions of technogenic pollution), *Lesnoi vestnik*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 73–82.
- Kuznetsov V. V., Dmitrieva G. N., *Fiziologiya rastenii* (Plant physiology), Moscow: Vyssh. shk., 2006, 742 p.
- Macdonald A. D., Mothersill D. H., Shoot development in *Betula papyrifera*. 1. Short-shoot organogenesis, *Canadian Journal of Botany*, 1983, pp. 3049–3065.
- Makhneva S. G., Menshchikov S. L., Kachestvo pyl’tsy sosny obyknovЕННОI (*Pinus sylvestris* L.) v zone deistviya vybrosov AO “Karabashmed” (Common pine (*Pinus sylvestris* L.) pollen quality in JSC “Karabashmed” emission zone), *Lesnoi vestnik*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 32–44.
- Maleva M. G., Chukina N. V., Borisova G. G., Sinenko O. S., Shiryayev G. I., Strukturno-funktsional’nye izmeneniya fotosinteticheskogo apparata *Typha latifolia* L. v usloviyakh tekhnogennoho zagryazneniya (Structural and functional changes of *Typha latifolia* L. photosynthetic apparatus under technogenic pollution), *Problemy regional’noi ekologii*, 2018, no. 6, pp. 24–26.
- Menshchikov S. L., Ivshin A. P., *Zakonomernosti transformatsii predtundrovyykh i taezhnykh lesov v usloviyakh aereotekhnogennoho zagryazneniya* (Patterns of transformation of tundra and taiga woodlands under technogenic air pollution), Yekaterinburg: Izdatel’stvo UrO RAN, 2006, 294 p.
- Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu sery v rasteniyakh i kormakh rastitel’nogo proiskhozhdenii* (Guidelines for the determination of sulfur in plants and feed of plant origin), Moscow: TsINAO, 1999, 8 p.
- Metodika organizatsii i provedeniya rabot po nablyudeniyu za lesami v evropeiskoi chasti Rossii v ramkakh programmy IKP-Lesa (metodika EKO OON)* (Methodology for organizing and conducting forest monitoring work in the European part of Russia within the framework of the ICP-Forests program (UNECE methodology)), Moscow, 1995, 42 p.
- Nochevnyi A. D., Teptina A. Y., Analiz fertil’nosti pyl’tsy v tsenopopulyatsiyakh vidov roda *Alyssum* L. na Yuzhnom Urals (Analysis of pollen fertility of coenopopulations of the genus *Alyssum* L. in the Southern Urals), *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii*, 2020, no. 19–2, pp. 325–330.
- Petunkina L. O., Sarsatskaya A. S., Bereza povislaya kak indikator kachestva gorodskoi sredy (Phytoindication state of *Betula pendula* in the urban environment of Kemerovo), *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 3(4), pp. 68–71.
- Protasova N. A., Belyaev A. B., Khimicheskie elementy v zhizni rastenii (Chemical elements in plant life), *Sorovskii obrazovatel’nyi zhurnal*, 2001, no. 3, pp. 25–32.

- Provedenie biokhimicheskogo analiza rastitel'nykh obraztsov*, (Carrying-out biochemical analysis of plant samples), Leningrad: LenNIILKh, 1979, 12 p.
- Shabanov M. V., Sera v geokhimicheski sopryazhennykh landshaftakh Coimonovskoi doliny Chelyabinskoi oblasti (Sulphur in the geochemically conjugated landscapes of the Soimonovsky valley, Chelyabinsk region (Russia)), *Izvestiya UGGU*, 2021, no. 1(61), pp. 118—126.
- Sukhareva T. A., Osobennosti nakopleniya khimicheskikh elementov drevesnymi rasteniyami severotaezhnykh lesov na fonovykh i tekhnogenno narushennykh territoriyakh (Peculiarities of accumulation of chemical elements by woody plants of northern taiga forests in background and technogenically disturbed areas), *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs RAN*, 2017, no. 14, pp. 438—441.
- Sukhovol'skii V. G., Ivanova Y. D., Modelirovanie povrezhdenii i gibeli lesnykh tsenozov pod vozdeistviem tochechnykh istochnikov zagryaznenii (Modeling the damage to and destruction of forest coenoses under the impact of point contamination sources), *Zhurnal obshchei biologii*, 2018, vol. 79, no. 2, pp. 148—158.
- Tagirova O. V., Ol'berg O. V., Otsenka sostoyaniya berezy povisloi (*Betula pendula* Roth) v usloviyakh zagryazneniya okruzhayushchei sredy vybrosami medeplavil'nogo kombinata g. Karabash, Chelyabinskaya oblast') (Assessment of the condition of the birch (*Betula pendula* Roth) in conditions of environmental pollution by emissions from a copper factory (Karabash city, Chelyabinsk region)), *Sustainable development of territories: theory and practice*, Sibay, Proc. of Sci.-Pract. Conf., Sibay, 2021, pp. 245—247.
- Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Laidinen G. F., *Ustoichivost' rastenii k tyazhelym metallam* (Plant resistance to heavy metals), Petrozavodsk: Karel'skii NTs RAN, 2007, 172 p.
- Urazgil'din R. V., Suleimanov R. R., Giniyatullin R. K., Tagirova O. V., Kulagin A. Y., Tekhnogennoe zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami i ikh nakoplenie v list'yakh i khvoe lesoobrazovatelei Predural'ya (Technogenic pollution of soils with heavy metals and their accumulation in leaves and needles of forest-forming species of the Cis-Urals), *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 60—66.
- Usol'tsev V. A., Tsepordei I. S., Kovyazin V. F., Urazova A. F., Bornikov A. V., Biomassa generativnykh organov sosny obyknovЕННОI i berezy povisloi v gradiente zagryaznenii ot Karabashskogo medeplavil'nogo zavoda na Urale (Biomass of generative sphere of scots pine and drooping birch in the pollution gradient from the Karabash copper smelter on the Ural), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2021, no. 234, pp. 23—52.
- Volova A. V., Nakvasina E. N., Soderzhanie makro- i mikroelementov v list'yakh berezy (*Betula pendula* Roth) razlichnykh form (Macro and micronutrients contents in birch leaves (*Betula pendula* Roth.) of different form), *Lesnoi vestnik*, 2019, vol. 23, no. 6, pp. 5—12.
- Vorobeichik E. L., Khantemirova E. V., Reaktsiya lesnykh fitotsenozov na tekhnogennoe zagryaznenie: zavisimosti doza-effekt (Reaction of forest phytocenoses to technogenic pollution: Dose-effect dependencies), *Ekologiya*, 1994, no. 3, pp. 31—43.
- Zakrzewska M., Klimek B., Trace element concentrations in tree leaves and lichen collected along a metal pollution gradient near Olkusz (Southern Poland), *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 201, no. 100(2), pp. 245—249.
- Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V., *Sostoyanie lesnykh nasazhdenii, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollyutantov ZAO "Karabashmed", i reaktsiya ikh komponentov na provedenie rubok obnovleniya* (Condition of forest stands undergone the impact of ZAO "Karabashmed" industrial pollutants and their components reaction on renewal cutting carrying on), Ekaterinburg: UG-LTU, 2017, 277 p.

