

ISSN 0024-1148

Номер 1

Январь — Февраль 2024



ЛЕСОВЕДЕНИЕ



НАУКА
— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 1, 2024

Оригинальные статьи

- Круговорот элементов минерального питания в коренном среднетаежном долгомошно-сфагновом ельнике Республики Коми
К. С. Бобкова, Н. В. Лиханова 3
- Баланс биомассы древесных фракций коренных ельников тайги Европейской России
В. Г. Стороженко 16
- Полувековая динамика коренных и производных древостоев в резервате “Вепсский лес”
А. А. Корепин, Е. А. Капица, А. А. Шорохов, Е. В. Шорохова 26
- Диагностика роста и производительности деревьев в культурах ели европейской Смоленско-Московской возвышенности
М. Д. Мерзленко, В. А. Брынцев, А. А. Коженкова 38
- Влияние ландшафтных условий на динамику зарастания лесом бывших сельскохозяйственных угодий Пермского края
А. П. Белоусова 43
- Естественное возобновление клена остролистного в условиях лесостепи Приобья
Н. Н. Лихенко, Т. Н. Капко, А. П. Епанчинцева, И. Е. Лихенко 52
- Сравнительная оценка древесных пород как биогеохимических индикаторов накопления тяжелых металлов в черноземах миграционно-сегрегационных питомников ботанического сада Южного федерального университета
В. А. Корбань, Н. В. Сальник, С. Н. Горбов, С. С. Тагивердиев, П. Н. Скрипников, О. С. Безуглова, Е. О. Гудзенко 60
- Механическая устойчивость можжевельника виргинского в условиях степной зоны Восточно-Европейской равнины
В. О. Корниенко, В. Н. Калаев 70
- Population structure and phenological patterns of *Milicia excelsa* in moist evergreen Afromontane forests of Southwestern Ethiopia
M. Nigatu 79
-

Обзорные работы

- Обзор методологий реализации лесных климатических проектов
Т. А. Невзорова 86
-

Краткие сообщения

- Встречаемость дубового и ложного дубового трутовиков в порослевых дубовых древостоях Ульяновской области
Б. П. Чураков, Р. А. Чураков 101
- Алфавитный указатель за 2023 г. 108
-
-

CONTENTS

No. 1, 2024

Original Articles

- The Nutrient Cycle in Indigenous Polytrich-Sphagnum Spruce Forests of Komi Republic
K. S. Bobkova, N. V. Likhanova 3
- The Balance of the Woody Fraction of the Indigenous Spruce Forests' Biomass
in the European Russia's Taiga
V. G. Storozhenko 16
- Half-Century Dynamics of Structure and Productivity of Forest Stands in Primeval
and First Time Clear Cut Middle Boreal Forests
A. A. Korepin, E. A. Kapitsa, A. A. Shorohov, E. V. Shorohova 26
- Growth and Productivity of Trees in Forest Crops of Norway Spruce in Smolensk-Moscow Upland
M. D. Merzlenko V. A. Bryntsev, A. A. Kozhenkova 38
- Landscape Features Affecting the Dynamics of Forest Growth on Agricultural Lands
of the Perm Territory
A. P. Belousova 43
- Natural Regrowth of the Norway Maple in the Ob Forest Steppes
N. N. Likhenko, T. N. Kapko, A. P. Yepanchintseva, I. E. Likhenko 52
- Comparative Assessment of Tree Species as Ecosystem Indicator of Heavy Metals
Accumulation in Calcic Chernozems on the SFU's Botanical Garden
*V. A. Korban', N. V. Sal'nik, S. N. Gorbov, S. S. Tagiverdiev,
P. N. Skripnikov, O. S. Bezuglova, Ye. O. Gudzenko* 60
- Mechanical Stability of Virginian Juniper Trees in Steppe Zone of the Eastern-European Plain
V. O. Kornienko, V. N. Kalaev 70
- Population Structure and Phenological Patterns of *Milicia Excelsa* in Moist Evergreen
Afromontane Forests of Southwestern Ethiopia
M. Nigatu 79
-

Overviews

- Methodologies of the Forest Climatic Projects Realisation: a Review
T. A. Nevzorova 86
-

Short Communications

- Occurrence of *Inonotus Dryophilus* and *Phellinus Robustus* in Coppice Oak Stands
of Ulyanovsk Region
B. P. Churakov, R. A. Churakov 101
- Alphabetical Index 2023* 108
-
-

КРУГОВОРОТ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В КОРЕННОМ СРЕДНЕТАЕЖНОМ ДОЛГОМОШНО-СФАГНОВОМ ЕЛЬНИКЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

© 2024 г. К. С. Бобкова^а, *, Н. В. Лиханова^б

^аИнститут биологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, д. 28,
Сыктывкар, Республика Коми, 167000 Россия

^бБотанический сад СГУ им. П. Сорокина, Октябрьский проспект, д. 55,
Сыктывкар, Республика Коми, 167001 Россия

*E-mail: bobkova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 14.06.2023 г.

После доработки 24.08.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Приводятся материалы, характеризующие локальный цикл химических элементов в системе почва–фитоценоз среднетаежного спелого ельника долгомошно-сфагнового на болотно-подзолистых почвах. Показана структура органического и минерального вещества растений разных ярусов. Дано представление о миграции азота и зольных элементов в процессе формирования продукции фитомассы и возврата их растительными остатками опада. Основную роль в структурном составе годичной продукции и опада органического вещества в экосистеме старовозрастного ельника выполняет древостой. Установлено, что в фитомассе растений аккумулируется 1329.84 кг га⁻¹ элементов минерального питания. Большой емкостью накопления характеризуются N, Ca, K. При формировании годичной продукции растения ельника выносят 136.18 кг га⁻¹ элементов минерального питания. С годичным опадом на поверхность почвы поступает 107.00 кг га⁻¹ азота и зольных элементов. В процессе деструкции растительных остатков опада за год высвобождается 37.0 кг га⁻¹ минеральных элементов. Основным аккумулятором питательных элементов служит органогенный горизонт почвы, где концентрируется 2421.79 кг га⁻¹ химических элементов. С атмосферными осадками в почву в течение года поступает 22.6 кг га⁻¹ азота и зольных элементов. Показано, что вынос минеральных элементов за пределы корнеобитаемого слоя (0–40 см) с поверхностными водами составляет 71.78 кг га⁻¹ в год.

Ключевые слова: Север России, средняя тайга, ельник, фитомасса, продукция, опад, азот, зольные элементы, круговорот веществ, атмосферные осадки, почвенные воды.

DOI: 10.31857/S0024114824010014, EDN: SMKAEQ

Обмен веществ между отдельными компонентами в лесных экосистемах определяет их взаимосвязь и взаимообусловленность. Биологический круговорот элементов минерального питания между почвой и фитоценозом во многом характеризует функционирование экосистемы, определяя процессы почвообразования и формирования состава фитоценозов. Показатели, характеризующие бюджет азота и зольных элементов в системе почва–фитоценоз в биогеоценозах, успешно используются в лесном хозяйстве при разработке и проведении мероприятий, направленных на улучшение питательного режима почв с целью увеличения продуктивности лесных насаждений. Круговорот элементов питания в еловых сообществах таежной зоны давно исследуется (Ремезов и др., 1959; Родин, Базилевич, 1965; Казимиров, Морозова, 1973; Забоева, 1975; Арчегова и др., 1975; Мананов, Никонов, 1981; Вакуров, Полякова, 1982; Никонов, Лукина, 1994; Лукина, Никонов, 1996; Бобкова, 1999; Бобкова и др., 2020).

В настоящее время оценка баланса элементов минерального питания в лесных экосистемах методом моделирования круговорота элементов позволяет ближе подойти к решению проблемы регулирования продуктивности лесов и улучшения из средообразующих функций (Chertov et al., 2001; Komarov et al., 2003; Комаров и др., 2007). Большинство исследований проведено в ельниках на автоморфных подзолистых почвах. Отмечено, что в еловых экосистемах северотаежной зоны минеральный обмен между почвой и растительностью ограничен главным образом в системе фитоценоз – лесная подстилка. Видовой состав фитоценоза определяет параметры биологической миграции, поскольку различные виды растений накапливают неодинаковую массу и характеризуются специфическим химическим составом. Следует отметить, что большая часть лесопокрытой площади европейского Северо-Востока России занята еловыми лесами. Только на территории Республики Коми (РК) еловые

сообщества произрастают на площади 16.2 млн га, примерно половину которой занимают заболоченные типы сообществ. Исследования круговорота веществ в еловых экосистемах на болотно-подзолистых почвах единичные (Вакуров, Полякова, 1982; Лукина, Никонов, 1996; Руднева и др., 1996), и они проведены в условиях северной тайги. Цель данной работы состоит в оценке потоков азота и зольных элементов в системе почва—фитоценоз коренного среднетаежного ельника долгомошно-сфагнового на иллювиально-гумусово-железистом глееватом подзоле.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми научного центра УрО РАН, который расположен в подзоне средней тайги (62°17'N, 50°20'E), в период 2000–2006 гг. Лесной стационар находится на Мезенско-Вычегодской равнине и является частью древнейшей Русской платформы. В основании ее лежат докембрийские кристаллические породы, перекрытые толщей малонарушенных осадочных пород. Водораздельные пространства сложены пермскими песчаниками, глинами, мергелями триасовой системы. Эти породы перекрыты четвертичными отложениями рисского (московского) оледенения, переработанными денудацией и водно-аккумулятивными процессами (Атлас Коми..., 1964). В рельефе преобладают волнистые и увалистые междуречья с максимальными абсолютными высотами до 230–250 м. Водораздельные пространства обычно имеют плоский или пологоволнистый рельеф. Территория представляет собой слабо дренированную аккумулятивную моренную равнину. Почвообразующими породами являются двучленные отложения — маломощные пески и супеси, подстилаемые моренными суглинками. В почвенном покрове слабо дренированных водоразделов, сложенных двучленными породами, господствуют сочетания торфяно-подзолисто-глеявых иллювиально-гумусовых почв с торфянисто-подзолисто-глееватыми иллювиально-гумусовыми, которые на дренированных приречных склонах водоразделов сменяются типичными подзолистыми почвами (Атлас почв..., 2010).

Ельник долгомошно-сфагновый (*Piceetum polytrichoso-sphagnosum*) представлен разновозрастным и разновысотным, но без ясно выраженного второго яруса древостоем. Согласно С.А. Дыренкову (1984), он относительно разновозрастный, предклимаксовый. Класс бонитета у насаждения — V, полнота — 0.7 (табл. 1). Древостой состоит из ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и березы повислой (*B. pendula* Roth). В подлеске встречаются единично кусты рябины (*Sorbus aucuparia* L.), ивы (*Salix* sp.), шиповника (*Rosa acicularis* Lindl.). Подрост (1.86 тыс. экз. га⁻¹) удовлетворительного состояния образован в основном елью. Травяно-кустарничковый ярус с проективным покрытием около 40% составлен черникой (*Vaccinium myrtillus* L.), брусникой (*V. vitis-idaea* L.), морошкой (*Rubus chamaemorus* L.), хвощом (*Equisetum sylvaticum* L.), осокой шаровидной (*Carex globularis* L.). Моховой покров почти сплошной, представлен в основном политрихумом обыкновенным (*Polytrichum commune* Hedw.) в сочетании со сфагновым (*Sphagnum* sp.) и редко зелеными мхами (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Br., Sch. et Cmb., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.).

Ельник развивается на иллювиально-гумусово-железистом глееватом подзоле. В почвенном профиле мощность подстилочно-торфяного горизонта О составляет 17 ± 2.25 см, под ним залегает подзолистый горизонт ELg — 11 ± 1.7 см, переходящий в субэлювиальный горизонт BELg (14 ± 1.85 см) и текстурный BTg (10 ± 1.32 см) (Полевой определитель..., 2008). Рассматриваемые почвы характеризуются кислой реакцией в активной части профиля (pH = 3.78–4.42). Для почвы характерно повышенное содержание в верхних слоях оксидов железа и алюминия. В органогенном горизонте накапливаются биофильные элементы — окислы кальция, железа, фосфора, калия, марганца. Наблюдается вынос всех водорастворимых соединений по профилю почвы.

Для характеристики биогеохимической циркуляции минеральных элементов в годовом цикле лесных экосистем выделяют три основных потока веществ: биологический, атмосферный и геохимический. Биологическая миграция — биологическое поглощение химических элементов растениями из

Таблица 1. Лесоводственно-таксационная характеристика* древостоя ельника долгомошно-сфагнового

Состав древостоя	Древесная порода	Возраст, лет	Число деревьев, экз. га ⁻¹		Запас древесины, м ³ га ⁻¹		Средняя высота, м	Средний диаметр, см
			растущих	сухих	растущих	сухих		
7Е2Б1С	Ель	70–180	1419	25	102	1.5	12	13
	Сосна	110	54	—	15	—	15	19
	Береза	70–110	385	18	53	1.4	12	16
	ВСЕГО	—	1858	43	170	2.9	—	—

*Данные 2000 г.

почвы и возврат с опадом, атмосферная — поступление химических элементов в биогеоценоз из атмосферы (осадки и пыль) за год, геохимическая — перемещение химических элементов по профилю почвы и геохимических ландшафтов преимущественно с поверхностным внутрипочвенным стоком (Манаков, Никонов, 1981; Лукина, Никонов, 1996). Нами определены биологическая, атмосферная и некоторые аспекты геохимической миграции. Для оценки биологической миграции определялись следующие показатели: запас, годовая продукция фитомассы и масса растительных остатков опада. Регрессионные уравнения зависимости массы отдельных компонентов фитомассы деревьев ели, сосны и березы от диаметра ствола в ельнике долгомошно-сфагновом, полученные в результате анализа модельных деревьев, приведены нами ранее (Бобкова, 2007; Бобкова, Лиханова, 2012). Связь фитомассы хвои (листьев) и ветвей довольно хорошо описывается уравнениями прямой ($y = a + bx$) зависимости. При сопоставлении массы ствола, коры, ветвей и корней с диаметром дерева используются уравнения степенной ($y = ax^b$) формы, где y — масса той или иной фракции, x — диаметр ствола. При выборе уравнений учитывали величины абсолютной и относительной погрешности. Коррелятивное отношение для сосны составляет 0.903–0.956, для ели — 0.716–0.990, для березы — 0.877–0.958.

Постоянная пробная площадь (ППП) в ельнике долгомошно-сфагновом была заложена размером 0.24 га, на ней проведен сплошной перебор деревьев. Анализ таксационных материалов выполнен по Лесотаксационному справочнику (1986). Определяли массу и продукцию органического вещества древесных растений по методу модельных деревьев (Уткин, 1975; Усольцев, 2007). В ельнике проанализированы деревья ели (7 шт.), березы (3 шт.), сосны (3 шт.) и подроста (5 шт.). Массу корней древесных, травянистых растений и кустарничков определяли методом крупных (50 × 50 см) (10 шт.) и мелких (с помощью бура диаметром 10 см) (35 шт.) монолитов (Орлов, 1967). Прирост их оценен по Методам изучения ... (1978): $P_{кр} = \frac{(n \cdot K)}{C}$, где $P_{кр}$ — прирост корней (единицы массы); n — прирост стволов и ветвей (единицы массы); K — доля корней от суммарной массы ствола, ветвей и корней, %; C — доля ствола и ветвей от суммарной массы ствола, ветвей и корней, %.

Надземную массу растений напочвенного покрова оценивали методом укусов на уровне почвы буром диаметром 10 см в 40-кратной повторности. Продукцию растений этого яруса определяли, отделив побеги текущего года у 80–100 растений. По полученным соотношениям рассчитывали общий прирост массы растений. Прирост и опад корней травяно-кустарничкового яруса был принят равным $\frac{1}{4}$ от их массы (Dahlman, Kuceera, 1965; Бобкова, 1987). Ежегодно отмирающую массу брусники

принимали — 30%, черники, травяных растений и мхов — 100% прироста (Родин, Базилевич, 1965; Родин и др., 1968; Казимиров, Морозова, 1973). Навески древесины ствольной, коры ствольной, ветвей, хвои (листья), корней и растений напочвенного покрова высушивали при температуре 105°C и данные переводили в абсолютно сухой вес. Сбор опада древесных растений осуществляли с помощью 20 опадоуловителей, которые размещались на расстоянии 4–5 м вдоль границ ППП. Размеры опадоуловителей — 0.5 × 0.5 м, высота над поверхностью почвы — 15 см. Массу подстилки определяли с помощью металлического шаблона площадью 98 см² в 35-кратной повторности. Данные переводили в абсолютно сухую массу. Вынос растениями элементов минерального питания из почвы за год оценивали по накоплению их в продукции. Для оценки скорости трансформации и минерализации опада использовали методику (Heath et al., 1964). Пробы разных фракций опада в 3–5 кратной повторности закладывали в нейлоновые мешочки размером 20 × 25 см (размер ячеек 1 × 1 мм) на поверхность лесной подстилки и по истечении 12 месяцев определяли убыль их массы. Скорость оборота веществ определяли как соотношение запаса химических элементов в подстилке к их накоплению в приросте. Скорость круговорота для всего фитоценоза оценивали как простое среднее арифметическое значение скорости оборота элементов. Интенсивность разложения оценивали как отношение массы подстилки к массе опада (П/О) (Родин, Базилевич, 1965; Лукина, Никонов, 1996). Коэффициент разложения — K_r определяли как отношение запаса элемента в подстилке к его содержанию в годовичном опаде, умноженному на опадо-подстилочный коэффициент (Андреев, Пугачев, 1983). Продукцию ствольной древесины оценивали по среднему объемному приросту у модельных деревьев. Ширину годовичного прироста определяли по спилам древесины с каждой секции ствола на полуавтоматической программно-измерительной установке LINTAB5. Измерение годовичных колец проведено вручную путем перемещения стола с исследуемым образцом с помощью рукоятки и соотнесения торцевых контуров годовичных колец и визирных линий окуляра. Запись ширины годовичного кольца осуществляется нажатием клавиши на ЭВМ. Прибор используется с программой Tsap-Win Basic, которая позволяет рассматривать на экране кривые изменения показателей прироста у большого числа деревьев, сдвигать кривые на различное число лет, вставлять и удалять кольца.

Дождевые осадки собирали с июня по октябрь в течение трех лет. Для сбора дождевых осадков применяли осадкоприемники с диаметром приемной поверхности 20 см в 14-кратной поверхности, которые размещались на расстоянии 5 м друг от друга под кронами елей и в межкрупных пространствах (“окнах”). Воды, свободно стекающие

по почвенному профилю под влиянием гравитации, собирали в лизиметры с площадью приемной поверхности 40×40 см, расположенные под каждым из горизонтов: O, ELg, BELg — в 4-кратной повторности. Дождевые осадки и лизиметрические воды собирали в течение сезона (июнь—октябрь). Снег отбирали с декабря по март в течение трех лет. Для сбора использовались снегоприемники ($S = 1017.4 \text{ см}^2$), которые были установлены в 3–4-х повторностях под кронами елей, берез и в “окнах”. Величину годового поступления элементов определяли суммированием их поступления как жидкими, так и твердыми осадками.