ИСТОРИЯ ЛЕСОКЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ В РОССИИ¹

© 2024 г. Д.Г. Замолодчиков^{1,2,*}

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва, 117997, Россия

² Высшая школа экономики, Покровский бульвар, д. 11, Москва, 109028, Россия

* E-mail dzamolod@mail.ru

Поступила в редакцию 17.10.2023

После доработки 15.11.2023

Принята к публикации 12.04.2024

С 2020 г. число отечественных публикаций по лесоклиматическим проектам (ЛКП) увеличилось во многие десятки раз. Основное внимание уделяется технологическим и организационным основам лесоклиматической деятельности как новой форме противодействия изменениям климата. Первые лесоклиматические проекты стартовали в России еще в начале 1990-х гг., хотя далеко не все из зарубежных проектов получили финансирование и выразились в новых растущих насаждениях или сохраненных от рубок массивах коренных лесов. Успешными примерами лесоклиматических проектов были RUSAFOR-SAP (1993—2002 гг.), Бикин (2010—2012 гг.), Алтайский проект (2010—2012 гг.) как проект совместного осуществления (ПСО), далее в рамках добровольного углеродного рынка. Успех приносили проекты по облесению бывших земель сельскохозяйственного назначения и по сохранению ценных лесных массивов. Целесообразность осуществления климатических проектов по лесовосстановлению на землях лесного фонда вызывает сомнения. Возникновение интереса у крупного российского бизнеса заметно усилило актуальность развития ЛКП.

Ключевые слова: лесоклиматические проекты, углеродный кредит, совместное осуществление, лесные посадки

DOI: 10.31857/S0024114824030079, EDN: PDYOUH

За последние несколько лет лесоклиматическая тематика в России приобрела крайне высокую популярность. Библиографический поиск в Elibrary.ru по сочетанию «лесоклиматический проект» дал следующие результаты: 2019 г. — 2 публикации, 2020 г. — 3, 2021 г. — 33, 2022 г. — 96, 2023 г. — 112. Столь резкий рост популярности этой тематики в указанные сроки объясняется выходом в 2021 г. двух важных правовых актов, содержащих упоминания о климатических проектах вообще и лесных в частности.

Первый документ представлен Федеральным законом «Об ограничении выбросов парниковых газов» (2021), в котором вводится понятие «климатический проект» и устанавливаются процедуры, сопровождающие его реализацию. Согласно закону, «климатический проект — комплекс мероприятий, обеспечивающих сокращение (предотвращение) выбросов парниковых газов или увеличение поглощения парниковых газов». В этом определении отсутствует положение, что проект должен сопровождаться регистрацией и передачей углеродных

единиц, хотя именно данный аспект наиболее четко отделяет климатический проект от типовой хозяйственной деятельности.

Второй документ — это Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (2021), в которой для инновационного сценария предусматривается рост поглощения углерода лесами с 535 млн т CO₂-экв. в 2019 г. до 1200 млн т CO₂-экв. в 2050 г. При этом среди мероприятий по реализации Стратегии в лесном хозяйстве важная роль отводится «реализации климатических проектов, обеспечивающих развитие лесной инфраструктуры и проведение мероприятий по уходу за лесными насаждениями для увеличения поглощающей способности лесов».

Вполне логично, что после обнародования закона об ограничении выбросов и стратегии низкоуглеродного развития последовал всплеск публикаций, в которых специалисты лесной отрасли, экологи, экономисты и другие эксперты стали излагать свои взгляды на различные вопросы реализации климатических проектов в лесном хозяйстве. При этом в подавляющем большинстве работ стартовой точкой рассмотрения является 2021 г. как время выхода упомянутых выше национальных

¹ Работа выполнена при поддержке темы РНФ № 22-27-00641 «Климатические эффекты масштабного лесоразведения в аридных регионах России».

правовых документов либо 2015 г. как срок заключения Парижского соглашения (Коротков, 2022; Пыжев, 2022; Гершинова, 2023; Романовская, 2023 и др.). Лишь немногие региональные исследования включают информацию по ранее осуществленным в регионе лесоклиматическим проектам (Шевчук, 2023). Однако история лесоклиматических проектов в России насчитывает почти 30 лет, и накопленный опыт может быть полезен для выбора наиболее перспективных направлений будущей лесоклиматической деятельности. Целью настоящей работы является рассмотрение лесоклиматических проектов, которые были осуществлены либо планировались к осуществлению в России до начала современного роста интереса к этой активности.

Первым лесоклиматическим проектом на территории России следует считать RUSAFOR-SAP. В 1992 г. американские ученые совместно с Агентством охраны окружающей среды США предложили российским ученым реализовать экспериментальный инвестиционный проект по созданию в России новых углеродоемких лесов для поглощения двуокси углерода из атмосферы с целью смягчения негативных воздействий парниковых газов на глобальное изменение климата (Кравцов и др., 2002; Замолотчиков и др., 2005). Коллектив российских ученых под руководством академика А. С. Исаева при взаимодействии с Федеральной службой лесного хозяйства Российской Федерации предложил осуществить пилотный проект в Саратовской области. Так возник международный проект RUSAFOR-SAP, реализованный в 1993—1994 гг. в Лысогорском и Дергачевском районах Саратовской области. Целью проекта являлась оценка биологических, оперативных и институциональных возможностей создания поглощающих углерод лесных насаждений в России и управление ими. Проект был одобрен Правительством Российской Федерации, Агентством охраны окружающей среды США (USIJI Evaluation Panel) и включен в инициативу США по Совместному Осуществлению в Международных рамках (United States Initiative On Joint Implementation).