Содержание N в растительных образцах изучали методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе азота ФТФ-1500 фирмы Карло Эрба (Италия). Концентрации Ca, Si, Mg, Mn определены с использованием метода зольного анализа и атомно-абсорбционного спектрофотометра Hitachi 18–60 МГА-915 (Япония), концентрации K, Na, P, Fe и Al — методом плазменной фотометрии на спектрофотометре SP-90A (Великобритания). Для количественного анализа вод применялись следующие методы: рН — потенциометрия электродами низкой ионной силы; сульфаты — турбидиметрия на КФК-3 (Россия); фосфаты, нитраты, ионы аммония — фотометрия на КФК-3; хлориды — колориметрическая титриметрия; Ca, Mg, K, Na, Fe, Al, Mn — атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Анализы выполнены в экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН. Расчет содержания химических элементов в составе растительного органического вещества производился путем умножения массы структурных единиц растений на содержание в них того или иного элемента. Учет годового потребления зольных элементов и азота выполняли путем умножения массы структурных компонентов прироста и величин максимального содержания в них отдельных химических элементов (Родин, Базилевич, 1965; Гришина, 1974). Полученные данные суммировались по компонентным элементам. На

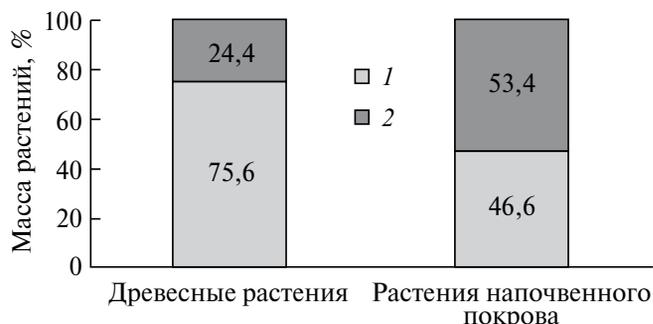


Рис. Надземная (1) и подземная (2) масса растений в ельнике долгомошно-сфагновом.

основании этого вычислялось общее годовое потребление минеральных веществ фитоценоза в целом. Аналогично поступали и при расчетах годового возврата элементов минерального питания с опадом. Данные в работе представлены в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением ($M \pm SD$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Запасы фитомассы. Фитомасса древесных растений, определенная по регрессионным уравнениям и материалам таксации, древостоя старовозрастного ельника долгомошно-сфагнового представлена в табл. 2. Так, древесные растения в растущих органах формируют фитомассу $156 \pm 8.62 \text{ т га}^{-1}$. Распределение органического вещества древесного яруса по компонентам следующее: стволовая древесина — 52.4%, ветви — 8.5%, стволовая кора — 7.4%, листья (хвоя) — 7.3%, корни — 24.4%. Масса надземных органов древесных растений в три раза превышает массу корней (рис.). В сухостойных деревьях сосредоточено $3 \pm 0.25 \text{ т га}^{-1}$ фитомассы.

Масса растений напочвенного покрова в исследуемом сообществе составляет $3 \pm 0.25 \text{ т га}^{-1}$. В ее структуре приоритетную роль выполняют растения травяно-кустарничкового яруса, которые по

Таблица 2. Запасы, продукция и опад растительного органического вещества растений* в ельнике долгомошно-сфагновом

Компоненты	Фитомасса, т га^{-1}	Продукция, $\text{т га}^{-1}\text{год}^{-1}$	Опад, $\text{т га}^{-1}\text{год}^{-1}$ ***
Биомасса	159.45 ± 8.71	6.00 ± 0.53	4.19 ± 0.39
древесные растения	156.3 ± 8.62	4.83 ± 0.43	3.04 ± 0.28
подлесок	0.03 ± 0.001	0.01 ± 0.001	0.01 ± 0.001
напочвенный покров	3.12 ± 0.25	1.16 ± 0.16	1.14 ± 0.14
Фитодетрит			
КДО**	4.01 ± 0.35	—	—
лесная подстилка	75.1 ± 6.84	—	—

* Включены все компоненты ОВ фитоценоза.

** Сухостой, сухие ветви.

*** Среднее за 4 года.

Таблица 3. Содержание химических элементов в растительных компонентах* ельника долгомошно-сфагнового

Химический элемент	Фитомасса, кг га ⁻¹			Продукция, кг га ⁻¹ год			Опад, кг га ⁻¹ год		
	Древесные растения	Сухостой	Растения напочвенного покрова	Древесные растения	Всего	Растения напочвенного покрова	Древесные растения	Растения напочвенного покрова	Всего
Ca	328.28 ± 26.2	5.64 ± 0.5	6.61 ± 0.5	17.67 ± 1.3	2.28 ± 0.2	2.28 ± 0.2	23.65 ± 1.9	2.44 ± 0.2	26.09 ± 2.6
K	175.80 ± 9.8	2.73 ± 0.3	9.84 ± 0.7	19.34 ± 1.6	5.59 ± 0.3	5.59 ± 0.3	6.86 ± 0.7	4.64 ± 0.4	11.50 ± 0.6
Si	64.83 ± 3.6	1.00 ± 0.1	10.66 ± 0.9	4.23 ± 0.2	7.28 ± 0.4	7.28 ± 0.4	8.98 ± 1.4	6.17 ± 0.6	15.15 ± 1.5
Mg	56.92 ± 4.2	0.89 ± 0.08	2.15 ± 0.1	5.77 ± 0.5	0.75 ± 0.03	0.75 ± 0.03	4.43 ± 0.4	0.86 ± 0.05	5.29 ± 0.4
P	56.71 ± 3.1	0.85 ± 0.08	2.99 ± 0.2	5.22 ± 0.4	1.39 ± 0.1	1.39 ± 0.1	3.09 ± 0.3	1.16 ± 0.07	4.25 ± 0.3
Mn	30.95 ± 2.4	0.54 ± 0.03	1.47 ± 0.1	2.37 ± 0.2	0.47 ± 0.02	0.47 ± 0.02	2.70 ± 0.2	0.46 ± 0.02	3.16 ± 0.2
Al	22.32 ± 2.6	0.46 ± 0.02	5.52 ± 0.6	1.28 ± 0.1	1.69 ± 0.1	1.69 ± 0.1	0.95 ± 0.1	0.89 ± 0.04	1.84 ± 0.1
Fe	18.53 ± 2.2	0.47 ± 0.02	3.62 ± 0.3	0.62 ± 0.04	1.01 ± 0.1	1.01 ± 0.1	0.29 ± 0.02	1.31 ± 0.1	1.60 ± 0.1
Na	4.07 ± 0.3	0.06 ± 0.01	0.31 ± 0.05	0.21 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.05	0.18 ± 0.02	0.37 ± 0.01
N	479.43 ± 25.0	8.63 ± 0.8	27.56 ± 1.8	47.37 ± 3.1	11.46 ± 0.7	11.46 ± 0.7	28.72 ± 2.3	9.03 ± 0.6	37.75 ± 2.15
Сумма без N	758.41 ± 31.8	12.64 ± 1.4	43.17 ± 2.87	56.71 ± 5.1	20.64 ± 1.2	20.64 ± 1.2	51.14 ± 11.4	18.11 ± 0.8	69.25 ± 12.1
Сумма с N	1237.84 ± 40.5	21.27 ± 2.5	70.73 ± 4.6	104.08 ± 14.1	32.10 ± 1.4	32.10 ± 1.4	79.86 ± 16.6	27.14 ± 0.09	107.00 ± 17.4

*Включены все фракции фитомассы ценноза.

формированию резервуара органического вещества во многом превосходят растения мохового покрова. Распределение массы растений данного яруса по компонентам следующее: корни трав и кустарничков — 53.4%, мхи — 36.6%, кустарнички — 5.6%, полукустарнички — 0.9%, лишайники — 0.7%, надземные органы трав — 2.8%. В целом массы подземных и надземных органов данного яруса примерно одинаковы (рис.). По исследованиям И. Г. Грозовой с соавторами (2015), в условиях Костромской области в ельнике черничном масса растений напочвенного покрова составляет 5.2 т га⁻¹ и подземная масса немного выше, чем надземная.

Таким образом, в коренном ельнике долгомошно-сфагновом на глееватом подзоле фитомасса составляет 163 ± 9.44 т га⁻¹ (табл. 2). Основную часть фитомассы формируют растения древостоя. Большая часть органического вещества фитомассы приходится на надземные органы растений. В крупных древесных остатках (КДО) — сухостое и сухих ветвях растущих деревьев — аккумулировано 4 ± 0.35 т га⁻¹ фитомассы. В исследуемом ельнике валеж не учитывался.

Продукция фитомассы. В старовозрастном долгомошно-сфагновом ельнике годовая продукция древесных растений составляет 4.84 ± 0.43 т га⁻¹ (табл. 2). Основную роль в ее накоплении выполняют ель (51.5%) и береза (41.5%). На долю сосны приходится 7.0%, на долю подлесочных древесных растений — 0.2% от общего прироста фитомассы древесных растений. Распределение продукции по компонентам следующее: стволовая древесина — 16.2%, ветви — 11.0%, стволовая кора — 2.0%, листья (хвоя) — 44.7%, корни — 26.1%. Большую часть продукции растений напочвенного покрова в фитоценозе формируют мхи, травы, корни кустарничков и трав. В целом годичный прирост органического вещества исследуемого фитоценоза равен 6 ± 1.12 т га⁻¹, и формирует его в основном древостой (77%), что вписывается в пределы показателей, приведенных для среднетаежных ельников. Показано, что текущий прирост фитомассы в спелых среднетаежных ельниках составляет от 3.5 до 9.0 т га⁻¹ (Паршевников, 1962; Казимиров, Морозова, 1973; Арчегова и др., 1975; Бобкова и др., 2020). На долю продукции растений напочвенного покрова приходится 23.0%, что значительно больше, чем в ельниках на подзолистых почвах.

Масса растительного опада. Лесной опад является важнейшим звеном в биологическом круговороте между фитоценозом и почвой (Родин, Базилевич, 1965; Лукина, Никонов, 1996; Ведрова, 1997; и др.). Показано, что при разложении растительных остатков опада и подстилки пополняются запасы элементов минерального

питания в почве, изъятые растениями в процессе питания, происходит новообразование гумуса, определяющего плодородие почвы. В фитоценозе долгомошно-сфагнового ельника масса опада древесных растений (в среднем за четыре года наблюдений) составляет $3.05 \pm 0.28 \text{ т га}^{-1}$, из них листовой опад занимает 64.8%, корни — 14.8%, ветви — 8.2% и другие компоненты (древесина, кора, шишки) — 12.2%. В ценозе в составе наземного опада значительно участие растений напочвенного покрова с массой $1.14 \pm 0.14 \text{ т га}^{-1}$.

Аккумуляция минеральных элементов в фитомассе — это суммарный результат многолетних и многочисленных их циклов, который оценивается количеством находящегося в составе растений органического вещества (Гришина, 1974; Базилевич, Титлянова, 2008). Элементный состав отдельных компонентов фитоценоза приведен в работе Бобковой, Лихановой (2012). В исследуемом еловом насаждении в живой фитомассе аккумулировано $1330 \pm 46.8 \text{ кг га}^{-1}$ N и зольных элементов (табл. 3), что в 1.3–1.5 раз меньше, чем в среднетаежных еловых фитоценозах на автоморфных почвах. Следует отметить, что спелые ельники на подзолистых почвах характеризуются большей продуктивностью, и, как следствие, более высоким накоплением N и зольных элементов в фитомассе, чем заболоченные ельники на торфянисто-подзолистых почвах. Ряд накопления минеральных элементов, заключенных в фитомассе ценоза, следующий: $\text{N} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Si} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Mn} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Na}$. Из зольных элементов относительно большей емкостью накопления (45.5%) обладают Ca, K и Si. Основные запасы элементов минерального питания сосредоточены в растущих органах древесных растений — $1238 \pm 40.5 \text{ кг га}^{-1}$. Сухие органы древесных растений содержат $21 \pm 2.5 \text{ кг га}^{-1}$ элементов минерального питания, которые концентрируются в основном в сухостое ели и роль которых значительна в биогеохимических процессах спелых лесных сообществ (Filipiak, 2018). Растения напочвенного покрова в фитомассе содержат $71 \pm 4.6 \text{ кг га}^{-1}$ N и зольных элементов. В их накоплении растениями нижних ярусов фитоценоза ведущая роль принадлежит травяным растениям ($20 \pm 2.3 \text{ кг га}^{-1}$), подземным органам кустарничков и трав ($15 \pm 1.7 \text{ кг га}^{-1}$). Надземные органы кустарничков и трав содержат 39.1% от общей массы питательных элементов растений напочвенного покрова. В целом в растительном сообществе коренного среднетаежного долгомошно-сфагнового

ельника на глееватом подзоле содержание N составляет $516 \pm 40.5 \text{ кг га}^{-1}$, а зольных элементов — $814 \pm 37.3 \text{ кг га}^{-1}$ (табл. 3).

Вынос элементов питания. Показатель, характеризующий количество элементов минерального питания в продукции фитомассы в насаждениях, определяет интенсивность биологического круговорота (Гришина, 1974). Для формирования годичной массы органического вещества старовозрастный долгомошно-сфагновый ельник выносит из почвы $136 \pm 13.9 \text{ кг га}^{-1}$ N и зольных элементов. Большая их часть (76.4%) используется древесными растениями. Растения напочвенного покрова ежегодно на формирование продукции извлекают из почвы $32 \pm 1.4 \text{ кг га}^{-1}$ элементов минерального питания, что составляет 23.6% от общего их количества, используемого на питание. Среди элементов более интенсивно в биологический круговорот веществ вовлекаются N, K, Ca, Si, P и Mg (табл. 3). Так, количество минеральных элементов, выносимых из почвы на формирование годичной продукции, в ельниках разных типов в условиях подзоны северной тайги составляет $70\text{--}180 \text{ кг га}^{-1}$ (Руднева и др., 1966; Забоева, 1975; Лукина, Никонов, 1996; Бобкова, 1999; и др.), а в среднетаежных ельниках на подзолистых почвах — $144\text{--}186 \text{ кг га}^{-1}$ элементов минерального питания (Паршевников, 1962; Казимиров, Морозова, 1973; Арчегова и др., 1975; Бобкова и др., 2020; и др.).

Минеральные элементы в лесной подстилке. Подстилично-торфянистый горизонт в ельнике долгомошно-сфагновом мощностью $17 \pm 1.8 \text{ см}$ с запасом органического вещества $75 \pm 6.84 \text{ т га}^{-1}$ аккумулирует $2422 \pm 72.3 \text{ кг га}^{-1}$ N и зольных элементов, что в 1.8 раза больше, чем в живом растительном веществе ценоза (табл. 4). Распределение минеральных элементов в лесной подстилке азотно-кальциево-кремниевое: $\text{N} > \text{Ca} > \text{Si} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{K} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Na}$. Согласно исследованиям И. Б. Арчеговой (1975), К.С. Бобковой с соавторами (2020), в подстилке среднетаежных ельников зеленомошной группы типов на автоморфных подзолистых почвах концентрируется от 1044 до 1415 кг га^{-1} азота и зольных элементов, что в 1.4–2.3 раза меньше, чем в исследуемом ельнике долгомошно-сфагновом на болотно-подзолистых почвах. Характерно для исследуемого ельника то, что в подстилке аккумулировано в 18 раз больше элементов питания, чем выносится на формирование продукции фитомассы. Ранее К.С. Бобковой (1987) выявлено, что

Таблица 4. Вынос минеральных элементов с лизиметрическими водами на иллювиально-гумусово-железистом глееватом подзоле ельника долгомошно-сфагнового, кг га^{-1} в год

Горизонт	N	Si	Ca	Mg	P	K	Na	Mn	Fe	Al
O	3.03 ± 0.7	57.33 ± 13.6	21.91 ± 4.8	4.40 ± 1.2	3.11 ± 1.1	3.10 ± 0.7	2.39 ± 0.6	0.07 ± 0.02	1.62 ± 0.4	1.71 ± 0.5
ELg	2.98 ± 0.6	41.01 ± 9.8	21.08 ± 3.8	4.59 ± 0.7	3.14 ± 0.9	2.90 ± 0.6	3.10 ± 0.8	0.08 ± 0.01	1.01 ± 0.2	1.01 ± 0.2
BELg	3.14 ± 0.5	36.11 ± 9.1	18.03 ± 3.6	3.91 ± 0.9	3.98 ± 1.3	1.24 ± 0.3	4.31 ± 0.8	0.02 ± 0.01	0.19 ± 0.04	0.15 ± 0.04

в полугидроморфных почвах ельников корни древесных растений сосредоточены в слое 0–40 см. Почти вся масса физиологически активных корней располагается в органогенном горизонте. Корни кустарничков и трав более чем на 74% концентрируются также в этом горизонте.

Водная миграция химических элементов. Как известно (Федоров, 1977; Матвеев, Матвеева, 2014), основным источником почвенной влаги являются атмосферные осадки, количество и распределение которых связано с климатическими условиями региона, метеорологическими условиями отдельных лет, а также составом и возрастом древостоя. Им отводится роль постоянного “резервного фонда” биологического круговорота веществ, компенсатора, благодаря которому происходит постоянное пополнение биогеоценоза элементами минерального питания. Следует учитывать, что высокая влажность почвы способствует вымыванию из нее подвижных форм всех элементов (Одум, 1975). Химический состав атмосферных осадков характеризуется пространственной и сезонной вариабельностью (Казимиров, Морозова, 1973; Лукина, Никонов, 1996; Lindroos et al., 2000). В лесных сообществах древесный ярус оказывает существенное влияние на количество и качество осадков, поступающих на поверхность почвы (Морозова, Куликова, 1974; Ушакова, 1997; Карпачевский и др., 1998). Отмечено выщелачивание элементов осадками, проникающими через кроны древесных пород. В работах Е.А. Робакидзе с соавторами (2013, 2015) отмечено, что минерализация атмосферных осадков, прошедших через кроны среднетаежных ельников, стабильно низкая. Выявлено, что по содержанию ионов водорода дождевые осадки, прошедшие через кроны древостоя ельника долгомошно-сфагнового, относятся к слабокислым (при средней величине $\text{pH} = 5.4$) гидрокарбонатно-кальциево-калиевым. С атмосферными осадками на поверхность почвы в ельнике долгомошно-сфагновом поступает $23 \pm 1.6 \text{ кг га}^{-1}$ в год N и зольных элементов. Поступление минеральных элементов с кроновыми водами характеризуется калиево-кальциево-магниевым-азотным типом химизма. Атмосферные осадки в старовозрастном ельнике играют определенную роль в пополнении запаса элементами минерального питания в почве. Так, с кроновыми водами в исследуемый ельник поступает 40% от потребляемого фитоценозом на построение продукции K, 15% — Mg, 26% — Ca.

Потоки химических элементов с почвенными водами. Н.В. Лукиной, В.В. Никоновым (1996) установлено, что биогеохимическая роль ельников на Крайнем Севере имеет двойной характер. Низкая зольность фракций как ели, так и растений напочвенного покрова, агрессивные ненасыщенные органические кислоты преимущественно фульвокислотной природы, которые образуются в процессе

разложения лесного опада микроорганизмами, а также гумидный режим региона способствуют усилению миграционной способности элементов благодаря разрушению первичных минералов и перемещению их в виде органоминеральных соединений по профилю почвы. В почвенной толще процессы выноса часто выражаются накоплением подвижных форм элементов в субэлювиальном горизонте. Конечным итогом процессов преобразования почвы ельников в условиях севера является вынос химических элементов из почвы в результате геохимической миграции, хотя размеры выноса невелики ($18\text{--}21 \text{ кг га}^{-1}$ в год). Лизиметрические воды исследуемого ельника долгомошно-сфагнового на иллювиально-гумусово-железистом глееватом подзоле характеризуются относительно высоким выносом минеральных элементов (табл. 4). На первом месте по выносу из подстилки и миграции в верхних горизонтах почвы в ельнике стоит Si, далее Ca, Mg, P, K и Na. С глубиной значительно снижается концентрация Si и K. В исследуемом ельнике из подстилки максимально поступают и мигрируют по почвенному профилю в составе органоминеральных комплексов типоморфные элементы, такие как Fe и Al. Следует отметить, что геохимическая подвижность Al и Fe очень мала, что объясняет их накопление в мертвых растительных остатках и способность осаждаться в верхних минеральных горизонтах.

Это свидетельствует об интенсивном биологическом поглощении элементов растениями и микроорганизмами. Ежегодно за пределы корнеобитаемого слоя поступает определенное количество элементов в результате процессов водной миграции. По нашим оценкам, за пределы горизонта VLg поступает $72 \pm 5.1 \text{ кг га}^{-1}$ минеральных элементов в год без учета элементов, содержащихся в почве в малоподвижной форме. Миграционные потоки элементов с лизиметрическими водами в более глубокие слои почвы исследуемого ельника нами не изучены.

Скорость круговорота веществ определяется временем, в течение которого химический элемент поглощается организмом, проходит все этапы трансформации и возвращается в среду обитания. Этот показатель характеризуется отношением запаса химических элементов в лесной подстилке к содержанию их в приросте фитомассы (Родин, Базилевич, 1965; Базилевич, Титлянова, 2008). В ельнике долгомошно-сфагновом рассматриваемый показатель равен 17.8 лет. Для еловых насаждений на подзолистых почвах более южных регионов лесной зоны скорость круговорота составляет от 1 года до 7 лет (Андрианова, 2001), а для среднетаежного ельника на подзолистых почвах — 7.3 года (Бобкова и др., 2020), на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах — 9–10 лет (Бобкова, 1999). В среднетаежном ельнике долгомошно-сфагновом наибольшей скоростью оборота (лет) отличаются основные органогены: K (4.5),

Таблица 5. Показатели биологического круговорота химических элементов в ельнике долгомошно-сфагновом

Показатель	Зольные элементы										N	Всего
	Ca	K	Si	Mg	P	Mn	Al	Fe	Na			
Аккумуляровано в фитомассе, кг га ⁻¹	340.53 ± 16.3	188.37 ± 10.5	76.49 ± 8.4	59.96 ± 6.8	60.55 ± 7.1	32.96 ± 2.9	28.30 ± 2.8	22.62 ± 2.7	4.44 ± 0.3	515.62 ± 40.5	1329.84 ± 46.8	
Накопление в продукции, кг га ⁻¹ в год	19.95 ± 1.1	24.93 ± 1.5	11.51 ± 0.5	6.52 ± 0.4	6.61 ± 0.4	2.84 ± 0.2	2.97 ± 0.2	1.63 ± 0.1	0.39 ± 0.02	58.83 ± 3.2	136.18 ± 13.9	
Скорость оборота, год	22.8 ± 1.5	4.5 ± 0.4	35.4 ± 0.5	14.5 ± 1.6	7.6 ± 0.9	39.7 ± 2.7	57.8 ± 0.8	108.3 ± 1.5	13.8 ± 0.6	14.2 ± 0.6	17.8 ± 1.0	
Поступление с опалом, кг га ⁻¹ в год	26.09 ± 2.6	11.50 ± 0.6	15.15 ± 1.5	5.29 ± 0.4	4.25 ± 0.3	3.16 ± 0.2	1.84 ± 0.1	1.60 ± 0.1	0.37 ± 0.01	37.75 ± 2.15	107.00 ± 17.4	
П/О	17.4	9.8	26.9	17.8	11.7	35.7	23.3	110.3	14.5	22.1	22.6	
Запас в подстилке, кг га ⁻¹	455.21 ± 19.2	113.01 ± 9.2	408.00 ± 17.2	94.41 ± 11.6	49.91 ± 1.6	112.85 ± 13.9	171.66 ± 9.9	176.58 ± 10.2	5.40 ± 0.5	834.76 ± 35.2	2421.79 ± 72.3	
K _p	0.39	0.22	0.61	0.40	0.27	0.80	2.1	2.5	0.3	—	—	
Поступление с атмосферными осадками и выщелачивание из крон деревьев, кг га ⁻¹ в год	5.18 ± 0.4	9.93 ± 1.6	0.28 ± 0.04	1.69 ± 0.2	1.43 ± 0.1	0.72 ± 0.1	0.07 ± 0.01	0.06 ± 0.01	1.39 ± 0.07	1.85 ± 0.2	22.6 ± 1.6	
Потоки элементов с почвенными водами за корнеобитаемый слой, кг га ⁻¹ в год	18.03 ± 3.6	1.24 ± 0.3	36.11 ± 9.1	3.91 ± 0.9	3.98 ± 1.3	0.22 ± 0.01	0.15 ± 0.03	0.19 ± 0.04	4.31 ± 0.8	3.64 ± 0.08	71.78 ± 5.1	

P (7.6). Скорость круговорота Na, N, Mg, Ca, Si, Mn и Al выше 10, Fe 100 лет (табл. 5).

Возврат минеральных элементов с растительным опадом в поверхность почвы старовозрастного ельника составляет 107 ± 17.4 кг га⁻¹. В спелых среднетаежных еловых сообществах разных типов, произрастающих на территории Республики Коми, с опадом за год возвращается от 79 до 115 кг га⁻¹ азота и зольных элементов (Арчегова и др., 1975; Бобкова, 1999; Бобкова и др., 2020). Из надземных органов древесных растений с опадом на поверхность почвы переходит 100 ± 16.3 кг га⁻¹ азота и зольных элементов. Большая часть элементов минерального питания на поверхность почвы поступает с листьями (хвоей) ели, сосны, березы. С опадом трав ежегодно в почву возвращается 11 ± 0.4 кг га⁻¹, с опадом мхов 6 ± 0.5 кг га⁻¹, с кустарничками и полукустарничками 2 ± 0.2 кг га⁻¹ элементов минерального питания. Ряд содержания минеральных элементов в опаде азотно-кальциево-кремниевый и располагается следующим образом: N > Ca > Si > K > Mg > P > Mn > Al > Fe > Na.

Скорость разложения опада. Поступающий на поверхность почвы растительный опад подвергается биологической трансформации (Holub et al., 2001). Отношение массы подстилки к массе опада (П/О) используют для оценки скорости разложения опада и высвобождения химических элементов. Чем выше соотношение массы подстилки к массе опада, тем слабее интенсивность биологического круговорота в экосистеме (Никонов, Лукина, 1994). В исследуемом старовозрастном ельнике П/О составляет 22.6, что свидетельствует о медленной деструкции растительных остатков в лесной подстилке (табл. 5). В течение года в процессе разложения растительного опада за год высвобождается 37 ± 1.4 кг га⁻¹ минеральных элементов, в том числе из растительных остатков березы 39.7%, ели — 18.2, сосны — 0.7, растений напочвенного покрова — 41.4%.

Процесс высвобождения зольных элементов из разлагающихся растительных остатков опада часто характеризуется коэффициентом разложения (Андреев, Пугачев, 1983). Согласно Н. В. Лукиной, В. В. Никонову (1996), поэлементный расчет с помощью Кр позволяет разделить элементы минерального питания на 3 группы: “балластные” — элементы достаточны на десятки и даже сотни лет; элементы высокой потребности, которых может хватить на несколько лет, и элементы исключительной потребности, которых недостаточно даже для формирования годичной продукции. К первой группе относят элементы $K_r > 1.5$, ко второй — $0.5 < K_r < 1.5$, к третьей — с $K_r < 0.5$. Согласно нашим расчетам, для долгомошно-сфагнового ельника элементы распределились следующим образом: 1 группа — Al, Fe, 2 группа — Si, Mn, 3 группа — Ca, K, Mg, P, Na. Следовательно, запасов Ca, K, Mg, P, Na в подстилке ельника

долгомошно-сфагнового хватает для длительного обеспечения растений. В годичном цикле биологического круговорота таких элементов, как Si, Mn, достаточно, а Al, Fe — в избытке. Следует отметить, что в процессе функционирования фитоценозов происходит непрерывное пополнение элементов минерального питания в почве: за счет поступления на ее поверхность опада, как было показано выше, миграции их из атмосферы (жидкие осадки + пыль) и выветривания. Показано, что с атмосферными осадками в результате выщелачивания элементов минерального питания из крон деревьев северо-таежного ельника поступает 18 кг га⁻¹ (Лукина, Никонов, 1996), а среднетаежного — 24 кг га⁻¹ (Бобкова и др., 2020) элементов питания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Годичный цикл круговорота веществ в старовозрастном ельнике на болотно-подзолистых почвах определяется в основном зелеными фракциями фитомассы, так как через листья (хвою), которые составляют большую часть прироста и опада, осуществляется обмен минеральными элементами в системе почва-растение. В этой системе обмен веществ совершается главным образом в органическом горизонте, где концентрируется основная масса физиологически активных корней. В коренном среднетаежном ельнике долгомошно-сфагновом на иллювиально-гумусово-железистом глееватом подзоле запасы растительного органического вещества составляют 163.43 т га⁻¹, из них в живых древесных растениях сосредоточено 98.0%. В фитомассе насаждения аккумулируется 1329.84 кг га⁻¹ N и зольных элементов. Наиболее интенсивным накоплением характеризуются N, Ca, K, доля которых в общем содержании элементов в массе органического вещества составляет 78.5%. На формирование годичной продукции (6 т га⁻¹) фитоценозом из почвы выносятся 136.18 кг га⁻¹ элементов минерального питания. Такие элементы, как N, K, Ca, Si, P и Mg, довольно активно потребляются растениями на формирование продукции фитомассы. В экосистеме старовозрастного ельника на полугидроморфных почвах расходная статья биологической миграции элементов питания, связанная с размером ежегодного прироста фитомассы, превалирует над приходной, обусловленной возвращением химических элементов с опадом. Возврат элементов питания с растительными остатками опада составляет 78.6%, потребляемых на прирост. Наряду с азотом фитоценоз энергично отчуждает Ca. Для данного ценоза характерен большой запас мортмассы (подстилка + КДО) — 79.11 т га⁻¹, в которой концентрируется 2443.06 кг га⁻¹ азота и зольных элементов со следующим распределением: N > Ca > Si > K > Mg > P > Mn > Al > Fe > Na. В среднетаежном старовозрастном ельнике долгомошно-сфагновом большие запасы химических

элементов в лесной подстилке создают гарантию его устойчивости. Основная роль в аккумуляции, потреблении и возврате с опадом химических элементов принадлежит древесостю. Атмосферная миграция — поступление химических элементов в еловый биогеоценоз из атмосферы (жидкие осадки + пыль) — за год составляет $1.85 \text{ кг га}^{-1} \text{ N}$ и 20.75 кг га^{-1} суммы зольных элементов. Элементы расположены в определенной последовательности по степени вымывания из древесостю: $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Na} > \text{Mn} > \text{Si} > \text{Al} > \text{Fe}$ и выщелачивания из лесной подстилки: $\text{N} > \text{Si} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{K} > \text{Mn} > \text{Al} > \text{Fe} > \text{Na}$. Вынос элементов питания за пределы корнеобитаемого слоя (0–40 см) с поверхностными водами составляет 71.78 кг га^{-1} . Большой скоростью биологического оборота (лет) отмечаются органогенные элементы питания — калий (4.5) и фосфор (7.6). Скорость круговорота остальных элементов минерального питания исчисляются десятками лет. В целом в соответствии с классификацией Л.Е. Родина, Н.П. Базилевич (1965) круговорот элементов в системе почва–фитоценоз в ельнике старовозрастном долгомошно-сфагновом может быть охарактеризован как азотно-калиево-кальциевый, низкозольный, малопродуктивный, сильнозаторможенный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Д.П., Пугачев А.А. Трансформация растительного опада в почвах Охотской горной провинции // Экология. 1983. № 2. С. 8–13.
- Андреанова О.В. Особенности биологического круговорота химических элементов в елово-пихтовых лесах Республики Марий Эл: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.32. Йошкар-ола: Марийский государственный университет, 2001. 161 с.
- Арчегова И.Б., Заболоцкая Т.Г., Кононеко А.В., Русанова Г.В., Слобода А.В., Юдинцева И.И. Продуктивность и круговорот элементов в фитоценозах Севера. Л.: Наука, Ленинградское отделение, 1975. 130 с.
- Атлас Коми АССР. М.: ГУГК, 1964. 112 с.
- Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г. В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой. Сыктывкар: КРТ, 2010. 365 с.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.
- Бобкова К.С. Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в заболоченных коренных ельниках Севера // Лесоведение. 2007. № 6. С. 45–54.
- Бобкова К.С. Биологическая продуктивность лесов // Леса Республики Коми. М.: Дизайн. Информация. Картография, 1999. С. 40–54.
- Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
- Бобкова К.С., Лиханова Н.В. Вынос углерода и элементов минерального питания при сплошнолесосечных рубках ельников средней тайги // Лесоведение. 2012. № 6. С. 44–54. DOI: 10.1134/S1995425512070037
- Бобкова К.С., Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В. Круговорот элементов минерального питания в экосистеме коренного разнотравно-черничного ельника средней тайги (Республика Коми) // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 40–54. DOI: 10.15372/SJFS20200205
- Вакуров А.Д., Полякова А.Ф. Круговорот азота и минеральных элементов в низкопродуктивных ельниках северной тайги // Круговорот химических веществ в лесу. М.: Наука, 1982. С. 20–43.
- Ведрова Э.Ф. Разложение органического вещества лесных подстилок // Почвоведение. 1997. № 2. С. 216–223.
- Гришина Л.А. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании: курс лекций. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. 128 с.
- Грозовская И.С., Ханина Л.Г., Смирнов В.Э., Бобровский М.В., Романов М.С., Глухова Е.М. Биомасса напочвенного покрова в еловых лесах Костромской области // Лесоведение. 2015. № 1. С. 63–76.
- Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1975. 344 с.
- Казимиров Н.И., Морозова Р.М. Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 176 с.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Пройслер Т., Кеннел М., Гитл Г., Гончарук Н.Ю., Минаева Т.Ю. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков // Лесоведение. 1998. № 1. С. 50–60.
- Комаров А.С., Чертов О.Г., Михайлов А.В., Быховец С.С., Зудин С.Л., Надпорожская М.А., Зубкова Е.В., Абакумов Е.В. и др. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М.: Наука, 2007. 408 с.
- Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР. Архангельск: АИЛИЛХ, 1986. 357 с.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с. Ч. 2. 192 с.
- Манаков К.Н., Никонов В.В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л.: Наука, 1981. 196 с.
- Матвеев А.М., Матвеева Т.А. Задержание осадков кронами древесных пород // Успехи современного естествознания. 2014. № 5 (ч. 1). С. 220–223.
- Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 182 с.
- Морозова Р.М., Куликова В.К. Роль атмосферных осадков в круговороте азота и зольных элементов в еловых лесах Карелии // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1974. С. 143–149.
- Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: КНЦ РАН, 1994. 315 с.
- Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
- Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможностей учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 16. С. 64–69.
- Паршевников А.Л. Биологический круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги // Типы леса и почвы северной части Вологодской области. Тр. Института леса и древесины СО АН СССР, 1962. Т. 52. С. 196–209.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

- Ремезов Н.П., Быкова Л.Н., Смирнова К.М. Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР. М.: Издательство Моск. ун-та, 1959. 284 с.
- Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги // Геохимия. 2013. № 1. С. 72–83.
- Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В., Бобкова К.С. Химический состав снеговых вод под пологом старовозрастных еловых древостоев средней тайги Республики Коми // Лесоведение. 2015. № 6. С. 458–469.
- Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.—Л.: Наука, 1965. 253 с.
- Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: АН СССР, 1968. 144 с.
- Руднева Е.Н., Тонконогов В.Д., Дорохова К.Я. Круговорот зольных элементов и азота в ельнике-зеленомошнике северной тайги бассейна р. Мезень // Почвоведение. 1996. № 3. С. 14–26.
- Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 635 с.
- Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов (методы изучения и результаты) // Итоги науки и техники. Лесоведение и лесоводство. Т. 1. М.: ВИНТИ, 1975. С. 9–189.
- Ушакова Г.И. Биогеохимическая миграция элементов и почвообразование в лесах Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 150 с.
- Федоров С.Ф. Исследование элементов водного баланса в лесной зоне Европейской территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 264 с.
- Chertov O.G., Komarov A.S., Nadporozhskaya M., Bykhovets S.S., Zudin S.L. ROMUL — a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modeling. Ecological Modelling. 2001. V. 138. № 1–3. P. 289–308.
- Dahlman K.C., Kuceera C.L. Root Productivity and Turnover in Native Prairie // Ecology. 1965. V. 46. P. 40–48.
- Filipiak M. Nutrient Dynamics in Decomposing Dead Wood in the Context of Wood Eater Requirement: The Ecological Stoichiometry of Saproxylophagous Insects // Saproxylic Insects. 2018. P. 429–469.
DOI: 10.1007 / 978-3-319-75937-1_13
- Heath G.W., Edwards C.A., Arnold M.K. Some methods for assessing the activity of soil animals in the breakdown of leaves // Pedobiologia. 1964. V. 4. № 1–2. P. 80–87.
- Holub S.M., Lajtha K, Spears J.D.H. A reanalysis of nutrient dynamics in coniferous coarse woody debris // Canadian Journal of Forest Research. 2001. V. 31. P. 1894–1902.
DOI: 10.1139/x01-125
- Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L., Nadporozhskaya M.A., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S., Zudina E.V., Zoubkova E.V. EFIMOD2 — a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems. Ecological Modelling. 2003. V. 170. № 2–3. P. 373–392.
- Lindroos A.-J., Derome J., Derome K., Niska K. “Deposition,” in Forest Condition Monitoring in Finland (National Report 1999): The Finnish Forest Research Institute, research papers. № 782. 2000. P. 61–69.