Рассмотрим последовательность действий, имевших место в ходе реализации проекта. Для научного обоснования и реализации проекта, а также для проведения мониторинга-созданных плантаций углеродоемких лесных насаждений в 1992 г. в г. Саратове был организован Волжский региональный филиал Международного института леса. В 1993 г. провели первые лесные посадки в Лысогорском районе Саратовской области. Культуры создавали с использованием семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), выращенных в лесном питомнике Лысогорского лесхоза. В 1994 г. заложили лесные плантации в Дергачевском районе Саратовского

Заволжья. В климатических условиях сухих степей насаждения создавали из засухоустойчивых и солевыносливых древесных пород (вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia* Jacq.), ясень зеленый [*Fraxinus pennsylvanica* Marshall] и клен ясенелистный (*Acer negundo* L.)). В 1995 г. был проведен мониторинг созданных лесных плантаций с участием руководителя проекта с американской стороны профессора Орегонского государственного университета США Теда Винсона.

В 1998 г. насаждениям, созданным по проекту RUSAFOR-SAP, исполнилось 5 лет. Ежегодный мониторинг плантаций проводился на 53 учетных площадках. Количество сохранившихся деревьев в 5-летнем возрасте на всех 500 га насаждений составило более 500 тысяч шт. Средняя их высота была равна 1.2 м, а максимальная высота достигала 2.5 м. По оценкам участников проекта (Кравцов и др., 2002), в 1998 г. насаждения, созданные по проекту RUSAFOR-SAP на площади 500 га, поглощали из атмосферы почти 2 тыс. т CO₂.

В 2003 г. высота насаждений сосны в Лысогорском районе составляла больше 3 м, состояние их вполне удовлетворительное. По оценкам исполнителей проекта, среднее депонирование двуокси углерода насаждениями равно примерно 6.0 т CO₂ га⁻¹ год⁻¹, а всего плантации сосны на площади 50 га поглощают ежегодно почти 300 т CO₂. За период после их создания они очистили атмосферу примерно на 2.0 тыс. т CO₂. Состояние лесных культур, созданных в Дергачевском районе, было не столь благополучным, как в Лысогорском районе. На отдельных участках с солонцовыми почвами имела место значительная гибель посадок. В лучших почвенных условиях высота вяза мелколистного и клена ясенелистного достигла 3 м, а депонирование углерода приблизилось к 3.0 т CO₂ га⁻¹ год⁻¹. Всего же к 2002 г. созданные 450 га лесных насаждений поглотили из атмосферы примерно 5.0 тыс. т CO₂. Дальнейшие упоминания проекта в опубликованных источниках имели ретроспективный характер.

Оценивая итоги проекта RUSAFOR-SAP, отметим, что он оказал важное концептуальное воздействие на российскую климатическую общественность. По терминологии Киотского протокола проект следует отнести к облесению, поскольку он осуществлялся на бывших сельскохозяйственных землях, долгое время не имевших лесного покрова. Официальная верификация единиц поглощения в проекте не проводилась, так как механизмы такой верификации были установлены существенно позже. Официальной передачи квот на выбросы от российской к американской стороне также не было.

Ранняя история осуществления лесоклиматических проектов в Российской Федерации включает и негативные примеры. В 1999 г. среди заявок, принятых к финансированию в рамках Американской

инициативы по совместному действию (USJI Project, 1999), был указан проект «Лесовосстановление в Вологодской области (Reforestation in Vologda)». В его рамках планировалось облесение 2000 га пастбищных земель, непосредственно прилегающих к национальному парку «Русский Север». В качестве партнеров с российской стороны выступали Центр природоохранной экономики при Высшей школе экономики (Москва) и региональное управление МПР РФ. Проект прошел все стадии согласования, однако у американской стороны не оказалось средств для перехода к практическому осуществлению лесных посадок (Королев, 2001). В результате проект так и не был реализован.

В 2003 г. прошли переговоры между представителями голландской организации “DHV Consultants BV”, государственной лесной службы Иркутской области и регионального отдела лесовосстановления ГУПР МПР РФ в отношении возможного финансирования лесовосстановления на площади 35 тыс. га (Огаркова, 2003). Проект оценивался более чем в два миллиона евро, из которых 1 230 000 евро планировалось направить на создание питомников, теплиц, выращивание и посадку саженцев. Проект не смог получить финансирование в рамках конкурса, проводимого правительством Голландии.

В 2008 г. стартовал первый период выполнения обязательств по Киотскому протоколу. В этом году Федеральному агентству лесного хозяйства (Рослесхозу) выделили бюджетные средства для создания углерододепонирующих лесных насаждений (УДН) на выведенных из оборота землях сельхозназначения (облесение). Планировалось, что 5-летний бюджет программы составит 1.5 млрд рублей. Из этих средств выплатили субвенции ряду областей (Нижегородская, Брянская, Саратовская и др.) на создание лесных культур с последующим переводом земель в состав лесного фонда. Например, в Саратовской области были посажены углерододепонирующие насаждения общим объемом 839 га на территории Аткарского (155 га), Вольского (98 га), Новобураского (203 га), Лысогорского (121 га) и Черкасского (262 га) лесничеств (На научно-практической конференции... 2010). Фактически проект был профинансирован на 10 % со стороны Рослесхоза в связи с невыполнением требований по переводу земель в лесной фонд.