The Nutrient Cycle in Indigenous Polytritic-Sphagnum Spruce Forests of Komi Republic

K. S. Bobkova^{1, *}, N. V. Likhanova²

¹*Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch of the RAS, Kommunisticheskaya st. 28, Syktyvkar, 167982, Russian Federation*

²*Botanical garden of Syktyvkar State University, Oktyabrsky ave. 55, Syktyvkar, Komi Republic, 167001 Russian Federation*

*E-mail: bobkova@ib.komisc.ru

The paper presents materials that showcase the local cycle of chemical elements in the soil-phytocenosis system of a mature middle taiga polytritic-sphagnum spruce forest on hydromorphic podzolic soils. The structure of organic and mineral matter of plants of different tiers is also presented here. The work also provides a concept for the nitrogen and ash elements migration in the process of phytomass forming and their influx with plant litter. The main role in the structural composition of annual production of organic matter and litter in the ecosystem of an old-growth spruce forest is played by the forest stand. It was established that 1329.84 kg ha⁻¹ of mineral nutrition elements accumulate in plant phytomass. N, Ca, and K are characterized by a greater accumulation capacity. Spruce forest plants remove 136.18 kg ha⁻¹ of mineral nutrition elements from soils with annual production. With annual litter, 107.00 kg ha⁻¹ of nitrogen and ash elements get back to the soil, of which 37.0 kg ha⁻¹ are released in the process of plant litter destruction. The main accumulator of nutrients is the organic soil horizon, where 2421.79 kg ha⁻¹ of chemical elements are concentrated. With atmospheric precipitation, 22.6 kg ha⁻¹ of nitrogen and ash elements enter the soil during the year. It has been shown that the rate of mineral elements leaching beyond the root layer (0–40 cm) with surface waters is 71.78 kg ha⁻¹ per year.

Keywords: North of Russia, middle taiga, spruce forest, phytomass, production, litter, nitrogen, ash elements, elements cycle, atmospheric precipitation, soil water.

REFERENCES

- Andreev D.P., Pugachev A.A., Transformatsiya rastitel'no opada v pochvakh Okhotskoi gornoj provintsii (Transformation of plant litter in the soils of the Okhotsk mountain province), *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 1983, No. 2, pp. 8–13.
- Andrianova O.V., *Osobennosti biologicheskogo krugovorota khimicheskikh elementov v elovo-pikhtovykh lesakh Respubliki Marii El. Diss. kand. biol. nauk* (Features of the biological cycle of chemical elements in spruce-fir forests of the Republic of Mari El. Candidate's biol. sci. thesis), Yoshkar Ola: Mariiskii gosudarstvennyi universitet, 2001, 161 p.
- Arhegova I.B., Zabolotskaya T.G., Kononeko A.V., Rusanova G.V., Sloboda A.V., Yudinseva I.I., *Produktivnost' i krugovorot elementov v fitotsenozakh Severa* (Productivity and cycle of elements in the phytocenoses of the North), Leningrad: Nauka, Leningradskoe otdelenie, 1975, 130 p.
- Atlas Komi ASSR* (Atlas of Komi Autonomous Soviet Socialist Republic), Moscow: GUGK, 1964, 112 p.
- Atlas pochv Respubliki Komi* (Soil atlas of the Komi Republic), Syktyvkar: KRT, 2010, 365 p.
- Bazilevich N.I., Titlyanova A.A., Bioticheskie krugovory na pyati kontinentakh: azot i zol'nye elementy v prirodnykh nazemnykh ekosistemakh (Biotic turnover on five continents: element exchange processes in terrestrial natural ecosystems), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008, 380 p.
- Bobkova K.S., Biologicheskaya produktivnost' i komponenty balansa ugleroda v zabolochennykh korennykh el'nikakh Severa (The biological productivity and components of the carbon budget in waterlogged native spruce forests in the North), *Lesovedenie*, 2007, No. 6, pp. 45–54.
- Bobkova K.S., *Biologicheskaya produktivnost' khvoinykh lesov evropejskogo Severo-Vostoka* (Biological productivity of coniferous forests of European North-East), Leningrad: Nauka, 1987, 156 p.
- Bobkova K.S., Biologicheskaya produktivnost' lesov (Bioproductivity of forests), In: *Lesy Respubliki Komi* (Forests of the Komi Republic), Moscow: Dizain. Informatsiya. Kartografiya, 1999, pp. 40–54.
- Bobkova K.S., Likhanova N.V., Removal of carbon and mineral nutrients upon clear felling of spruce forests in the middle taiga (Losses of carbon and mineral nutrients in clear cuttings of spruce forests in the Middle Taiga), *Contemporary Problems of Ecology*, 2012, Vol. 5, No. 7, pp. 633–644.
- Bobkova K.S., Robakidze E.A., Torlopova N.V., Krugovorot elementov mineral'nogo pitaniya v ekosisteme korenno raznotravno-chernichnogo el'nika srednei taigi (Respublika Komi) (Turnover of mineral elements in the ecosystem of native herbaceous-bilberry spruce forest in the middle taiga subzone (Komi Republic)), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2020, No. 2, pp. 40–54. DOI: 10.15372/SJFS20200205
- Chertov O.G., Komarov A.S., Nadporozhskaya M., Bykhovets S.S., Zudin S.L., ROMUL — a model of forest soil organic matter dynamics as a substantial tool for forest ecosystem modeling, *Ecological Modelling*, 2001, Vol. 138, No. 1–3, pp. 289–308.
- Dahlman K.C., Kuceera C.L., Root Productivity and Turnover in Native Prairie, *Ecology*, 1965, Vol. 46, pp. 40–48.
- Fedorov S.F., *Issledovanie elementov vodnogo balansa v lesnoi zone Evropejskoi territorii SSSR* (Study of water balance elements in the forest zone of the European territory of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, 264 p.
- Filipiak M., Nutrient Dynamics in Decomposing Dead Wood in the Context of Wood Eater Requirement: The Ecological Stoichiometry of Saprophytrophagous Insects, In: *Saprophytic Insects*, 2018, pp. 429–469. DOI: 10.1007 / 978-3-319-75937-1_13
- Grishina L.A., Biologicheskii krugovorot i ego rol' v pochvoobrazovanii (Biological cycle: the role in soil formation), Moscow: Izd-vo MGU, 1974, 128 p.
- Grozovskaya I.S., Khanina L.G., Smirnov V.E., Bobrovskii M.V., Romanov M.S., Glukhova E.M., Biomassa napochvennogo pokrova v elovykh lesakh Kostromskoi oblasti (The ground cover biomass of a spruce forest in Kostroma oblast), *Lesovedenie*, 2015, No. 1, pp. 63–76.
- Heath G.W., Edwards C.A., Arnold M.K., Some methods for assessing the activity of soil animals in the breakdown of leaves, *Pedobiologia*, 1964, Vol. 4, No. 1–2, pp. 80–87.
- Holub S.M., Lajtha K., Spears J.D.H., A reanalysis of nutrient dynamics in coniferous coarse woody debris, *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, Vol. 31, pp. 1894–1902. DOI: 10.1139/x01-125
- Karpachevskii L.O., Zubkova T.A., Proisler T., Kennel M., Gitl G., Gorcharuk N.Y., Minaeva T.Y., Vozdeistvie pologa el'nika slozhnogo na khimicheskii sostav osadkov (Effect of compound spruce canopy on the chemical composition of sediments), *Lesovedenie*, 1998, No. 1, pp. 50–59.
- Kazimirov N.I., Morozova R.M., *Biologicheskii krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii* (Biological cycle of matter in the spruce forests of Karelia), Leningrad: Nauka, 1973, 175 p.
- Komarov A.S., Chertov O.G., Nadporozhskaya A.S., Pripitina I.V., Modelirovanie dinamiki organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh (Modeling the dynamics of organic matter in forest ecosystems), Moscow: Nauka, 2007, 380 p.
- Komarov A.S., Chertov O.G., Zudin S.L., Nadporozhskaya M.A., Mikhailov A.V., Bykhovets S.S., Zudina E.V., Zoubkova E.V., EFIMOD2 — a model of growth and cycling of elements in boreal forest ecosystems, *Ecological Modelling*, 2003, Vol. 170, No. 2–3, pp. 373–392.
- Lesotaksatsionnyi spravochnik dlya Severo-Vostoka evropejskoi chasti SSSR (normativnye materialy dlya Arkhangel'skoi, Vologodskoi oblastei i Komi ASSR)* (Reference book on forest taxation for the northeast of the European part of the USSR (standard manual for Arkhangelsk, Vologda Oblasts and Komi ASSR)), Arkhangelsk: Izd-vo AILILKh, 1986, 358 p.
- Lindroos A.-J., Derome J., Derome K., Niska K., "Deposition" in Forest Condition Monitoring in Finland (National Report 1999), The Finnish Forest Research Institute, research papers, No. 782, 2000, pp. 61–69.
- Lukina N.V., Nikonov V.V., Biogeokhimicheskie tsikly v lesakh Severa v usloviyakh aerotekhnogennoho zagryazneniya (Biogeochemical cycles in the Northern forests subjected to air pollution), Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 1996, Part 1, 213 p., Part 2, 192 p.
- Manakov K.N., Nikonov V.V., Biologicheskii krugovorot mineral'nykh elementov i pochvoobrazovanie v el'nikakh Krainego Severa (Biologic cycle of mineral elements and pedogenesis in spruce forest of the High Arctic), Leningrad: Nauka, 1981, 196 p.
- Matveev A.M., Matveeva T.A., Zaderzhanie osadkov kromami drevesnykh porod (Sediment retention by tree crowns), *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2014, No. 5, (Part 1), pp. 220–223.

- Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichnykh prirodnykh zonakh* (Methods for studying the biological cycle in various natural zones), Moscow: Mysl', 1978, 183 p.
- Morozova R.M., Kulikova V.K., Rol' atmosferynykh osadkov v krugovorote azota i zol'nykh elementov v elovykh lesakh Karelii (The role of atmospheric precipitation in the cycle of nitrogen and ash elements in the spruce forests of Karelia), *Pochvennye issledovaniya v Karelii*, 1974, pp. 143–149.
- Nikonov V.V., Lukina N.V., Biogeokhimicheskie funktsii lesov na severnom predele rasprostraneniya (Biogeochemical functions of forest on the northern limit), Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 1994, 315 p.
- Odum E.P., *Fundamentals of Ecology*, Moscow: Mir, 1975, 740 p.
- Orlova A.Y., Metod opredeleniya massy kornei derev'ev v lesu i vozmozhnostei ucheta godichnogo prirosta organicheskoi massy v tolshche lesnoi pochvy (Method for determining the mass of tree roots in the forest and the possibility of taking into account the annual increase in organic mass in the forest soil), *Lesovedenie*, 1967, No. 16, pp. 64–69.
- Parshevnikov A.L., Biologicheskii krugovorot azota i zol'nykh elementov v svyazi so smenoi porod v lesakh srednei taigi (Cycles of nitrogen and mineral constituents associated to change of species in forests of middle taiga), In: *Tipy lesa i pochvy severnoi chasti Vologodskoi oblasti* (Forest types and soils of the northern Vologda Oblast), Moscow–Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1962, pp. 196–209 (292 p.).
- Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field guide to soils of Russia), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.
- Remezov N.P., Bykova L.N., Smirnova K.M., Potreblenie i krugovorot azota i zol'nykh elementov v lesakh Evropeiskoi chasti SSSR (Consumption and cycling of nitrogen and mineral constituents in forests of European part of the USSR), Moscow: Izd-vo MGU, 1959, 284 p.
- Robakidze E.A., Torlopova N.V., Bobkova K.S., Chemical composition of wet precipitation in old-growth middle taiga spruce stand, *Geochemistry International*, 2013, Vol. 51, No. 1, pp. 65–75.
- Robakidze E.A., Torlopova N.V., Bobkova K.S., Khimicheskii sostav snegovykh vod pod pologom starovozrastnykh elovykh drevostoev srednei taigi Respubliki Komi (Chemical composition of snow melt under the old-growth spruce stands in the typical taiga of Komi Republic), *Lesovedenie*, 2015, No. 6, pp. 458–469.
- Rodin L.E., Bazilevich N.I., Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskii krugovorot zol'nykh elementov i azota v osnovnykh tipakh rastitel'nosti zemnogo shara (Organic matter dynamics and biogeochemical cycles of mineral constituents and nitrogen across the dominant vegetation types around the world), Moscow–Leningrad: Nauka, 1965, 253 p.
- Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I., Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh (Methodic guidelines to studies of dynamics of biological cycle in phytocoenoses), Leningrad: Nauka, 1967, 143 p.
- Rudneva E.N., Tonkonogov V.D., Dorokhova K.Y., Krugovorot zol'nykh elementov i azota v el'nike-zelenomoshnike severnoi taigi basseina r. Mezen' (Cycle of ash elements and nitrogen in the spruce-green moss forest of the northern taiga of the Mezen River basin), *Pochvovedenie*, 1996, No. 3, pp. 14–26.
- Ushakova G.I., Biogeokhimicheskaya migratsiya elementov i pochvoobrazovanie v lesakh Kol'skogo poluostrova (Biogeochemical migration of elements and soil formation in forests of the Kola Peninsula), Apatity: KNTs RAN, 1997, 150 p.
- Usol'tsev V.A., Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoi Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya (Biological production of the forests of Northern Eurasia: methods, database and applications), Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2007, 636 p.
- Utkin A.I., Biologicheskaya produktivnost' lesov (metody izucheniya i rezul'taty) (Bioproductivity in forests: methods and results of study), Moscow: Izd-vo VINITI, 1975, 190 p.
- Vakurov A.D., Polyakova A.F., Krugovorot azota i mineral'nykh elementov v nizkoproduktivnykh el'nikakh severnoi taigi (Cycle of nitrogen and mineral elements in low-productive spruce forests of the northern taiga), In: *Krugovorot khimicheskikh veshchestv v lesu* (Cycle of chemical substances in the forest), Moscow: Nauka, 1982, pp. 20–43.
- Vedrova E.F., Organic matter decomposition in forest litters, *Eurasian soil science*, 1997, Vol. 30, No. 2, pp. 216–223.
- Zaboeva I.V., Pochvy i zemel'nye resursy Komi ASSR (Soils and land resources of Komi ASSR), Syktyvkar: Komi knizhnoe izd-vo, 1975, 344 p.

УДК 630*884+630*114.6+630*884/845+630*181.9

БАЛАНС БИОМАССЫ ДРЕВЕСНЫХ ФРАКЦИЙ КОРЕННЫХ ЕЛЬНИКОВ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

© 2024 г. В. Г. Стороженко^{а, *}

^аИнститут лесоведения РАН,

ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Одинцовский р-он, Московская обл., Россия 143030

*E-mail: lesoved@mail.ru

Поступила в редакцию 28.06.2022 г.

После доработки 02.08.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Изучение структурных особенностей древесных фракций коренных девственных лесов тайги позволяет оценить балансовый процесс накопления и разложения древесной биомассы в лесных сообществах. Цель исследований — на примере лесов еловых формаций европейской тайги изучить процессы и организмы, участвующие в формировании баланса биомассы древесных фракций коренных разновозрастных биогеоценозов различных динамических характеристик. Объекты исследований располагались в массивах еловых лесов северной, средней и южной тайги Европейской России. На постоянных пробных площадях (ППП) определялись диаметры стволов и возраст деревьев, строились возрастные ряды по возрастным поколениям, вычислялись объемы деревьев, древостоев и древесного отпада. В возрастных поколениях возрастных рядов и древостоев в целом определялась пораженность дереворазрушающими грибами (ДРГ) биотрофного и ксилотрофного комплексов гнилевыми фаунами деревьев. Коренные ельники тайги имеют сложное абсолютно разновозрастное строение, но различаются по объемам и пораженности деревьев ДРГ биотрофного комплекса в возрастных поколениях возрастных рядов и древостоев в целом, что определяет различное фазовое положение биогеоценозов. Тенденция увеличения пораженности деревьев в возрастных поколениях от младших к старшим возрастам трактуется как закономерность. Для расчета баланса биомассы древесных фракций лесного биогеоценоза необходимо соединить в едином временном процессе древесные фракции древостоя и древесного отпада — валежа и текущего древесного отпада (ТДО). Основным фактором формирования баланса биомассы елового сообщества является скорость процессов накопления и разложения древесины. В коренных разновозрастных ельниках таежной зоны скорость процесса ксилотрофного разложения древесины древесного отпада ДРГ в несколько раз выше скорости накопления биомассы древостоем. Баланс интенсивности процессов накопления и разложения биомассы представляется как балансовый коэффициент (БК) биомассы древесных фракций елового сообщества, показывающего, во сколько раз скорость процесса разложения древесного отпада грибами ксилотрофного комплекса превосходит скорость процесса накопления биомассы живой части древостоя. ДРГ ксилотрофного комплекса, обладая огромной ксилотрофической активностью, осуществляют разложение древесного отпада со скоростью, превосходящей скорость накопления древесной биомассы фитоценозом, тем самым подерживая баланс биомассы лесного сообщества и его устойчивость.

Ключевые слова: коренные ельники, структуры биогеоценозов, дереворазрушающие грибы, баланс биомассы древесных фракций.

DOI: 10.31857/S0024114824010022, EDN: SMHSDA

Ход развития коренного девственного разновозрастного лесного сообщества представляется как эволюционно упорядоченный, сбалансированный по объемным показателям процесс воспроизводства и отмирания живой материи в едином организме. На каждом временном этапе онтогенеза лесного сообщества одновременно с процессом накопления биомассы протекает процесс ее отпада и разложения. Понятно, что любому лесному сообществу в жестких природных условиях достичь идеального баланса процессов накопления

и разложения биомассы практически невозможно из-за постоянного воздействия различных дестабилизирующих его структуры и консортивные связи абиотических и биотических факторов. Тем не менее при анализе экспериментальных данных структур коренных биогеоценозов различных динамических состояний баланс процессов накопления и разложения биомассы древесных фракций явно прослеживается (Стороженко, 2007). В свою очередь, этот баланс формируется различиями временных периодов (скоростью) накопления

биомассы в процессе построения возрастных рядов древостоев и скоростью разложения древесного отпада.

В осуществлении этого процесса огромную роль играют гетеротрофные организмы, в частности — дереворазрушающие грибы, осуществляющие первичное разложение древесины как живых деревьев дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса, так и древесного отпада ДРГ ксилотрофного комплекса (Illman et al., 1989; Стороженко, 1990; Tagasov, Birdsey, 2001; Yatskov et al., 2003; Стороженко, 2012; Стороженко и др., 2018; Шорохова, 2018; и др.). Соотношение временных периодов (скоростей) обоих процессов может достигать 4–6-кратных значений, то есть динамика накопления древесной биомассы протекает в 4–6 раз медленнее, нежели ее разложение комплексами дереворазрушающих грибов порядков *Aphyllphorales* и *Agaricals* и грибов других группировок, сменяющих друг друга в процессе разложения древесного отпада до состояния гумуса почвы, а также организмами других таксономических групп.

Теория баланса биомассы в устойчивом лесу обоснована и принята лесным сообществом довольно давно (Морозов, 1928; Clements, 1936; Selleck, 1960; Корчагин, 1976; Дыренков, 1984; Восточноевропейские леса..., 2004; и др.), но до сих пор подвергается обсуждению (Стороженко и др., 2018; Шорохова, 2020) и в практическом экспериментальном оформлении до сих пор полностью не разработана. Не совсем понятен алгоритм формирования баланса биомассы древесных фракций коренных биогеоценозов. Не обозначена роль гетеротрофных организмов, участвующих в формировании этого процесса, не определены временные периоды формирования баланса биомассы в динамике биогеоценозов, не представлены в цифровых и объемных показателях физические величины этого процесса, далеко не завершены исследования по запасам древесного отпада (детрита) в лесах различного происхождения и его значение в оценке полного углеродного баланса (Усольцев, 2001; Усольцев, 2007; Шорохова, 2020; Стороженко, 2022; и др.).

Для экспериментальных исследований приняты леса еловых формаций как наиболее отвечающие целям изучения сложных в структурном отношении лесных сообществ различных динамических характеристик.

Цель работы — на примере лесов еловых формаций таежной зоны Европейской России изучить процессы и организмы, участвующие в формировании баланса биомассы древесных фракций коренных разновозрастных биогеоценозов различных динамических характеристик.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

В качестве объектов исследований рассмотрены эволюционные формирования подзон северной, средней и южной тайги Европейской России, не затронутые никакими антропогенными воздействиями различных динамических показателей. В регионе северной тайги — ельники Национального парка “Паанаярви” Республики Карелии (П) (66°39'45"; 30°32'37") и Северодвинского лесничества Архангельской обл. (А) (64°49'91"66; 39°83'82"41); средней тайги — ельники резервата “Вепский лес” Ленинградская обл. (Л) (60°64'70"25; 34°72'10"37) и ельники урочища “Атлека” Андомского лесничества Вологодской обл. (В) (61°30'45"82; 36°80'83"53); южной тайги — ельники заповедника “Кологривский лес” Костромской обл. (К) (58°86'02"40; 43°84'07"90) и Центрально-Лесного биосферного заповедника Тверской обл. (Ц) (56°45'88"40; 32°96'71"30). Маршрутными обследованиями выделялись участки лесов, отвечающие условиям коренных девственных ельников, типичных для ели наиболее производительных условий роста. Закладывались ППП различной величины от 0.3 до 0.6 га, включающие не менее 100–120 деревьев коренной эдификаторной породы — ели. Проводился учет и сплошная нумерация деревьев, начиная с диаметра 6 см на высоте груди, определялось их состояние (Правила..., 2020). Для определения возраста деревьев и присутствия гнилевых фаутов осуществлялось бурение стволов возрастным буром Пресслера у шейки корня. На ППП и в окрестных ельниках проводился сбор плодовых тел дереворазрушающих грибов биотрофного комплекса, поражающих живые деревья ели, и ксилотрофного комплекса, разлагающих древесный отпад. На ППП проводился учет стволов древесного отпада (валежа) с измерением их диаметров, длины и определением стадии разложения (Стороженко, 1990). В камеральный период по собранным образцам авторами, д.б.н. М. А. Бондарцевой и к.б.н. В. М. Котковой (БИН РАН), идентифицировались виды ДРГ (Storozhenko., Vondartseva, 1997; Стороженко, Коткова, 2013; Стороженко и др. 2014). Вычислялись объемы деревьев в составе древостоев и древесного отпада по таблицам объемов стволов (Третьяков и др., 1952). Строились возрастные ряды древостоев, определялась величина пораженности деревьев дереворазрушающими грибами в возрастных поколениях возрастных рядов и в целом древостоев (Стороженко, 2011). По структуре возрастных рядов и объемам деревьев в возрастных поколениях определялось динамическое положение биогеоценозов — демулационное, дигрессивное, климаксное (Дыренков, 1984; Стороженко, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важным условием достоверности получаемых в ходе исследований результатов является оптимальный выбор участков для закладки ППП, абсолютно отвечающих условиям коренных разновозрастных лесных сообществ эволюционного формирования без всяких признаков антропогенных воздействий. Эти условия тщательно соблюдались. В табл. 1 приведены краткие лесоводственные описания принятых для анализа биогеоценозов.

Представленные ельники отвечают типичным для каждой подзоны тайги показателям основных лесоводственных характеристик. Все они имеют сложное абсолютно разновозрастное вертикальное строение, но различаются по длине возрастных рядов, объемам деревьев в возрастных поколениях, пораженности деревьев в возрастных поколениях возрастных рядов и в целом древостоев ДРГ биотрофного комплекса. Структура возрастных рядов определяет различное фазовое положение биогеоценозов — от демулационных до климаксовых и дигрессивных (табл. 2).

По содержанию табл. 2 можно сделать некоторые выводы. Распределение деревьев по возрастным поколениям возрастных рядов во всех биогеоценозах определяет их как абсолютно разновозрастные сообщества различных динамических показателей. Ельники Архангельска, Вологодской обл. уверенно можно отнести к сообществам дигрессивных фаз динамики, имеющих преобладание

объемов деревьев в возрастных поколениях старше среднего возраста древостоев.

Ельники Карелии и Кологрива также можно отнести к сообществам дигрессивных фаз динамики, к которым они приблизятся в недалекой перспективе, примерно через 40 лет. Более всего это относится к ельнику Кологрива, у которого сумма объемов деревьев трех первых поколений составляет 57.7% от запаса древостоя. В настоящее время они находятся в последней стадии перехода от климакса к дигрессии. Несколько необычную структуру возрастного ряда имеет биогеоценоз “Вепсского леса”, в котором примерно 160 лет в ретроспективе выпали почти все деревья этого поколения. В настоящее время он характеризуется редкой для разновозрастных ельников прерывисто разновозрастной структурой демулационно-дигрессивной фазы динамики. Ельник Центрально-Лесного государственного заповедника, находящийся в фазе демулации, напротив, через 40 лет должен войти в фазу климакса, и по динамической характеристике его можно отнести к демулационно-климаксовой фазе.

Можно также заметить, что наивысшие показатели пораженности древостоев в целом характерны для ельников дигрессивных и близких к ним фаз динамики — Архангельска и Кологрива. Еще раз подтверждается отмеченная ранее уверенная тенденция увеличения пораженности деревьев в возрастных поколениях от младших к старшим возрастам, характеризующаяся коэффициентом корреляции — $r = 0.91$ при $m_r = 0.28$ и $t = 45.2$, которая трактуется как закономерность (Стороженко, 2007).

Таблица 1. Лесоводственные характеристики коренных ельников по подзонам тайги Европейской России

Регион	Состав, тип леса	Запас, $m^3/га^{-1}$	Бонитет	Полнота	Подрост	Подлесок	Покров	Средняя высота	Средний диаметр	Средний возраст
Северная тайга										
А	8Е1Б1С, чер-мш	122.7	V	0.6	Е, С, Б	Рб, Мж, Б	Чер, бр, мхи, лиш	10.0	8.5	222
П	10Е+С, Б, бр-чер	112.3	IV	0.6	Е, Б, С.	Рб, Мж, Ив	Чер, бр, мхи	9.0	15.0	177
Средняя тайга										
Л	10Е+Ос, кис-май	306.4	II	0.8	Е, Ос	Рб, Мж, Б	Кис, май, мхи, пап	14.3	19.7	121
В	8Е1Б1Ос, кис-чер	348.2	II	0.7	Е, Б	Рб, Мж, Б	Кис, чер, бр, мхи	17.0	27.8	196
Южная тайга										
К	10Е+Б, Пх, кис-чер	438.8	I	0.8	Е, Лп, Б, Пх	Рб, Мж	Чер, кис, пап, ос	18.8	20.7	128
Ц	8Е2Ос + Б, чер-бр-пап	408.8	I	0.8	Е, Б	Рб, Мж, Б	Чер, бр, кис, пап	19.1	26.1	140

Обозначения. Регионы: П — Республика Карелия (Нац. парк “Паанаярви”); А — Архангельская обл. (Северодвинское лесничество); Л — Ленинградская обл. (резерват “Вепсский лес”); В — Вологодская обл. (Андомское лесничество, урочище “Атлека”); К — Костромская обл. (заповедник “Кологривский лес”); Ц — Тверская обл., (Центрально-Лесной биосферный государственный заповедник).

Примечание. Запас древостоя включает деревья всех категорий состояния, в том числе усыхающие, свежий и старый сухостой, относящиеся к текущему древесному отпаду.

Таблица 2. Возрастная структура и пораженность ДРГ анализируемых ельников таежной зоны

Регион	Запас, м ³ /га ⁻¹	Распределение деревьев по возрастным поколениям: числитель — объемы, м ³ /га ⁻¹ ; знаменатель — пораженность ДРГ, %										Пораженность древостоя в целом, %	Фаза динамики	
		До 40	41–80	81–120	121–160	161–200	201–240	241–280	281–320	321–360	361–400			
Северная тайга														
А	122.7	ПДР	6.1 13.3	3.8 15.7	15.5 39.3	7.6 42.8	30.3 70.5	22.4 50.0	12.1 76.9	24.9 63.1	42.6	Дг		
П	112.3	ПДР	1.9 16.6	8.3 21.4	44.0 20.8	57.0 20.0	1.1 30.3	—	—	—	17.2	Кл-Дг		
Средняя тайга														
Л	306.4	ПДР	18.1 9.0	150.0 7.3	33.1 23.5	17.1 40.0	37.7 44.4	49.2 38.4	—	—	18.6	Дм-Дг		
В	348.2	ПДР	1.0 0	4.4 6.0	6.4 9.0	43.2 10.0	176.6 17.0	104.0 29.0	—	—	15.2	Дг		
Южная тайга														
К	438.8	ПДР	16.7 18.1	40.3 26.8	89.9 32.2	114.3 58.3	113.7 46.6	25.5 53.3	—	—	30.8	Кл-Дг		
Ц	408.8	ПДР	3.8 15.6	120.7 20.9	117.0 18.9	75.3 9.1	27.0 66.0	—	—	—	18.5	Дм-Кл		

Обозначения. ПДР — подрост. Фаза динамики: Дм — демуляция; Дг — дигрессия; Кл — климакс.

Примечание. Запас древостоя включает деревья всех категорий состояния, в том числе усыхающие, свежий и старый сухой, относящиеся к текущему древостому отпаду.

Объясняется этот факт тем, что в предельных для ели возрастных поколениях присутствуют деревья физиологически ослабленные, теряющие жизнеспособность, как правило, пораженные дереворазрушающими грибами биотрофного комплекса, задача которых — освободить место для появления новых поколений в структуре лесного биогеоценоза. Незначительные уровни пораженности древостоя в урочище “Атлека” Вологодской обл., находящегося также в фазе дигрессии, можно объяснить только очень благоприятными для ели условиями произрастания или одним из исключений, которые всегда могут встречаться в функционировании лесных сообществ.

Выше показаны характеристики объемов деревьев в возрастных рядах коренных ельников древесной фракции фитоценозов анализируемых ельников.

Для определения балансовых показателей воспроизводимой и разлагаемой биомассы биогеоценозов необходимо определить также в объемных величинах параметры фракций древесного отпада из состава валежа и текущего древесного отпада, относящегося к мортценозу (табл. 3).

Из данных табл. 3 можно видеть, что объемы валежа в некоторых биогеоценозах могут составлять более половины запаса древостоя. Например, в ельнике Кологрива (К) большие объемы деревьев трех первых поколений (табл. 2) согласуются с большими объемами древесного отпада (валеж + ТДО) и составляют 60.7% от запаса древостоя. Можно заметить, что такие величины относятся к ельникам климаксово-дигрессивных фаз динамики, то есть к сообществам с повышенными объемами усыхающих и усохших деревьев в составе древостоев (ТДО). Для лесов искусственного происхождения, особенно регулярных посадок, такие величины ТДО определяют необходимость проведения санитарных рубок, но для коренных разновозрастных лесов они отвечают нормальной динамике развития биогеоценоза.

Баланс биомассы древесных фракций предположительно можно рассчитывать двумя методами: во-первых, по процентному соотношению величин текущего прироста древостоев и текущего разложения древесного отпада. В том случае, когда эти величины имеют близкие показатели или уравниваются, биогеоценоз можно относить к абсолютно климаксовым сообществам, сбалансированным по накоплению и разложению биомассы. Если объемы текущего прироста биомассы превышают объемы текущего разложения, то можно предположить, что биогеоценоз в моменте находится в фазе, близкой к дигрессии,

Таблица 3. Объемы валежа и текущего древесного отпада в ельниках тайги Европейской России

№ ППП	Запас, м ³ /га ⁻¹	Объемы валежа по стадиям разложения, м ³ /га ⁻¹					Всего валежа, м ³ /га ⁻¹	Объемы ТДО по категориям состояния, м ³ /га ⁻¹			Всего ТДО, м ³ /га ⁻¹	Валеж от запаса, %	Общий древесный отпад от запаса, %
		1	2	3	4	5		Ус	Св	Ст			
Северная тайга													
А	109.9	2.2	10.1	7.8	6.6	9.4	36.1	7.2	1.2	4.4	12.8	29.4	39.8
П	91.0	0.8	16.1	16.8	8.5	5.6	47.8	15.3	—	6.0	21.3	45.6	61.5
Средняя тайга													
Л	296.9	9.8	25.7	17.6	17.2	—	70.3	1.2	0.1	8.2	9.5	22.9	26.0
В	345.2	6.6	39.0	15.1	26.2	28.2	115.1	0.9	0	2.1	3.0	33.1	33.9
Южная тайга													
К	392.8	5.0	41.4	27.5	41.9	104.7	220.5	2.6	5.4	38.0	46.0	50.3	60.7
Ц	396.5	5.2	24.9	56.5	33.8	19.6	140.0	4.2	—	8.1	12.3	34.2	37.3

Обозначения. ТДО — текущий древесный отпад. Категории состояния: Ус — усыхающие, Св — свежий сухой, Ст — старый сухой. Примечание. Из запаса древостоя исключены объемы ТДО.

если наоборот, — в стадии демутации. Применение первого метода возможно только при наличии рассчитанных на настоящий период данных текущих приростов анализируемых коренных биогеоценозов, которые для модальных сообществ мы рассчитать не можем. Второй метод основан на соотношении показателей объемов биомассы древесных фракций живой части древостоев (без объемов ТДО) и объемов древесного отпада, включающих объемы валежа и ТДО. Для расчета искомого величин по второму методу необходимо соединить в едином временном процессе обе древесные фракции — древостоя и древесного отпада (валежа и ТДО) (табл. 2 и 3). В табл. 4 приведены объемы древесных фракций изучаемых биогеоценозов в едином временном пространстве функционирования от начала разложения валежа для разных подзон (табл. 3) до предельных возрастов живой части древостоев для ельников (табл. 2).

Продолжительность периода накопления биомассы коренным ельником соответствует длине возрастного ряда биогеоценоза и предельному возрасту деревьев первого поколения.

Период разложения древесного отпада до настоящего времени является предметом обсуждения ксилобиологов и лесоведов (Стороженко, 1990; Шорохова, Шорохов, 1999; Tarasov, Birdsey, 2001; Тетюхин и др., 2004; Шорохова, Капица, 2017; и др.). Можно отметить, что, несмотря на некоторые различия в оценках длительности периодов разложения валежа разными исследователями, общие тенденции градаций этого процесса близки и приведены в соответствующих графах табл. 4 (Стороженко, 1990; Шорохова, 1999; Tarasov, Birdsey, 2001; Стороженко, Шорохова, 2012).

Сравнение продолжительности этих двух периодов показывает значительно больший временной период формирования биомассы древостоя,

нежели период разложения древесного отпада: от 4.6–7.0-кратных значений для биогеоценоза с наименьшим возрастным рядом (Ц) до 6.3–9.5-кратных значений для биогеоценоза с наиболее длинным возрастным рядом (А) (табл. 4). Скорость разложения древесного отпада зависит от ряда факторов: древесной породы, положения ствола относительно земли, диаметра стволов валежа в стадиях разложения, лесорастительной зоны и т.д.), запасы древостоев и распределение их по возрастным поколениям связаны с типологическими характеристиками биогеоценозов и их динамическими показателями, то есть с длиной возрастного ряда и объемами древесины в возрастных поколениях. Приблизительно в таком алгоритме природе удается сохранять баланс накопления и разложения биомассы лесного сообщества. “Ведущей” древесной фракцией в этом процессе является древостой, “ведомой” — древесный отпад.

Понятно, что в период формирования биомассы древостоем от состояния подростка до предельных возрастов первого поколения постоянно происходит отпад деревьев в структуру ТДО и валежа по разным причинам, в том числе под влиянием гнилевых фаутов деревьев, вызванных дерево-разрушающими грибами биотрофного комплекса. Отмершая биомасса в виде стволов деревьев ели разного диаметра разлагается грибами в разных подзонах тайги Европейской России с разной скоростью — от 3–5 лет для деревьев с диаметром подростка 5–7 см до 40–60 лет для деревьев с диаметром стволов ели до 40 см (Стороженко, 2007). Но в целом соотношение деревьев разных диаметров в биомассе живой части древостоя и в составе древесного отпада в сбалансированном климаксом ельнике должно быть близким.

Таким образом, основным фактором, определяющим условие формирования баланса биомассы елового сообщества, является скорость процессов

Таблица 4. Объединенная таблица объемов древесных фракций коренных разновозрастных слухов биогеоценозов тайги Европейской России

Рег-ион	Объемы валежа по стадиям разложения, м³/га¹ — временной период стадий разложения, лет					Всего валежа, м³/га¹		Объемы ТДО по категориям состояния, м³/га¹			Всего ТДО, м³/га¹	Распределение объемов деревьев по возрастным поколениям, м³/га¹								Общий древесный отпад: м³/га¹ — % от запаса	Балансовый коэффициент — БК	Фаза динамики		
	1	2	3	4	5	Ус	Св	Ст	До 40	41–80		81–120	121–160	161–200	201–240	241–280	281–320	321–340	341–380					
	1–3	4–20	21–30	31–40	41–50																			
Северная тайга																								
А	109.9	2.2	10.1	7.8	6.6	9.4	36.1	7.2	1.2	4.4	12.8	ПРД	6.1	3.8	15.5	7.6	30.3	22.4	12.1	24.9	48.9–39.8	0.50	Дг	
П	91.0	0.8	16.1	16.8	8.5	5.6	47.8	15.3	–	6.0	21.3	ПДР	1.9	8.3	44.0	57.0	1.1	–	–	–	69.1–61.5	0.98	Кл–Дг	
Средняя тайга																								
Л	296.9	9.8	25.7	17.6	17.2	–	70.3	1.2	0.1	8.2	9.5	ПДР	18.1	150.0	33.1	1.1	17.1	37.7	49.2	–	–	79.8–26.0	0.27	Дм–Дг
В	345.2	6.6	39.0	15.1	26.2	28.2	115.1	0.9	0	2.1	3.0	ПДР	1.0	4.4	12.6	43.2	176.6	104.0	–	–	–	118.1–33.9	0.34	Дг
Южная тайга																								
К	392.8	5.0	41.4	27.5	41.9	104.7	220.5	2.6	5.4	38.0	46.0	ПДР	1.0	4.4	6.4	12.6	43.2	176.6	104.0	–	–	266.5–67.8	0.77	Кл–Дг
Ц	396.5	5.2	24.9	56.5	33.8	19.6	140.0	4.2	–	8.1	12.3	ПДР	3.8	120.7	117.0	65.0	75.3	27.0	–	–	–	152.3–37.3	0.39	Дм–Кл
Периоды формирования древесных фракций, лет	0–40–60 лет Период разложения древесной фракции валежа					0–10–15 лет Период формирования древесной фракции ТДО					0 + 280–380 лет Период формирования древесной фракции живой части дровостоя								Периоды формирования древесных фракций дровостоя, лет					

накопления и разложения древесины, регламентируемая, с одной стороны, процессами физико-химических реакций фотосинтеза при накоплении биомассы, с другой — физико-химическими процессами при ксилотрофном разложении древесины древесного опада.