Киотский протокол установил нормативы и механизмы выполнения ПСО. Информация по всем осуществленным ПСО до сих пор доступна на веб-сайте Рамочной конвенции ООН об изменении климата (Project Overview, 2023). В России по сектору изменений землепользования, изменений землепользования и лесного хозяйства были созданы два проекта ПСО: «Предотвращение лесозаготовок в лесах Бикина, Приморье, Россия»

(Bikin Tiger... 2012) и «Поглощение углерода при облесении сибирских поселков, Россия» (Carbon sequestration... 2012).

Бикинский проект был осуществлен WWF Германии, WWF России (ныне организация признана иностранным агентом), общественной ассоциацией «Родовая община «Тигр»» и Ассоциацией коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока. Территория кедрово-широколиственных лесов среднего течения р. Бикин занимает около 460 тыс. га. Это единственный оставшийся массив смешанных лесов такого размера, почти не затронутый хозяйственной деятельностью человека. В начале 2000-х гг. некоторые лесозаготовительные компании активно прорабатывали планы по проходу рубками ухода (промышленные рубки в Приморском крае были запрещены в 1989 г.). Реализация этих планов привела бы к значительным нарушениям лесного массива и значительным утратам биоразнообразия.

Выход из проблемной ситуации был найден с применением киотских механизмов. Лесной массив площадью 461.5 тыс. га был взят в аренду на 49 лет общиной «Тигр» для заготовки лесных пищевых ресурсов. Расчетный период ПСО составил 3 года, предотвращенные эмиссии за этот период оценены в 156 тыс. т CO₂-экв. Средства, затраченные на аренду, частично компенсировали за счет продажи полученных единиц сокращения выбросов. Бикинский проект стал успешным примером использования углеродных механизмов для сохранения лесов высокой природоохранной ценности и позволил выиграть время для привлечения более надежных охранных вариантов. В 2015 г. на этой территории был образован национальный парк «Бикин», что обеспечило долговременную сохранность коренного лесного массива.

Оператором другого российского ПСО проекта «Поглощение углерода при облесении сибирских поселков, Россия» был НПО Центр экологических инноваций. Проект относится к сфере изменений землепользования, поскольку в нем была осуществлена посадка лесных культур на бывших землях сельскохозяйственного назначения. Лесные посадки (преимущественно береза) проведены на общей площади 9489 га в Залесовском районе Алтайского края. Расчетный период проекта установлен в 5 лет, за это время созданные лесные насаждения поглотили 1768 тыс. т CO₂-экв. После окончания расчетного периода проекта в рамках ПСО созданные лесные насаждения продолжили свой рост и поглощение CO₂. Проектная деятельность на Алтае трансформировалась в Алтайский лесной проект, ориентированный на добровольный углеродный рынок. До сих пор существует сайт Алтайского лесного проекта, на котором всем желающим предлагается купить углеродные

единицы. К сожалению, на сайте нет информации, были ли добровольные покупки единиц поглощения и в каком объеме.

Россия в 2012 г. объявила об отказе от обязательств по второму периоду Киотского протокола, что привело к отсутствию возможности продолжать действующие проекты и начинать новые. В презентациях научных семинаров иногда встречается информация о лесоклиматическом проекте «Терней-лес» (Жихарева, 2022), который стартовал либо в 2014, либо в 2016 г. Суть проекта состоит в добровольном выделении лесозаготовительной компанией «Терней-лес» территории площадью около 1 млн га как лесов высокой природоохранной ценности. При этом снижение уровня рубок на этой территории приведет к увеличению годового поглощения углерода на 137 тыс. т CO₂-экв. Автору настоящей статьи не удалось найти первоисточников с детальным описанием как характеристик, так и дальнейшего развития этого проекта. Отметим высокий риск утечки углерода (то есть компенсационные заготовки древесины на других арендованных участках) в рамках проектов по сохранению лесов, осуществляемых единственным арендатором.

После некоторого затишья середины 2010-х гг. интерес к лесоклиматическим проектам возродился в начале 2020-х гг. Это было связано, во-первых, с ратификацией Россией Парижского соглашения, а также с объявлением Евросоюзом планов по введению трансграничного углеродного регулирования. В России началась дискуссия по вопросам построения низкоуглеродной экономики, в которой огромное внимание уделялось лесным стокам углерода вообще и лесоклиматическим проектам в частности. Некоторые крупные компании решили начать осуществление лесоклиматических проектов, не дожидаясь разработки внутренней правовой базы. В частности, такой компанией стал РУСАЛ.

С 2019 г. РУСАЛ осуществляет добровольную масштабную инициативу «Под зеленым крылом», направленную на поглощение парниковых газов и борьбу с изменением климата. Территориями реализации проекта «Под зеленым крылом» стали два региона присутствия компании — Иркутская область и Красноярский край, где было решено высадить по 500 тысяч деревьев. В частности, в Иркутской области для восстановления лесов выбран Боханский район, где лес наиболее сильно пострадал от пожара в 2016 г., и ряд других территорий. Общая площадь посадок деревьев превысила 125 гектаров. В Красноярском крае реализация проекта началась с высадки 500 тысяч саженцев сосны на площади 120 гектаров в Дзержинском районе, который пострадал от масштабного пожара в 2017 г. РУСАЛ в течение пяти лет будет осуществлять финансирование

работ по агротехническому уходу за высаженными деревьями. Кроме того, в 2019 г. начат проект по охране лесов от пожаров в резервных лесах Нижне-Енисейского лесничества на площади около 500 тысяч гектаров. Проект планируется реализовать до 2033 г. Проект по охране лесов от пожара зарегистрирован в реестре углеродных единиц (<https://carbonreg.ru/ru/news/lesnoj-klimaticheskij-proekt-rusala-zaregistrirovano-v-reestre-uglerodnykh-edinic/>), однако объемы поглощения CO₂ в результате реализации проекта сильно завышены.