Не касаясь описания самих процессов ксилотрофного разложения древесного опада, формирования биомассы древостоями и сопровождающих их физических величин, можно представить общий вид баланса интенсивности процессов накопления и разложения биомассы как некоего коэффициента биомассы древесных фракций климаксового елового сообщества — БК, показывающего, во сколько раз скорость процесса разложения древесного опада грибами ксилотрофного комплекса превосходит скорость процесса накопления биомассы живой части древостоя в коренных, сбалансированных по биомассе древесины, разновозрастных ельниках таежной зоны Европейской России:

$$BK = V_v + V_{\text{ТДО}},$$

где V_v — объем древесной фракции валежа; $V_{\text{ТДО}}$ — объем древесной фракции ТДО; $V_{\text{др}}$ — объем древесной фракции живой части древостоя без ТДО.

Кроме того, балансовый коэффициент биомассы показывает, во сколько раз объемы древесного опада меньше объемов древостоев фитоценоза, исчисленных без объемов ТДО (табл. 4). Эта позиция равносильна тому утверждению, что ДРГ ксилотрофного комплекса, обладая огромной ксилотрофической активностью, осуществляют разложение древесного опада со скоростью, во много раз превосходящей скорость накопления древесной биомассы фитоценозом. Этот неоспоримый факт указывает на то, что именно ксилотрофные ДРГ, как наиболее активный и подвижный комплекс организмов в структуре коренного лесного биогеоценоза, являются основным консорцием, поддерживающим баланс биомассы лесного сообщества.

Из вышесказанных соображений можно сделать заключение, что балансовый коэффициент (БК) можно использовать для диагностики степени “выработанности” лесного сообщества (Сукачев, 1964), степени его приближения к состоянию климакса: чем ближе КБ к 1, тем ближе лесное сообщество к состоянию климакса (П и К). Все другие значения КБ указывают на степень его отдаленности от состояния баланса биомассы независимо в область демуляции или дигрессии (А, Л, В, Ц).

Необходимо отметить, что все представленные выше мнения относятся только ко времени сбора экспериментальных данных и не могут быть перенесены даже на самый короткий период времени, так как динамика изменений любых параметров биогеоценозов в коренных девственных лесах чрезвычайно интенсивна.

Все вышеизложенное позволило обосновать следующий важный тезис функционирования сбалансированного устойчивого лесного сообщества — накопление биомассы древесных фракций фитоценозом, ослабление деревьев в составе древостоя, отмирание их определенной части в период формирования возрастных рядов и перевод в структуру текущего древесного опада и валежа, накопление объемов древесного опада, скорость его разложения дереворазрушающими грибами различных таксономических групп и перевод его в категорию верхних слоев почвы составляют единый сбалансированный по объемам биомассы процесс функционирования коренного устойчивого лесного сообщества (Стороженко, 2007, 2011).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные ельники отвечают типичным для каждой подзоны тайги показателям основных лесоводственных характеристик. Все они имеют сложное абсолютно разновозрастное строение, но различаются по объемам и пораженности деревьев в возрастных поколениях возрастных рядов и в целом древостоев ДРГ биотрофного комплекса, что определяет различное фазовое положение биогеоценозов.

Подтверждена отмеченная ранее уверенная тенденция увеличения пораженности деревьев в возрастных поколениях от младших к старшим возрастам, характеризующаяся коэффициентом корреляции — $r = 0.91$ при $m_r = 0.28$ и $t = 45.2$, которая трактуется как закономерность.

Объемы валежа в еловых биогеоценозах могут составлять более половины запаса древостоя. Объемы ТДО также могут иметь значительные величины, достигая в сумме с объемами валежа более 60% от запаса древостоя. Такие величины относятся к ельникам климаксово-дигрессивных фаз динамики, то есть к сообществам с повышенными объемами усыхающих и усохших деревьев в составе древостоев.

Предложен метод определения баланса биомассы древесных фракций еловых биогеоценозов, основанный на соотношении показателей объемов биомассы древесных фракций живой части древостоев (без объемов ТДО) и объемов древесного опада, включающих объемы валежа и ТДО. Для расчета искомых величин необходимо соединить в едином временном процессе обе древесные фракции — древостоя и древесного опада (валежа и ТДО).

Основным фактором, определяющим условие формирования баланса биомассы елового сообщества, является скорость процессов накопления и разложения древесины, регламентируемая, с одной стороны, процессами физико-химических реакций фотосинтеза при накоплении биомассы, с другой — физико-химическими процессами при ксилотрофном разложении древесины древесного опада. При этом

скорость процесса ксилотрофии древесины древесного опада ДРГ в несколько раз выше скорости накопления биомассы древесной фракции живой части древостоя.

Таким образом, коэффициент баланса биомассы показывает, во сколько раз объемы древесного опада меньше объемов древостоев фитоценоза, исчисленных без объемов ТДО. Этот факт равносильно утверждению, что ДРГ ксилотрофного комплекса, обладая огромной ксилотрофической активностью, осуществляют разложение древесного опада со скоростью, во много раз превосходящей скорость накопления древесной биомассы фитоценозом, тем самым поддерживая баланс биомассы лесного сообщества.

Коэффициент баланса биомассы (КБ) можно использовать для диагностики степени “выработанности” лесного сообщества (Сукачев, 1964), степени его приближения к состоянию климакса: чем ближе КБ к 1, тем ближе лесное сообщество к состоянию климакса. Все другие значения КБ указывают на степень его отдаленности от состояния баланса биомассы независимо в область демультипликации или дигрессии.

Обосновано положение, при котором в коренном разновозрастном лесном биогеоценозе накопление и разложение объемов биомассы составляет единый сбалансированный процесс в динамике функционирования коренного устойчивого лесного сообщества (Стороженко, 2007, 2011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность / Под ред. О. В. Смирновой. М.: Наука, 2004. Кн. 1. 479 с. Кн. 2. 575 с.
- Дыренков С.А. Структура и динамика таежных ельников. Л.: Наука, 1984. 176 с.
- Корчагин А.А. Строение растительных сообществ // Полевая геоботаника. М.—Л.: Наука, 1976. Т. 5. 283 с.
- Морозов Г.Ф. Избранные труды. Т. 1. М.: Лесная промышленность, 1970. С. 459–474.
- Правила санитарной безопасности в лесах. Утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 9 декабря 2020 г. № 2047. 18 с.
- Стороженко В.Г. Датировка разложения валежа ели // Экология. № 6. 1990. С. 66–69.
- Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. Теория и эксперимент. Тула: Гриф и К., 2007. 190 с.
- Стороженко В.Г. Древесный опад в коренных лесах Русской равнины. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 122 с.
- Стороженко В.Г., Коткова В.М. Состояние коренных ельников и дереворазрушающие грибы (Basidiomycota) заповедника “Кологривский лес” (Костромская область) // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. № 3. С. 17–25.
- Стороженко В.Г., Шорохова Е.В. Биогеоэкологические и ксилотрофические параметры устойчивых таежных ельников // Грибные сообщества лесных экосистем. Петрозаводск, 2012. Т. 3. С. 22–41.
- Стороженко В.Г. Микоценоз и микоценология. Теория и эксперимент. Тула: Гриф и К., 2012. 192 с.
- Стороженко В.Г., Крутов В.И., Руоколайнен А.В., Коткова В.М., Бондарцева М.А. Атлас-определитель дереворазрушающих грибов лесов Русской равнины. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 195 с.
- Стороженко В.Г., Быков А.В., Бухарева О.А., Петров А.В. Устойчивость лесов. Теория и практика биогеоэкологических исследований. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 171 с.
- Стороженко В.Г. Структуры древесных фракций и объемы компонентов древесины еловых биогеоценозов тайги Европейской России // Сибирский лесной журнал. 2022. № 2. С. 29–40. DOI: 10.15372/SJFS20220204
- Сукачев В.Н. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 458 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.
- Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.—Л.: Гослесбумиздат, 1952. 853 с.
- Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии. База данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 708 с.
- Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
- Шорохова Е. В., Шорохов А. А. Характеристика классов разложения древесного детрита ели, березы и осины в ельниках подзоны средней тайги // Труды СПбНИИЛХ. 1999. Вып. 1. С. 17–23.
- Шорохова Е. В., Каница Е. А. Пути и скорость биогенного ксилотрофия в таежных лесах. // Теоретические и прикладные аспекты лесного почвоведения: Материалы докладов VII Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 118–121.
- Шорохова Е.В. Запасы и экосистемные функции крупных древесных остатков в таежных лесах: дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.08. СПб., 2020. 299 с.
- Clements F.E. Nature and structure of the climax // Journal of Ecology. 1936. V. 21. № 1. P. 252–284.
- Selleck G.H. The climax concept // Botan. Rev. 1960. V. 26. № 4. P. 535–546.
- Illman B.L., Highley T.L. Decomposition of wood by brown-rot fungi // Biodeterior. Res. 1989. № 2. P. 465–484.
- Storozhenko V.G., Bondartseva M.A. The occurrence of wood-destroying fungi on the fallen logs in the spruce wildlife forest of the Central-Forest Reserve. In: Problems of forest phytopathology and mycology. Moscow, 1997. P. 88–90.
- Tarasov M.E., Birdsey R.A. Decay rate and potential storage of coarse woody debris in the Leningrad region // Ecological Bulletins. 2001. № 49. P. 137–149.
- Yatskov M., Harmon M., Krankina O. A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia // Canadian Journal of Forest Research. 2003. V. 33. № 7. P. 1211–1226.

The Balance of the Woody Fraction of the Indigenous Spruce Forests' Biomass in the European Russia's Taiga

V. G. Storozhenko^{1, *}

¹*Institute of Forest Science of the RAS,
Sovetskaya st. 21, Uspenskoe, Moscow Oblast, 143030 Russian Federation*

**E-mail: lesoved@mail.ru*

The study of the structural features of indigenous taiga's woody fractions allows us to evaluate the balance process of accumulation and decomposition of woody biomass in forest communities. The purpose of the research is to study, using the example of European taiga's spruce forests, the processes and organisms involved in forming the balance of biomass of woody fractions in indigenous ecosystems of different ages and with different dynamic characteristics. The research objects were located in the spruce forests of the northern, middle and southern taiga of European Russia. On permanent study plots (PSP), the diameters of trunks and the age of trees were determined, age series were put together by generations, and the total volumes of trees, forest stands and woody waste were calculated. Within the generations of the aforementioned age series and the forest stands overall, infestations by wood-decaying fungi (WDF) of biotrophic and xylotrophic complexes were determined. Indigenous spruce forests of the taiga have a complex multi-aged structure, differing in volume and trees infestation rate by WDF of the biotrophic complex within both the generations and the forest stands as a whole. It determines the different phase position of ecosystems. The trend of increasing tree infestation rate from younger to older generations is interpreted as a pattern. To calculate the balance of woody fractions biomass in a forest ecosystem, it is necessary to combine within a single time process the woody fractions of the forest stand and woody waste — dead wood and the current woody waste. The main factor in the formation of the biomass balance of a spruce community is the rate of wood accumulation and decomposition processes. In native spruce forests of different ages in the taiga zone, the rate of xylolysis of wood waste by WDF is several times higher than the rate of biomass accumulation in the forest stand. The balance of the biomass accumulation and decomposition processes intensity is presented as the balance coefficient of the spruce community's woody fractions biomass, showing how much does the rate of the woody waste decomposition process performed by the xylotrophic complex fungi exceeds the rate of the biomass accumulation process in the living part of the forest stand. Possessing an enormous xylolytic activity, the WDF of the xylotrophic complex decompose woody waste at a rate exceeding the rate of woody biomass accumulation by the phytocenosis, thereby maintaining the balance of the biomass of the forest community and its stability.

Keywords: indigenous spruce forests, ecosystems structure, xylolytic fungi, woody biomass balance.

REFERENCES

- Clements F.E., Nature and structure of the climax, *Journal of Ecology*, 1936, Vol. 21, No. 1, pp. 252–284.
- Dyrenkov S. A., *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* (Structure and dynamics of the boreal spruce forest), Leningrad: Nauka, 1984, 174 p.
- Illman B.L., Highley T.L., Decomposition of wood by brown-rot fungi, *Biodeterior. Res.*, 1989, No. 2, pp. 465–484.
- Korchagin A.A., Stroenie rastitel'nykh soobshchestv (Structure of plant communities), In: *Polevaya geobotanika* (Field geobotany), Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1976, Vol. 5, pp. 5–319.
- Morozov G.F., *Izbrannye trudy* (Selecta), Moscow: Lesnaya prom-st', 1970, Vol. 1, 459–474 p.
- Pravila sanitarnoi bezopasnosti v lesakh* (Sanitary safety rules in forests. Approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated 09.12.2020 No. 2047), 2020, 09.12.2020, 18 p.
- Selleck G.H., The climax concept, *Botan. Rev.*, 1960, Vol. 26, No. 4, pp. 535–546.
- Shorokhova E.V., Kapitsa E. A., Puti i skorost' biogenogo ksiloliza v taezhnykh lesakh (Pathways and rates of biogenic xylolysis in taiga forests), *Teoreticheskie i prikladnye aspekty lesnogo pochvovedeniya* (Theoretical and applied aspects of forest soil science), Petrozavodsk, Proc. of 7th All-Russian Sci. Conf. on forest soil science with international participation, Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2017, pp. 118–121.
- Shorokhova E.V., Shorokhov A.A., Kharakteristika klassov razlozheniya drevesnogo detrita eli, berezy i osiny v el'nikakh podzony srednei taigi (Features of the woody debris decomposition classes of spruce, birch and aspen in spruce forests of subdomain of middle taiga), *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva*, 1999, No. 1, pp. 17–23.
- Shorokhova E.V., *Zapasy i ekosistemnye funktsii krupnykh drevesnykh ostatkov v taezhnykh lesakh. Diss. d-ra biol. nauk* (Stocks and ecosystem functions of large woody residues in taiga forests. Doctor's biol. sci. thesis), Saint Petersburg: 2020, 299 p.
- Storozhenko V.G., Bondartseva M.A., The occurrence of wood-destroying fungi on the fallen logs in the spruce wild-life forest of the Central-Forest Reserve, In: *Problems of forest phytopathology and mycology*, Moscow, 1997, pp. 88–90.

- Storozhenko V.G., Bykov A.V., Bukhareva O.A., Petrov A.V., *Ustoichivost' lesov. Teoriya i praktika biogeotsenoticheskikh issledovaniy* (Sustainability of forests. Theory and practice of biogeocoenotic studies), Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2018, 171 p.
- Storozhenko V.G., Datirovka razlozheniya valezha eli (Dating of spruce brushwood decay), *Ekologiya*, 1990, No. 6, pp. 66–69.
- 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., Kotkova V.M., Sostoyanie korennykh el'nikov i derevorazrushayushchie griby (Basidiomycota) zapovednika "Kologrivskii les" (Kostromskaya oblast') (The condition of indigenous spruce forests and wood-destroying fungi of the "Kologriv Forest" reserve (Kostroma Region)), *Izvestiya vuzov. Lesnoi zhurnal*, 2013, No. 3, pp. 17–25.
- Storozhenko V.G., Krutov V.I., Ruokolainen A.V., Kotkova V.M., Bondartseva M.A., *Atlas-opredelitel' derevorazrushayushchikh gribov lesov Russkoi ravniny* (Atlas-Identifier of Wood-Destructive Fungi of the Russian Plain Forests), Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014, 195 p.
- Storozhenko V.G., *Mikotsenoz i mikotsenologiya. Teoriya i eksperiment* (Mycocoenosis and mycocoenology. The theory and experiment), Tula: Grif i K, 2012, 192 p.
- Storozhenko V.G., Shorokhova E.V., Biogeotsenoticheskie i ksiloliticheskie parametry ustoichivykh taezhnykh el'nikov (Biogeocoenotic and xylolytic parameters of stable taiga spruce forests), In: *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* (Fungi communities of forest ecosystems), Petrozavodsk: Izd-vo Karel'skogo NTs, 2012, Vol. 3, pp. 22–41.
- Storozhenko V.G., *Struktury drevesnykh fraktsii i ob'emnykh komponentov drevesiny elovykh biogeotsenozov taigi Evropeiskoi Rossii* (Structures of wood fractions and volumes of wood components in spruce biogeocoenoses of the taiga of European Russia), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2022, No. 2, pp. 29–40. DOI: 10.15372/SJFS20220204
- Storozhenko V.G., *Ustoichivye lesnye soobshchestva: teoriya i eksperiment* (Sustainable forest communities: theory and experiment), Moscow: Grif i K, 2007, 190 p.
- Sukachev V.N., Dylis N.V., *Osnovy lesnoi biogeotsenologii* (Fundamentals of forest biogeocoenology), Moscow: Nauka, 1964, 574 p.
- Tarasov M.E., Birdsey R.A., Decay rate and potential storage of course woody debris in the Leningrad region, *Ecological Bulletins*, 2001, No. 49, pp. 137–149.
- 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 north-west of the Russian Federation), Saint Petersburg: LTA, 2004, 369 p.
- Tret'yakov N.V., Gorskii P.V., Samoilovich G.G., *Spravochnik taksatora* (Handbook for taxators), Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 854 p.
- Usol'tsev V.A., *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoi Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya* (Biological production of the forests of Northern Eurasia: methods, database and applications), Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2007, 636 p.
- Usol'tsev V.A., *Fitomassa lesov Severnoi Evrazii. Baza dannykh i geografiya* (Forest biomass of Northern Eurasia. Database and geography), Ekaterinburg: UrO RAN, 2001, 708 p.
- Vostochnoevropeiskie lesa: istoriya v golotsene i sovremennost'* (Eastern European forest in the Holocene and modern history), Moscow: Nauka, 2004, Vol. 1, 479 p.
- Yatskov M., Harmon M., Krankina O., A chronosequence of wood decomposition in the boreal forests of Russia, *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, Vol. 33, No. 7, pp. 1211–1226.

УДК 63*630*182.2

ПОЛУВЕКОВАЯ ДИНАМИКА КОРЕННЫХ И ПРОИЗВОДНЫХ ДРЕВОСТОЕВ В РЕЗЕРВАТЕ “ВЕПССКИЙ ЛЕС”¹

© 2024 г. А. А. Корепин^{а, *}, Е. А. Капица^а, А. А. Шорохов^б, Е. В. Шорохова^а

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

^бООО “ИКЕА Индастри Тихвин”,
Шведский пр-д, д. 15, Тихвин, Ленинградская обл., 187556 Россия

*E-mail: aakorepin@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.12.2022 г.

После доработки 21.03.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

В условиях активно обсуждаемой концепции интенсификации лесного хозяйства, сокращающихся площадей массивов естественных лесов и связанного с ними биологического разнообразия понимание механизмов восстановления естественных биогеоценозов после нарушений становится все более и более актуальным. Целью данной работы является выявление особенностей восстановления среднетаежных лесных сообществ после сплошной рубки коренных древостоев в сравнении с естественной динамикой сообществ коренных лесов на контрольных участках. В ходе исследования решали следующие задачи: 1) определить показатели запаса древесины коренных и производных древостоев (общие значения; распределение по лесобразующим породам; изменения за период наблюдений); 2) выявить особенности распределения числа деревьев и запаса древесины по ступеням толщины; 3) оценить показатели производительности (среднего прироста) коренных и производных древостоев; 4) описать динамику породного состава производных лесов. Достижение поставленной цели стало возможным благодаря длительному ряду наблюдений на постоянных опытных объектах. Естественные нарушения, вызванные воздействием сильных ветров, способствовали значительному колебанию численности деревьев и запаса древесины в коренных древостоях. Древесный запас производных древостоев, восстанавливающихся после рубки, во многих случаях становился сопоставимым с запасом коренных древостоев уже к 50-летнему возрасту. В отдельные периоды в некоторых коренных и производных древостоях наблюдалось сходство распределения древесного запаса и количества деревьев по ступеням толщины, вызванное сходными по степени внешними воздействиями — рубкой леса или ветровалом высокой интенсивности. Производительность большинства производных древостоев была существенно выше, чем в коренных лесных сообществах. В большинстве производных древостоев первой генерации доминировали лиственные породы при значительной доле хвойных пород. Результаты работы могут быть использованы для решения задач в области лесоуправления, разработки оптимальных сценариев ведения лесного хозяйства в различных древостоях и сохранения и/или восстановления средообразующих функций в управляемых лесах.

Ключевые слова: запас древостоя, число деревьев, сукцессия, рубка леса, ветровал.

DOI: 10.31857/S0024114824010036, EDN: SMHDFV

Время активного освоения человеком коренных таежных лесов подходит к концу. В Европе в настоящее время основная часть таких лесов уже сильно преобразована антропогенной деятельностью, а немногочисленные естественные леса сохранились в труднодоступных и обычно малопродуктивных местообитаниях (Kuuluvainen, Aakala, 2011). В данном исследовании под “коренным” понимается лес, развивающийся без существенного

воздействия человека в течение времени, сопоставимого с предельным биологическим возрастом преобладающей древесной породы. На северо-западе России площади хвойных старовозрастных лесов также быстро сокращаются. Нетронутыми остаются массивы коренных лесов существующих и проектируемых особо охраняемых природных территорий, а также низкопродуктивные древостои ввиду экономической нецелесообразности их промышленного освоения (Громцев, 2019).

Способы и сезонность проведения рубок, методы лесовозобновления, размеры и формы лесосек

¹Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (22-26-00177).

сильно влияют на структурные особенности возобновляющихся вторичных лесов. Очевидно, что формирующиеся после рубки древостои различаются по структуре и динамике структурных характеристик не только между собой, но и в значительной степени отличаются от коренных биогеоценозов (Громцев, 2019). Изучение вторичных лесов, анализ особенностей их восстановления в сравнении с естественной динамикой коренных лесов является актуальной задачей для разработки рекомендаций по ведению лесного хозяйства в них, направленного как на повышение их производительности, так и на выполнение ими средообразующих функций (Лукина, 2020). Применительно к данной работе под производительностью древостоя понимается его способность создавать органическое вещество и аккумулировать его в стволовой древесине (Соловьев, 2010). Несмотря на многочисленность работ по изучению естественного возобновления древостоев в коренных лесах (Дыренков, 1984; Федорчук и др., 1998; Березин и др., 2020) и после рубок (Мельников и др., 2003), закономерности долговременной восстановительной динамики производных древостоев в сравнении с близкими по характеристикам коренными лесными сообществами в литературе освещены недостаточно. Наиболее объективным методическим подходом при решении различных задач, связанных с изучением динамики лесных сообществ, является проведение длительных стационарных наблюдений (Сукачев, Дылис, 1964; Дыренков, 1984; Савицкий, 1986; Шорохова и др., 2021). Анализ временных изменений “динамического контроля” — естественно развивающегося сообщества-пары — позволит понять закономерности восстановления лесного сообщества до максимально устойчивого и сбалансированного состояния.

Цель данной работы — выявить особенности восстановления среднетаежных лесных сообществ после сплошной рубки коренных древостоев и сравнить с естественной динамикой сообществ коренных лесов на контрольных участках. В ходе исследования решали следующие задачи: 1) определить показатели запаса древесины коренных и производных древостоев (общие значения, распределение по лесообразующим породам, изменения за период наблюдений и пр.); 2) выявить особенности распределения числа деревьев и запаса древесины по ступеням толщины; 3) оценить показатели производительности (среднего прироста) коренных и производных древостоев; 4) описать динамику породного состава производных лесов.

На основании анализа литературных данных были предложены следующие рабочие гипотезы: 1) производные древостои имеют разную скорость восстановления в зависимости от исходных и сформировавшихся после рубки лесорастительных условий (Мелехов, 1959), но за счет большого

общего числа и высокой энергии роста молодых деревьев производительность лесов первой после рубки генерации оказывается выше, чем производительность коренных древостоев в сопоставимых лесорастительных условиях; 2) накопление запаса древесины в древостоях после сплошной рубки до значений, сравнимых с запасами коренных древостоев, происходит существенно быстрее восстановления структурных характеристик, свойственных для коренного леса; 3) по породному составу вторичные древостои будут отличаться преобладанием лиственных пород.

Данная работа является продолжением комплексных стационарных исследований массива среднетаежных лесов эталонного значения резервата “Вепсский лес” и первой попыткой охарактеризовать промежуточный этап восстановления производных древостоев в буферной зоне резервата.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили в резервате “Вепсский лес” одноименного природного парка, находящегося на востоке Ленинградской области. Территория представляет собой возвышенную (220–260 м над ур. м.) волнистую относительно дренированную моренную равнину с крупными болотными системами и переходными к холмисто-моренным комплексам урочищами (Федорчук и др., 1998). Ландшафт наряду с немногими другими имеет самый высокий послеледниковый возраст на территории северо-запада (Дыренков, Федорчук, 1975). Климат Вепсовского ландшафта характеризуется низкими среднемесячными температурами (среднегодовая температура — +2.8°C) (Шорохова и др., 2022), большой подверженностью заморозкам, коротким вегетационным периодом, повышенным количеством осадков (до 700 мм), в том числе мощным снежным покровом (Федорчук и др., 1998). На данной территории наиболее распространены дренированные и недостаточно дренированные почвы на моренных суглинках и двучленных наносах (серии типов леса — черничная, долгомошно-черничная), заболоченные торфянистые и болотные торфяные почвы (серии типов леса — сфагново-черничная, сфагново-майниковая). Леса черничного типа формируются также на моренных или зандровых песках, однако пересеченность рельефа обуславливает значительное фитоценотическое разнообразие и мелкоконтурность почвенных ареалов (Федорчук и др., 1998; Беляева, 2019). Наиболее распространенным типом фитоценоза в резервате являются ельники чернично-зеленомошные, которые на территории занимают более 40% площади. Резерват включает в себя два лесных массива, сходных по площади различных категорий земель, условиям и мозаике местообитаний, но отличающихся в хозяйственно-историческом отношении. Территория ядра резервата характеризуется



Рис. 1. Расположение парных ПП: 1 — в коренных древостоях, 2 — в производных древостоях.

преобладанием коренных еловых лесов с возрастом основного поколения ели (*Picea abies* (L.) Н. Karst), достигающим 200–300 лет, а некоторых деревьев — 350–400 лет, сосны (*Pinus sylvestris* L.) — 200–250 лет, осины (*Populus tremula* L.) — 130–170 лет (Федорчук и др., 1998), тогда как территория буферной зоны резервата представляет собой сочетание коренных лесов и болот с биогеоценозами вырубок, которые начали формироваться после проведения здесь концентрированных рубок леса, начиная с 1970-х годов (Федорчук и др., 1998).

Для изучения естественной возрастной и восстановительной динамики лесных сообществ и ценопопуляций древесных растений в наиболее типичных местообитаниях в коренных и производных древостоях в 1973–1979 гг. были заложены семь пар постоянных пробных площадей (ПП) (Дыренков, Савицкий, 1981) (рис. 1, 2).

Пробные площади закладывали, руководствуясь отраслевым стандартом “Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки” (ОСТ 56-69-83). Размер пробной площади определяли по наличию на ней не менее 200–250 деревьев основного элемента леса (с диаметром более 6 см) (Дыренков, 1984; Федорчук и др., 1998). Сплошной пересчет

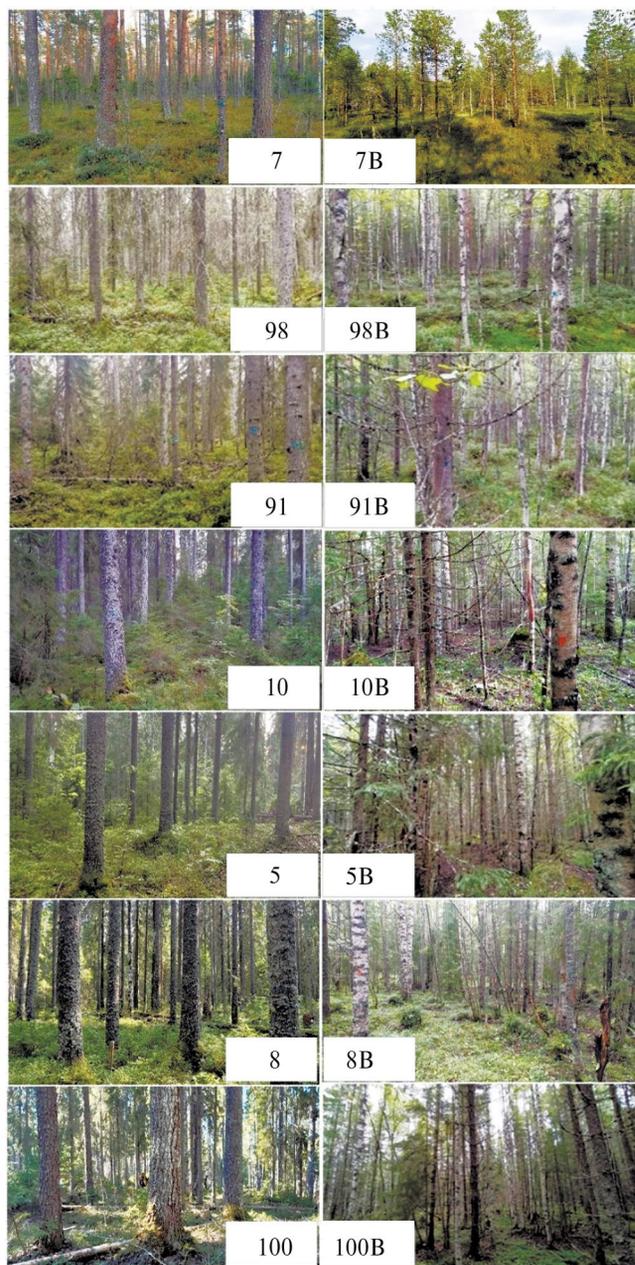


Рис. 2. Учетные объекты на территории резервата “Вепский лес”. Слева — постоянные пробные площади в коренном лесу; справа — постоянные пробные площади, заложенные после вырубке коренного леса в 1973–1974 гг. Фото: Корепин А.А., Аvezов А.А.

древостоя с последующим вычислением всех таксационных показателей в коренных биогеоценозах (БГЦ) проводили регулярно каждые 5 лет, во вторичных лесных сообществах сплошной пересчет древостоя впервые проведен в 2021 году.

Для всех деревьев учетного размера определяли породу, длину окружности (с последующим переводом в диаметр) и состояние (живые и погибшие). Высоту древесных пород устанавливали по графику высот, построенному по результатам измерения

Таблица 1. Характеристика лесорастительных условий и некоторых таксационных показателей древостоев на ПП

№ ПП	Пло-щадь, га	Год закладки	Серия типов леса* / Возрастной структуры древостоя**	Породный состав древостоя	Возраст основного по запасу поколения преобладающей породы, лет	Средний диаметр, см				Кол-во деревьев, шт. га ⁻¹	Запас, м ³ га ⁻¹	Прирост***, м ³ га ⁻¹ год ⁻¹
						С	Е	Б	Ос			
5	0.55	1977	ЧЕРГ / Уо	5Б5Е ед.С ед.Ос	140					792	405.8	5.7
5В	0.28	1979	ЧЕРГ / Уо	6Е3Б1Ос	47					3477	376.4	8.0
7	0.48	1977	БАГ / Ор	10С ед.Е ед.Б	180					693	151.8	1.9
7В	0.39	1979	БАГ / Уо	8С1Е1Б	48					988	54.1	1.1
8	0.20	1977	ЧЕРГ / Ор	10Е + Ос + Б	100					1205	321.3	6.0
8В	0.19	1979	ЧЕРГ / Уо	7Б3Е ед.Ос	47					2704	337.3	7.2
10	0.35	1977	ЧЕРП+ДОЛЧ / Ор	9Е1Б ед.Ос	200					777	412.4	6.0
10В	0.3	1979	ЧЕРГ / Уо	8Б2Е ед.Ос ед.С	48					2988	373.7	7.8
91	0.47	1973	СФЧ / Ар	9Е1Б	140					1028	282.5	3.8
91В	0.50	1979	СФЧ / Уо	6Е3Б1С	47					3222	211.0	4.5
98	0.46	1973	СФЧ / Ар	9Е1Б+С	160					1345	194.0	3.0
98В	0.39	1979	СФЧ / Уо	5Б3С2Е	48					3273	248.2	5.2
100	0.78	1973	ЧЕРГ / Уо	4Ос3Е2С1Б	140					973	580.0	6.4
100В	0.87	1979	ЧЕРГ / Уо	4Б3Е3Ос ед.С	47					2726	354.6	7.5

Примечание. Е — ель (*Picea abies* (L.) N. Karst), Б — береза (*Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh.), Ос — осина (*Populus tremula* L.), С — сосна (*Pinus sylvestris* L.).

* Обозначения серий типов леса: ЧЕРГ — черничная на дренированных суглинках и двучленных наносах; ЧЕРП — черничная на дренированных песках и супесях; ДОЛЧ — долгомошно-черничная на недостаточно дренированных местообитаниях; СФЧ — сфагново-черничная на слабо дренированных местообитаниях и переходных торфах; БАГ — багульниковая на верховых торфах (Федорчук и др., 1998).

** Обозначение вариантов возрастной структуры древостоя: Ар — абсолютно разновозрастные древостои; Ор — относительно разновозрастные древостои; Уо — условно разновозрастные древостои (Дыренков, 1984). Характеристика таксационных показателей на ПП в коренных древостоях приводится на момент закладки ПП, в производных — на 2021 год.

*** Среднее значение общего текущего прироста с учетом прироста деревьев, вошедших в категорию отпада, для производных древостоев. Среднее значение общего текущего прироста без учета деревьев, перешедших в категорию отпада, для коренных и общего текущего прироста за 1973(1977)–2019 гг., для производных древостоев.

высоты и диаметра 25–55 деревьев на момент закладки ПП. Запас древесины и другие показатели древостоя определяли по объемным таблицам (по ступеням толщины и разрядам высот) (Третьяков и др., 1952; Мошкалева и др., 1966, 1984), расчет производили с помощью программы “Проба” (Смирнова, Филиппов, 1983), преобразованной для персонального компьютера (табл. 1).

Общий текущий среднепериодический прирост для коренных древостоев определяли с учетом прироста деревьев, перешедших в категорию “отпада” в межучетный период, для производных — без учета отпада по следующей формуле:

$$Z_{MA-n}^n = \frac{M_A - M_{A-n} + M_n^0}{n},$$

где Z_{MA-n}^n — общий текущий среднепериодический прирост, $\text{м}^3 \text{га}^{-1} \text{год}^{-1}$; M_A — древесный запас в конце периода, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$; M_{A-n} — древесный запас в начале периода, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$; M_n^0 — запас древесного отпада, $\text{м}^3 \text{га}^{-1}$; n — период наблюдений, лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности динамики запаса и количества деревьев коренных древостоев. Вследствие динамических процессов, проходящих в лесных сообществах коренных лесов (Федорчук и др., 2011), о постоянстве таксационных показателей древостоев следует говорить очень условно, принимая во внимание изменчивость роста и продуктивности древостоев в пределах типов леса и групп типов леса (Швиденко и др., 2008) в зависимости от их породного состава, происхождения, структуры и степени хозяйственного освоения (Соловьев, 2010). Показательно сравнение основных показателей восстанавливающихся после сплошной рубки древостоев с динамикой древостоев коренных лесов за длительный период наблюдений (рис. 3). Таксационные характеристики в них не оставались постоянными за период наблюдений, рис. 3 иллюстрирует динамичность “контроля”.

За период наблюдения (50 лет) дигрессивные процессы, связанные с постветровой динамикой, на некоторых ПП в коренных древостоях носили ярко выраженный характер — запас древесины значительно снижался. Важно понимать, что восстановление таксационных показателей производных древостоев зависит не только от особенностей восстановительной динамики в них, но и от того, с каким этапом сукцессионного развития коренного древостоя производится сравнение. Как видно на рис. 3, на ПП 10 в 1980-е годы запас древесины значительно снизился, в то время как на других ПП процесс распада древостоя был не так сильно выражен. В целом по результатам наблюдений на ПП, заложенных в коренных БГЦ, наиболее стабильными по запасу оказались

древостои, представленные абсолютно разновозрастными ельниками чернично-сфагновой серии типов леса, а также относительно разновозрастными сосняками багульниковой серии (рис. 3). Вероятно, это связано с положением этих лесных сообществ в пониженных участках рельефа, способствующих защите от прямого воздействия сильных ветров, относительно низкой производительностью древостоев, а также с формирующейся в результате почвенно-гидрологических условий и режима нарушений более сложной пространственной и возрастной структуры популяции породой-эдификатором.

На протяжении всего периода исследований общее снижение численности живых деревьев с большей или меньшей интенсивностью наблюдалось на всех пробных площадях коренных лесных сообществ. Однако наибольшая амплитуда колебаний отмечалась на ПП 10, где за короткий промежуток времени в результате сильного нарушения, вызванного ветровалом, численность деревьев и запаса древесины материнского древостоя сократилась почти вдвое, но впоследствии наблюдался рост числа деревьев и восстановление древесного запаса.

Сравнение основных таксационных характеристик коренных и производных древостоев. По результатам исследований, к 50-летнему возрасту древесный запас в производных древостоях, восстанавливающихся после рубки, во многих случаях становится сопоставим с запасом коренных древостоев при существенной, 3-кратной разнице в количестве деревьев на единицу площади (рис. 3). При этом на 8–12-е ступени толщины деревьев пробных площадей бывших вырубок в среднем приходится 65–85% числа деревьев и 25–55% запаса древостоя. Т.е. большая часть древесного запаса к 50-летнему возрасту восстанавливающегося древостоя уже сосредоточена в деревьях более крупных ступеней толщины. Наблюдаемая к 50-летнему возрасту численность деревьев и их распределение по ступеням толщины в производных древостоях позволяют сделать предположение о том, что дальнейшие динамические процессы в них будут сопровождаться самоизреживанием, главным образом, за счет отпада светолюбивых пород из тонких ступеней толщины.