Деятельность РУСАЛА по восстановлению лесов в Иркутской области и Красноярском крае заслуживает уважения, но только с точки зрения традиционного лесного хозяйства, где посадка леса является способом формирования лесных насаждений заданного породного состава и качества. Прогноз нетто-поглощения парниковых газов лесными культурами, по сравнению с естественным лесовосстановлением, выполнен с помощью комплекса математических моделей EFIMOD2, Romul_Num и SCLISS (Шанин и др., 2022). Полученные прогнозы показывают, что при осуществлении искусственного восстановления в указанных районах Иркутской области и Красноярского края достигнутый уровень выбросов выше, а уровень поглощения ниже по сравнению с базовой линией, то есть естественным лесовосстановлением. И такая ситуация характерна для большей части территории лесного фонда России, поскольку мелколиственные породы, доминирующие на ранних стадиях лесовосстановления, растут гораздо быстрее, чем хвойные породы, используемые при искусственном лесовосстановлении. Приведенный пример показывает, что цели традиционного и углеродного лесного хозяйства далеко не всегда совпадают, и совершенно необходим качественный прогноз баланса углерода как для базовой линии, так и проектной деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

История лесоклиматических проектов в России насчитывает уже 30 лет. В этой истории встречались как серьезные успехи, так и обидные провалы. Наиболее успешными были проекты по облесению бывших земель сельскохозяйственного назначения и по сохранению ценных лесных массивов. Попытки осуществления климатических проектов по лесовосстановлению на землях лесного фонда столкнулись с серьезными трудностями при обосновании дополнительной по сравнению с базовой линией. Возникновение интереса у крупного российского бизнеса заметно усилило актуальность развития ЛКП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алтайский лесной проект [Электронный ресурс]. URL: <https://co2les.ru/helprnow> (дата обращения: 15.10.2023).
- Гершиноква Д. А. О формировании административно-правового регулирования вопросов реализации лесоклиматических проектов в России // Актуальные проблемы российского права. 2023. Т. 18. № 8(153). С. 169—178.
- Жихарева В. Лес всему голова. Лесоклиматические проекты в России в 2022: проектирование, бенефициары, законодательная база [Электронный ресурс] // Климатическая платформа. 16.08.2022. URL: <https://climate-change.moscow/article/les-vsemu-golova> (дата обращения: 15.10.2023).
- Замолодчиков Д. Г., Коровин Г. Н., Уткин А. И., Честных О. В., Сонген Б. М. Углерод в лесном фонде и сельскохозяйственных угодьях России. М.: КМК, 2005. 200 с.
- Королев В. Туман прикрытия, или Кому выгодна проектная лихорадка. «Красный север» // Вологодская областная газета. 24 мая 2001 г., № 100.
- Коротков В. Н. Лесные климатические проекты в России: ограничения и возможности // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2022. Т. 7. № 4. С. 39—46.
- Кравцов С. З., Мелочников А. С., Доронин К. М. Десять лет международному российско-американскому проекту RUSAFOR-SAP по созданию новых углеродоемких лесов в Саратовской области. Саратов: СГТУ, 2002. 42 с.
- На научно-практической конференции рассматривались перспективы внедрения ГИС-технологий в лесохозяйственную отрасль Саратовской области [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области. 03.02.2010. URL: https://minforest.saratov.gov.ru/?ELEMENT_ID=245 (дата обращения: 15.10.2023).
- Огаркова Я. Иркутские леса и Киотский протокол // Байкальская экологическая волна. Ноябрь, 2003.
- Под зеленым крылом [Электронный ресурс] // РУСАЛ. URL: <https://rusal.ru/sustainability/environmental-protection/green-million/> (дата обращения: 15.10.2023).
- Пыжжев А. И. Лесная промышленность регионов Сибири и Дальнего Востока: перспективы развития лесоклиматического сектора // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4(193). С. 68—77.
- Романовская А. А. Подходы к реализации экосистемных климатических проектов в России // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 4. С. 463—478.
- Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 октября 2021 г. № 3052-р.
- Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ.
- Шанин В. Н., Фролов П. В., Коротков В. Н. Всегда ли искусственное лесовосстановление может быть лесоклиматическим проектом? // Вопросы лесной науки. 2022. Т. 5. № 2. С. 103—139.
- Шевчук Н. А. Лесоклиматические проекты Алтайского края: экономический взгляд на экологическую проблему // Аграрная наука — сельскому хозяйству: Матлы XVIII Междунар. науч.-практ. конф. Книга 1. Барнаул, 2023 С. 93—95.
- Bikin Tiger Carbon Project — Permanent protection of otherwise logged Bikin Forest, in Primorye Russia. Joint Implementation Land Use, Land Use Change and Forestry Project Design Document Form. Version 01. 2012. 138 p.
- Carbon sequestration via afforestation in Siberian settlements, Russian Federation. Joint Implementation Land Use, Land Use Change and Forestry Project Design Document Form. Version 01. 2012. 74 p.
- Project Overview // UNFCCC. URL: https://ji.unfccc.int/JI_Projects/ProjectInfo.html (дата обращения: 15.10.2023).
- USJI Project. Fact sheet. March 1999. Washington, USJI Secretariat, 1999. 21 p.

History of Forest Climate Projects in Russia

D. G. Zamolodchikov^{1,2,*}

¹ Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS,
Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997, Russian Federation

² High School of Economy, Pokrovsky Blvd. 11, Moscow, 109028, Russian Federation

* E-mail dzamolod@mail.ru

Since 2020, the number of domestic publications on forest climate projects (FCP) has increased many tens of times. The primary attention is being paid to the technological and organisational foundations of forest climate activities as a new form of combating climate change. The first forest climate projects started in Russia in the early 1990s, although not all of the planned projects ended up receiving funding and resulted in new forest stands grown or indigenous woodlands preserved from logging. Successful examples of forest climate projects were RUSAFOR-SAP (1993—2002), Bikin (2010—2012), Altai project (2010—2012) as a

joint implementation project (JIP), then within the framework of a voluntary carbon market. Afforestation projects on former agricultural lands and preservation projects in valuable forest areas have also found success. The feasibility of implementing reforestation climate projects on forest lands raises questions. The emerging interest among large Russian businesses has significantly increased the relevance of the FCP development.

Key words: forest climate projects, carbon credit, joint implementation, forest planting.

Acknowledgements: The work has been carried out within the framework of the RSF No. 22-27-00641 “Climatic outcomes of the large-scale afforestation in arid regions of Russia”.

REFERENCES

- Altayskii lesnoi proekt (Altai forest project), available at: <https://co2les.ru/helpnow> (October 15, 2023).
- Bikin Tiger Carbon Project — Permanent protection of otherwise logged Bikin Forest*, In Primorye Russia. Joint Implementation Land Use, Land Use Change and Forestry Project Design Document Form, Version 01, 2012, 138 p.
- Carbon sequestration via afforestation in Siberian settlements, Russian Federation*, Joint Implementation Land Use, Land Use Change and Forestry Project Design Document Form, Version 01, 2012, 74 p.
- Federal'nyi zakon* (Federal Law “On Limiting Greenhouse Gas Emissions”), 2021, no. 296-FZ.
- Gershinkova D. A., O formirovaniy administrativno-pravovogo regulirovaniya voprosov realizatsii lesoklimaticheskikh proektov v Rossii (On the formation of administrative and legal regulation of the forest climate projects implementation in Russia), *Aktual'nye problemy rossiiskogo prava*, 2023, vol. 18, no. 8(153), pp. 169—178. https://ji.unfccc.int/JI_Projects/ProjectInfo.html (October 15, 2023).
- <https://rusal.ru/sustainability/environmental-protection/green-million/> (October 15, 2023).
- Korolev V., Tuman prikrytiya, ili Komu vygodna proektnaya likhoradka (The fog of cover, or who benefits from project fever), *Krasnyi sever*, Vologda regional newspaper, no. 100, May 24, 2001.
- Korotkov V. N., Lesnye klimaticheskie proekty v Rossii: ogranicheniya i vozmozhnosti (Forest climate projects in Russia: limitation and opportunities), *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2022, vol. 7, no. 4, pp. 39—46.
- Kravtsov S. Z., Melochnikov A. S., Doronin K. M., *Desyat' let mezhdunarodnomu rossiisko-amerikanskomu projektu RUSAFOR-SAP po sozdaniyu novykh uglerodoemkikh lesov v Saratovskoi oblasti* (Decade anniversary of the International Russian-American project RUSAFOR-SAP which has initiated new carbon-rich forests in Saratov Oblast), Saratov: Izd-vo SGTU, 2002, 42 p.
- Na nauchno-prakticheskoi konferentsii rassmatrivalis' perspektivy vnedreniya GIS-tehnologii v lesokhozyaistvennyuyu otrasl' Saratovskoi oblasti, (The prospects for introducing GIS technologies into the forestry industry of the Saratov region were considered at the scientific and practical conference), *Ministerstvo prirodnikh resursov i ekologii Saratovskoi oblasti*, February 03, 2010, available at: https://minforest.saratov.gov.ru/?ELEMENT_ID=245 (October 15, 2023).
- Ogarkova Y., Irkutskie lesa i Kiotskii protokol (Irkutsk forests and the Kyoto Protocol), *Baikal'skaya ekologicheskaya volna*, November, 2003.
- Pyzhev A. I., Lesnaya promyshlennost' regionov Sibiri i Dal'nego Vostoka: perspektivy razvitiya lesoklimaticheskogo sektora (The forest industry of the regions of Siberia and the Far East: prospects for the development of the forest-climate sector), *Problemy prognozirovaniya*, 2022, no. 4(193), pp. 68—77.
- Romanovskaya A. A., Podkhody k realizatsii ekosistemnykh klimaticheskikh proektov v Rossii (Approaches to implementing ecosystem climate projects in Russia), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2023, vol. 87, no. 4, pp. 463—478.
- Shanin V. N., Frolov P. V., Korotkov V. N., Vsegda li iskusstvennoe lesovosstanovlenie mozhet byt' lesoklimaticheskim proektom? (Can artificial reforestation always be a forest climatic project?), *Voprosy lesnoi nauki*, 2022, vol. 5, no. 2, pp. 103—139.
- Shevchuk N. A., Lesoklimaticheskie proekty Altayskogo kraya: ekonomicheskii vzglyad na ekologicheskuyu problemu (Forest-climatic projects of the Altai region: an economic view of the environmental problem), *Agrarnaya nauka — sel'skomu khozyaistvu* (From agricultural science for agriculture), Barnaul, Proc. of 18th International scientific and practical Conf., Book 1, pp. 93—95.
- Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii s nizkim urovnem vybrosov parnikovykh gazov do 2050 goda* (Strategy for the socio-economic development of the Russian Federation with low greenhouse gas emissions until 2050), Approved by Order of the Government of the Russian Federation, October 29, 2021, no. 3052-r.
- USIJI Project*, Fact sheet, March 1999, Washington: USIJI Secretariat, 1999, 21 p.
- Zamolodchikov D. G., Korovin G. N., Utkin A. I., Chestnykh O. V., Sohngen B., *Uglerod v lesnom fonde i sel'skokhozyaistvennykh ugod'yakh Rossii* (Carbon pool of the forest fund and the farm lands of Russia), Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2005, 200 p.
- Zhikhareva V., available at: <https://climate-change.moscow/article/les-vsemu-golova> (October 15, 2023).

УДК 630*232.4

Х ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ЛЕСНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ»¹

© 2024 г. С. Г. Новиков^{1,*}, М. В. Медведева¹, А. К. Сараева¹, А. В. Мамай¹¹ ИЛ КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, д. 11, Петрозаводск, 185910, Россия

* E-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com

DOI: 10.31857/S0024114824030089, EDN: PDTFJU

Конференция, посвященная фундаментальным и прикладным проблемам лесного почвоведения, впервые была организована по инициативе Общества почвоведов им. В. В. Докучаева и проведена в Петрозаводске в 2005 году, с тех пор она традиционно проходит раз в два года. В качестве принимающей стороны выступают различные научные центры России. На базе Карельского научного центра в Петрозаводске конференция по лесному почвоведению проводилась в 2005, 2009, 2017 гг.

X Всероссийская научная конференция с международным участием «Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения» проходила в Петрозаводске 18–22 сентября 2023 г. Организаторами выступили Институт леса Карельского научного центра РАН, Институт биологии Карельского научного центра РАН, МОО «Общество почвоведов им. В. В. Докучаева», Научный совет РАН по почвоведению и Научный совет РАН по лесу.

Основной целью конференции являлось обсуждение результатов исследований лесных почв естественных и антропогенно измененных экосистем отечественных ученых и их коллег из зарубежных стран. В программу были включены доклады о современных достижениях в области изучения генезиса, продуктивности и динамики лесных почв, роли почвенной биоты в формировании лесных почв, геоинформационных систем и картографировании лесных почв, антропогенной трансформации лесных почв, земельных ресурсов, а также роли почвы в системе устойчивого лесопользования.

За последние годы пандемия COVID-19 оказала значительное влияние на все сферы деятельности человека, включая науку. Практически все научные мероприятия, посвященные обмену опытом и обсуждению различных проблем, проходили в онлайн-формате. В настоящее время, когда проблема COVID-19 уже не такая острая, формат онлайн-участия в конференциях стал привычным и удобным для участников, которые по тем или иным причинам не могут лично приехать на встречу с коллегами. Таким образом, на заседаниях конференции «Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения» были представлены 80 устных докладов, из которых 30 — в режиме онлайн и 2 — в форме стендовых сообщений. Всего в работе конференции приняли участие 88 специалистов (в том числе 17 молодых ученых) из 37 научных организаций 21 города России, а также зарубежные специалисты (Германия, Беларусь, Узбекистан). К открытию конференции был опубликован электронный сборник материалов общим объемом 227 страниц (Актуальные вопросы теории... 2023), а также Путеводитель научных почвенных экскурсий (Бахмет и др., 2023).

Юбилейная X конференция «Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения» была посвящена одному из крупнейших карельских почвоведов Розалии Михайловне Морозовой и приурочена к 95-летию со дня ее рождения. Р. М. Морозова входила в число основоположников лесного почвоведения в Республике Карелии. Основные направления ее исследований — лесное почвоведение, генезис и экология почв. Круг интересов ученого также касался актуального и в настоящее время вопроса для Карелии — влияния лесохозяйственной деятельности на лесные почвы и оценки антропогенной трансформации почвенного покрова. За период плодотворной работы опубликовано свыше 200 научных, научно-популярных работ, в том числе 8 монографий. «Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии» (1973) и «Лесные почвы Карелии» (1991) стали

¹ Конференция состоялась при финансовой поддержке важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

настольными книгами не только для почвоведов, но и лесоводов, экологов и ботаников, а монография «Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии» (1992) является основой для формирования общетеоретических представлений о функционировании ненарушенных таежных экосистем Карелии. За многолетнюю работу в области исследования почв Карелии Р. М. Морозова была награждена юбилейной медалью «За доблестный труд. В ознаменование 100-летия со дня рождения Владимира Ильича Ленина», почетным званием «Ветеран труда», бронзовой медалью ВДНХ СССР, многими почетными грамотами, в т. ч. Президиума ВС КАССР.

Научная программа конференции включала в себя пять секций по основным направлениям:

1. Генезис лесных почв. Развитие современных представлений о формировании и диагностике лесных почв.
2. Продуктивность и динамика лесных почв. Биогеохимические циклы макро- и микроэлементов в лесных экосистемах.
3. Почвенная биота и ее роль в формировании лесных почв. Биоиндикация.
4. Геоинформационные системы и картографирование лесных почв.
5. Антропогенная трансформация лесных почв.
6. Земельные ресурсы и оценка почв.
7. Почвы в системе устойчивого лесопользования.

Открыла конференцию генеральный директор КарНЦ РАН, чл.-корр. РАН, д.б.н. Ольга Николаевна Бахмет. В своем докладе на тему «Развитие почвенных исследований в Карелии» она уделила внимание биографии и обзору научных трудов Р. М. Морозовой, представила историю развития лаборатории лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН, озвучила актуальные направления, по которым в настоящее время ведутся работы.

Пленарные доклады конференции были посвящены различным аспектам изучения как естественных почв, так и антропогенно нарушенных. Большое внимание было уделено вопросу изучения органического углерода в лесных почвах. В докладе чл.-корр. РАН, д.б.н. Натальи Васильевны Лукиной (Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН) речь шла об актуальных проблемах оценки динамики запасов углерода в лесных почвах при изменениях климата. Д.б.н. Ирина Николаевна Безкоровайная (Сибирский федеральный университет) в выступлении разобрала различные подходы к оценке депонирования углерода почвами лесных экосистем на примере Красноярского края. Д.б.н. Олег Георгиевич Чертов (Бингенский политехнический университет) затронул тему математического моделирования динамики органического вещества лесных почв. В докладе д.б.н. Ирины Николаевны Кургановой (Институт физико-химических и биологических

проблем почвоведения РАН, Пушкинский научный центр биологических исследований РАН) были представлены обобщенные результаты исследования эмиссии CO₂ из почв лесных экосистем Южного Подмосковья. Борис Федорович Апарин (Центральный музей почвоведения им. В. В. Докучаева) осветил аспекты современного направления в изучении почв — индикационного почвоведения. Выступление д. б. н. Алексея Александровича Дымова (МГУ им. М. В. Ломоносова, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН) было посвящено результатам изучения последствий влияния пирогенного воздействия на свойства почв бореальных лесов. Д.б.н. Галина Михайловна Кашулина (Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина РАН) затронула тему антропогенного влияния на естественный почвенный покров Кольского полуострова — рассмотрены последствия снижения объемов выбросов SO₂ и тяжелых металлов медно-никелевыми предприятиями. К.б.н. Елена Морисовна Лаптева (Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН) в докладе о подзолистых почвах Республики Коми акцентировала внимание на их агрогенной и постагрогенной трансформации. На примере Сибирского федерального округа д.б.н. Александр Александрович Онучин (Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) показал важность и значимость системы устойчивого управления лесами, обосновал необходимость формирования и внедрения новой лесной политики, учитывающей длительный жизненный цикл лесных экосистем. Д.б.н. Мария Иннокентиевна Герасимова (МГУ им. М. В. Ломоносова) подняла важную тему обсуждения действующей Классификации и диагностики почв России (2004), пояснила необходимость ее дополнения и обновления.

Также в рамках конференции был проведен семинар «Климаторегулирующие функции почв и их изменения в условиях антропогенного воздействия», на котором были представлены первые результаты работы консорциума «Углерод в экосистемах: мониторинг» в рамках Единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ. На семинаре прослушали 13 устных докладов.

Проведены две научные полевые экскурсии: «Пространственное варьирование свойств почв в зависимости от растительной микрогруппировки соснового древостоя (заповедник «Кивач»)» и «Почвы, сформировавшиеся на локальной морене малинового кварцита (старинное вепсское село Шокша)», на которых участники конференции познакомились с почвами среднетаежной подзоны Карелии. На территории государственного природного заповедника «Кивач» представлены типичные для Карелии почвы — подзолы, сформированные на водно-ледниковых отложениях под сосняком брусничным. Ученые также посетили Музей природы заповедника, дендрарий и водопад «Кивач» и первый российский курорт «Марциальные воды». В старинном вепсском селе

Шокша были показаны аazonальные для Карелии железисто-метаморфические почвы, сформированные на уникальных красноцветных отложениях, а также единственное в мире месторождение малинового кварцита. Гости посетили Шелтозерский вепсский этнографический музей им. Р. П. Лонины, где их познакомили с особенностями языка, культуры и истории коренного малочисленного народа РФ — вепсов.

Заслушав и обсудив научные доклады, участники конференции считают необходимым:

1. Обратить особое внимание на следующие пункты:

- решение вопроса юридической легализации Классификации и диагностики почв России 2004, 2008 года;
- стандартизацию методов в почвоведении, создание общих протоколов хода выполнения химических анализов (для ссылки в статьях);
- внедрение молекулярно-генетических методов;
- разобщенность теоретических и практических исследований в различных областях знаний, которая не позволяет внедрять в практику лесного хозяйства разработанные методы;
- обновление ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения» в соответствии с требованиями современной науки;
- уточнение критериев, параметров, нормативных и критических значений, регламентирующих механические нарушения лесных почв при заготовке леса в различных типах лесорастительных условий, а также при последующей подготовке почв под создание лесных культур с учетом роли почв в депонировании углерода и выполнении других экосистемных функций.

2. Рекомендовать Минприроды России, Федеральному агентству лесного хозяйства предусмотреть участие специалистов-почвоведов в государственной инвентаризации лесов России для получения достоверной информации о лесных почвах, включая оценку поглощения парниковых газов лесами в рамках Парижского соглашения.

3. Обратить внимание Минобрнауки России на климаторегулирующую роль лесных почв и необходимость подготовки специалистов в области лесного почвоведения в вузах страны.

4. Очередную XI конференцию по лесному почвоведению провести в сентябре 2025 г. на базе Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Красноярск). Рекомендовать Институту леса СО РАН организовать в рамках следующей конференции школу молодых ученых.

Резолюция конференции была разослана всем участникам конференции, на электронный адрес Общества почвоведов им. В. В. Докучаева, министерства природных ресурсов и экологии Республики Карелии, а также размещена на сайте Института леса КарНЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения: мат-лы X Всерос. научн. конф. по лесному почвоведению с международным участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 227 с.

Бахмет О. Н., Дубровина И. А., Медведева М. В., Мошквина Е. В. Путеводитель почвенных экскурсий X Всероссийской конференции с международным участием «Актуальные вопросы теории и практики лесного почвоведения», посвященной памяти Розалии Михайловны Морозовой (1928—2017 гг.), ученого-почвоведа, почетного члена общества почвоведов им. В. В. Докучаева. Петрозаводск, 2023 г. 38 с.

ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения». М.: Стандартинформ, 2008.

Казимиров Н. И., Морозова Р. М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 175 с.

Классификация и диагностика почв России / под ред. Г. В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2004.

Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.

Морозова Р. М. Современные процессы почвообразования в хвойных лесах Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 1992. 281 с.

10th All-Russian Scientific Conference with International Participation «Contemporary Issues in Forest Soil Science Theory and Practice»

S. G. Novikov^{1,*}, M. V. Medvedeva¹, A. K. Saraeva¹, A. V. Mamai¹

¹ Forest Research Institute of Karelian Research Centre RAS 11 Pushkinskaya St., 185910, Petrozavodsk, Karelia, Russia

* E-mail novikovsergey.nsg@gmail.com

Acknowledgements: The conference was held with the financial support of the most important innovative project of national importance “Development of a system of ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas flows in the territory of the Russian Federation, ensuring the creation of a system for recording data on the flows of climate-active substances and the carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems” (reg. No. 123030300031-6).

REFERENCES

- Aktual'nye voprosy teorii i praktiki lesnogo pochvovedeniya, (Contemporary issues in forest soil science theory and practice), Proc. of 10th all-Russian scientific conference on forest soil science with international participation, Petrozavodsk: KarNTs RAN, 227 p.
- Bakhmet O. N., Dubrovina I. A., Medvedeva M. V., Moshkina E. V., *Putevoditel' pochvennykh ekskursii X Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnymuchastiem “Aktual'nye voprosy teorii i praktiki lesnogo pochvovedeniya”, posvyashchennoi pamyati Rozalii Mikhailovny Morozovoi (1928—2017 gg.), uchenogo-pochvoveda, pochetnogo chlena obshchestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva* (Guide to soil excursions of the X All-Russian Conference with international participation “Contemporary issues in forest soil science theory and practice”, dedicated to the memory of Rozaliya Mikhailovna Morozova (1928—2017), soil scientist, honorary member of the V.V. Dokuchaev Soil Science Society), Petrozavodsk: 2023, 38 p.
- GOST 27593—88*
- Kazimirov N. I., Morozova R. M., *Biologicheskii krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii* (Biological cycle of matter in spruce forests of Karelia), Leningrad: Nauka, 1973, 175 p.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Morozova R. M., Fedorets N. G., *Sovremennye protsessy pochvoobrazovaniya v khvoinykh lesakh Karelii* (Acting soil forming processes in coniferous forests of Karelia), Petrozavodsk: Izd-vo KarNTs RAN, 1992, 283 p.
- Morozova R. M., *Lesnye pochvy Karelii* (Forest soils in Karelia), Leningrad: Nauka, 1991, 184 p.