Прирост древесины средневозрастных насаждений, сформировавшихся на месте вырубок, существенно превышает этот показатель в коренных лесных сообществах (табл. 1). Исключение составляет избыточно увлажненный низкополотный древостой сосняка багульникового, где, очевидно, требуется большее время для восстановления запаса после рубки.

Динамические процессы в коренных древостоях различной возрастной структуры, находящихся на разных этапах естественной динамики, могут существенно различаться. Вследствие естественного

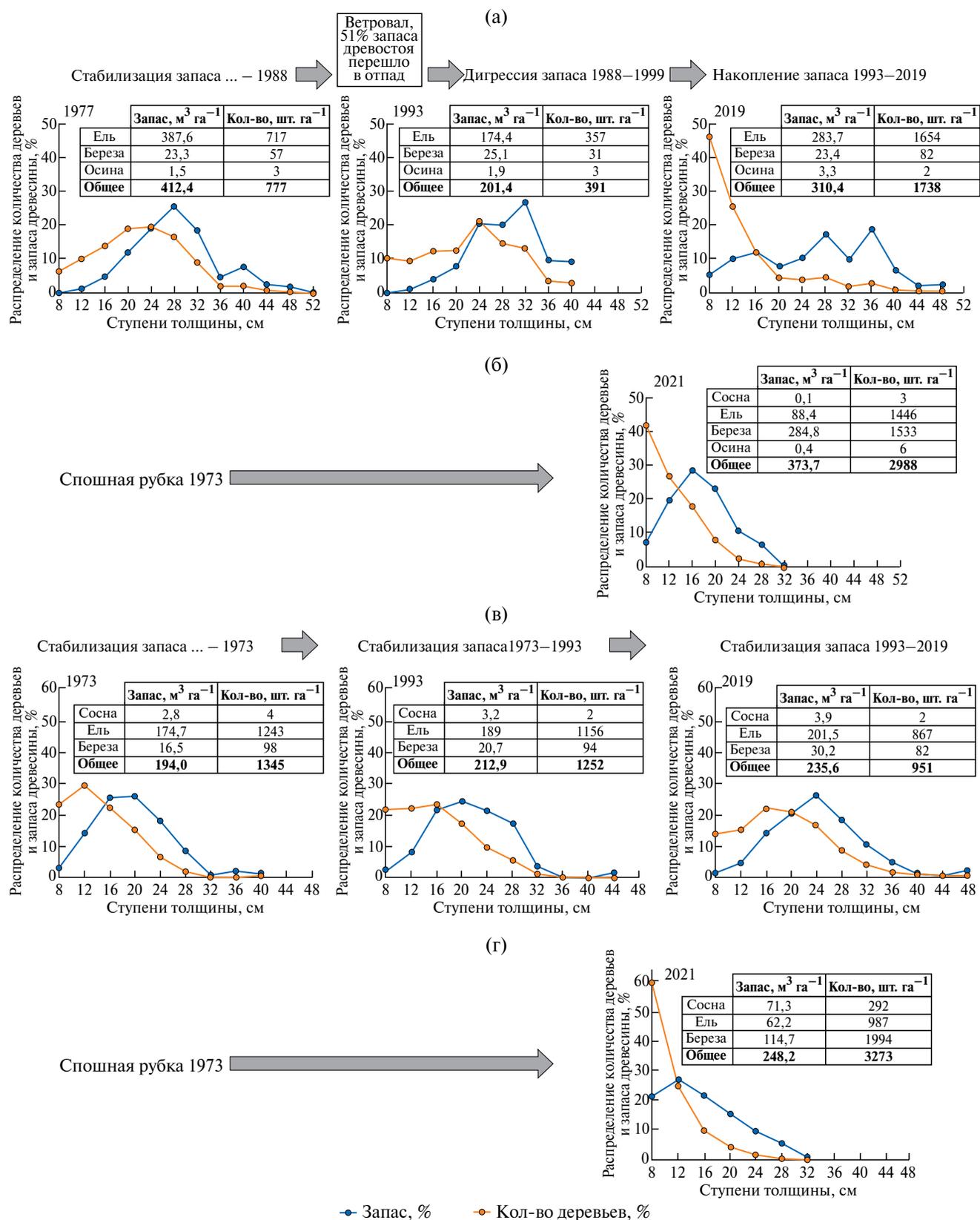


Рис. 4. Динамика запасов и количества деревьев по ступеням толщины на: а) ПП 10; б) ПП 10В; в) ПП 98; г) ПП 98В.

нарушения, вызванного ветровалом конца 1980-х, к 1993 году в относительно разновозрастном древостое на ПП 10 древесный запас и количество деревьев значительно сократились и составили от исходного (на момент закладки ПП) древостоя 49% и 47% соответственно. Распределение оставшихся после нарушения деревьев по ступеням толщины свидетельствует о том, что ветровал затронул особи всех размеров. Характерное для относительно разновозрастного древостоя распределение деревьев по ступеням толщины сохранилось, за исключением почти полного отпада особей самых толстых ступеней толщины (рис. 4). В последующие годы убыль деревьев материнского древостоя продолжилась, и к 2019 году их доля составила 33% от исходного количества. Вместе с тем за счет прироста сохранившихся деревьев запас древесины материнского древостоя остался примерно на том же уровне и составил 50% от исходного. Восстановление общего запаса древостоя продолжилось также за счет пополнения перечетной части древостоя новыми деревьями. Участие молодого поколения, поступающего в перечет, постепенно возрастало и к 2019 году составило 85% от количества деревьев и 34% от общего запаса древостоя.

Динамика абсолютно разновозрастного древостоя на ПП 98 на протяжении всего периода наблюдений выражалась плавным увеличением запаса и снижением количества деревьев (рис. 4). От первого (1973) к последнему (2019) году учета древостоя запас деревьев, присутствовавших в древостое на момент закладки пробной площади, увеличился на 19%, при этом их количество снизилось на 40%. Весьма незначительную роль в накоплении запаса сыграли новые деревья, пополнившие перечетную часть древостоя за исследуемый период. К 2019 году на их долю приходилось 2% от общего запаса древостоя и 15% от общего количества деревьев.

Признаки сходства восстановительной динамики, наблюдаемой в некоторых коренных древостоях после интенсивных нарушений и в производных

древостоях после сплошных рубок, проявляются в скорости восстановления запаса и распределении деревьев по ступеням толщины. Однако при более глубоком рассмотрении структуры распределения запаса и числа деревьев видно, что даже после ветровалов высокой интенсивности оставшиеся деревья способны длительное время сохранять свое участие в структуре древостоя. Вследствие этого частично сохраняется уже несомкнутый полог древостоя, который способствует появлению и ускорению роста елового подроста и препятствует росту пионерных пород (березы (*Betula pendula* Roth, *B. pubescens* Ehrh.) и осины). Так, несмотря на сильные нарушения, произошедшие за период наблюдений на ПП 10, ель сохранила свое доминирующее положение в составе древостоя. В большинстве древостоев, восстанавливающихся после сплошной рубки, участие ели менее выражено, а доминирующее положение занимают пионерные породы.

Динамика породного состава производных лесов. Доля хвойных пород в производных лесах в первые 15 лет после рубки редко превышала 20%, причем при рубке на многих участках удалось сохранить значительную часть елового подроста. Например, после проведения рубки численность сохраненного предварительного возобновления на ПП 5В составила 5.1 тыс. шт. га⁻¹, на 7В — 0.4 тыс. шт. га⁻¹ (сосна), на 8В — 0.7 тыс. шт. га⁻¹, на 10В — 4.1 тыс. шт. га⁻¹, на 91В — 2.1 тыс. шт. га⁻¹, на 98В — 0.4 тыс. шт. га⁻¹, на 100В — 2.3 тыс. шт. га⁻¹ (Федорчук и др., 1998).

В последующие годы породный состав вторичных лесов сильно изменился за счет самоизреживания. Доля хвойных пород в составе древостоев увеличилась на 10–50% из-за усыхания большого количества деревьев лиственных пород (табл. 2).

Тем не менее даже большое количество подроста ели, сохранившееся после рубки, не всегда является основным фактором, определяющим долю ели в составе вторичного древостоя первой

Таблица 2. Динамика породного состава на ПП после рубки коренного древостоя

ПП	Преобладающая до рубки леса порода	Породный состав на ПП, 5 лет после рубки*	Породный состав на ПП, 9–15 лет после рубки*	Породный состав древостоя на ПП, 47–48 лет после рубки**
5В	Б	5Б2Е2Р61Ос	4Е3Б1Ос2Р6	6Е3Б1Ос
7В	С	5Б3С2Е	5Б4С1Е	8С1Е1Б
8В	Е	8Б1Е1Р6	7Б2Р61Е	7Б3Е ед.Ос
10В	Е	5Б3Р62Е	4Е3Б3Р6	8Б2Е ед.Ос ед.С
91в	Е	8Б2Е	9Б1Е	6Е3Б1С
98в	Е	10Б+Е, С	10Б+Е, С	5Б3С2Е
100в	Ос	7Б2Е1Ос	7Б2Е1Ос	4Б3Е3Ос ед.С

* По количеству деревьев (Федорчук и др., 1998).

** По запасу.

генерации. Например, на участках ПП 10В и 100В доля ели в составе средневозрастного древостоя не превышает 20–30%, несмотря на то, что количество сохраненного после рубки подроста было сопоставимо с другими участками (ПП 5В, ПП 91В), где впоследствии сформировались древостои с преобладанием ели. Возможно, что сильно поменявшиеся после сплошной рубки условия экопопа (Мелехов, 1959) негативно повлияли на сохраненный подрост. Можно предположить, что большая часть деревьев ели в рассматриваемых лесных сообществах представлена особями последующего возобновления, в том числе из семян, находившихся в лесной подстилке на момент рубки (Коротков, 1991). Однако эта гипотеза требует проверки.

В относительно богатых лесорастительных условиях на ПП 100В за 48 лет сформировался смешанный древостой. При этом доля осины в составе древостоя возросла за 30 лет с 10 до 30%, а доля березы, наоборот, снизилась с 70 до 30% (табл. 2).

В ряде случаев (ПП 7В, 98В) после рубки произошло заболачивание. Активное разрастание сфагнома (*Sphagnum* L.) на таких участках привело к угнетению не только подроста, но и всходов ели (Федорчук и др., 1998). Дальнейшее восстановление древостоя на этих участках проходило в основном за счет пород более устойчивых к избыточному увлажнению (сосна, береза).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вместе с важностью ведения экономически эффективного лесного хозяйства всеми участниками лесных отношений признаются средообразующие и экосистемные функции леса. Выполнение этих функций в полной мере зависит от устойчивости лесного сообщества по отношению к разного рода внешним воздействиям, степени его приспособленности к конкретным условиям местопроизрастания. Знание структурных особенностей, проявляющихся в древостоях в ходе восстановительной динамики после тех или иных нарушений, требуется для определения таких характеристик насаждения, при которых одновременно обеспечиваются и необходимый уровень устойчивости, и приемлемые (целевые) с точки зрения лесного хозяйства показатели производительности.

Данная работа является попыткой количественно описать восстановление основных таксационных характеристик вторичных лесов первой генерации, возникших на месте рубки древостоя в коренных лесных сообществах. Долговременные наблюдения за являющимися аналогами вырубленных естественными древостоями позволяют сделать вывод о высокой степени соответствия их характеристик, в т.ч. пространственной и возрастной структуры, условиям местообитания. Формирующиеся производные древостои представляют

собой просто организованные лесные сообщества. Материнский коренной древостой, где ель занимала господствующее положение, частично обеспечил предварительное возобновление породы-эдификатора, а большое количество семян ели в подстилке в сочетании с предварительным и последующим обсеменением с соседних участков леса способствовало хорошему последующему возобновлению этой породы. Однако, несмотря на высокую долю участия ели в составе производных древостоев, в большинстве случаев доминировали лиственные породы. Можно предположить, что древостои, формирующиеся после сплошной рубки производных лесов первой и последующих генераций без последующего качественного лесовосстановления, будут иметь все меньшую долю хвойных пород в своем составе.

Восстановительная динамика производных лесных сообществ характеризуется восстановлением древесного запаса до исходного уже в средневозрастных насаждениях. Для ряда других таксационных показателей древостоя, а также видового состава и структуры лесного сообщества в целом восстановление еще продолжается.

Признаки сходства восстановительной динамики, наблюдаемой в некоторых коренных древостоях после интенсивных нарушений и в производных древостоях после сплошных рубок, проявляются в скорости восстановления запаса и в распределении деревьев по ступеням толщины. Однако даже после ветровалов высокой интенсивности оставшаяся часть материнского древостоя способна оказывать влияние на восстановительный процесс: препятствовать возобновлению пионерных древесных пород и способствовать лучшему росту подроста и появлению самосева ели. В результате чего, несмотря на сильные нарушения, ель сохраняет свое доминирующее положение в составе древостоя, в то время как в большинстве древостоев, восстанавливающихся после сплошной рубки, доминирующее положение занимают пионерные породы.

В данной работе сравнивали характеристики коренных и производных таежных лесов на уровне отдельных биогеоценозов. Однако устойчивость лесных экосистем проявляется на уровне лесного массива — пространственно-ограниченного комплекса биогеоценозов. Актуальной задачей будущих исследований становится сравнение массивов коренных и производных лесов.

Авторы выражают глубокую признательность одному из родоначальников исследований на территории “Вепского леса” Виктору Николаевичу Федорчуку за идейное руководство и вдохновение, а также всем коллегам, принимавшим участие в полевых и организационных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беляева К.А. Ландшафтная приуроченность лесных сообществ юго-западной части Вепсовской возвышенности: Мат-лы Международной науч.-техн. конф., посвященной 85-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 65-летию Белорусского географического общества. Минск: БГУ, 2019. С. 340–343.
- Березин Г.В., Шорохова Е.В., Шорохов А.А., Капица Е.А., Корепин А.А. Естественное возобновление ели европейской в коренных лесах Балтийско-Белозерского таежного района // СПб.: Политех-Пресс, 2020. 36–38 с.
- Громцев А.Н. Производные леса на западе таежной зоны России: понятия, происхождение, идентификация // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 5. С. 5–16.
- Дыренков С.А. Структура и динамика таежных ельников // Л.: Наука, 1984. 174 с.
- Дыренков С.А., Савицкий С.С. Резерват “Вепский лес”: (Методические указания и каталог важнейших объектов). Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. 84 с.
- Дыренков С.А., Федорчук В.Н. Лесная растительность заповедного участка “Вепский лес” (восток Ленинградской области) // Ботанический журнал. 1975. Т. 60. № 3. С. 424–431.
- Коротков В.Н. Новая парадигма в лесной экологии // Биологический науки. № 8 (332). 1991. С. 7–20.
- Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 6. С. 528–532.
- Мелехов И.С. Основы типологии вырубков // Основы типологии вырубков и ее значение в лесном хозяйстве. Архангельск, 1959. С. 5–23.
- Мельников Е.С., Сеннов С.Н., Грязькин А.В., Мартынов А.Н., Смирнов А.П. Закономерности восстановительных процессов в лесных экосистемах на объектах хозяйственного воздействия // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2003. № 169. С. 191–205.
- Мошкалева А.Г., Нахабцев М.А., Пищелин М.И. Новые таблицы для таксации лесного фонда // Лесное хозяйство. 1966. № 5. С. 48–51.
- Мошкалева А.Г., Давидов Г.М., Яновский Л.Н., Моисеев В.С., Столяров Д.П., Бурневский Ю.И. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР // Л.: ЛТА, 1984. 320 с.
- Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки (ОСТ 56-69-83). М.: Гос. комитет СССР по лесн. хоз-ву, 1983. 60 с.
- Савицкий С.С. Организация лесных эталонных участков: Методические указания. Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. 48 с.
- Смирнова А.А., Филиппов Г.В. Обработка пробных площадей на ЭВМ ЕС: Методические рекомендации // Л.: ЛенНИИЛХ, 1983. 31 с.
- Соловьев В.М. Развитие представлений о производительности и продуктивности насаждений различных типов леса // Леса России и хозяйство в них. Вып. 2 (36). Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. С. 3–9.
- Сукачев В.Н., Дылис Н.В. Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 566 с.
- Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора: Таблицы для таксации леса. М.—Л.: Гослесбумиздат, 1952. 853 с.
- Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л., Андреева А.А., Моисеев Д.В. Резерват “Вепский лес”: Лесоводственные исследования // СПб: СПбНИИЛХ, 1998. 208 с.
- Федорчук В.Н., Шорохова Е.В., Шорохов А.А., Кузнецова М.Л. Возрастная динамика еловых древостоев северо-западной части Русской равнины // Лесоведение. 2011. № 3. С. 3–13.
- Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г., Нильсон С., Булуй Ю.И. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесобразующих пород Северной Евразии // М.: Федеральное агентство лесного хозяйства Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, 2008. 886 с.
- Шорохова Е.В., Капица Е.А., Корепин А.А., Шорохов А.А., Березин Г.В., Шорохова М.А. Роль стационарных исследований биогеоценозов и массивов возрастает в условиях изменения климата // СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2021.
- Шорохова Е.В., Корепин А.А., Капица Е.А., Березин А.А., Шорохов А.А., Шорохова М.А. Ценолитическое разнообразие и долговременная динамика массива “Вепский лес” // Лесоведение. 2022. № 6. С. 643–657.
- Шорохова М.А., Березин Г.В., Капица Е.А., Шорохова Е.В. Характеристики крупных древесных остатков в лесном массиве “Вепский лес” — эталоне природы средней тайги // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. № 236. С. 198211.
- Kuuluvainen T., Aakala T. Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification // Silva Fennica. 2011. V. 45. № 5. P. 823–841.

Half-Century Dynamics of Structure and Productivity of Forest Stands in Primeval and First Time Clear Cut Middle Boreal Forests

A. A. Korepin¹*, E. A. Kapitsa¹, A. A. Shorohov², E. V. Shorohova¹

¹Saint-Petersburg Forestry University, Institiutskiy ln. 5, Saint-Petersburg, 194021 Russia

²IKEA Industry Tikhvin ltd., Shvedskiy ln. 15, Tikhvin, Leningradsky region, 187556 Russia

*E-mail: aakorepin@yandex.ru

In view of actively discussed intensification of forest management, decreasing areas of natural forests and associated biological diversity, understanding the mechanisms of biogeocenoses recovery after disturbances is becoming more and more relevant. We studied the successional dynamics of middle taiga forest communities after first clear cut as compared to the natural dynamics of primeval forest

communities in the control plots. Our specific objectives were to: 1) compare growing stock of forest stands (total values, distribution by tree species, variation during the observation period); 2) identify distribution of trees number and growing stock by diameter; 3) evaluate the indicators of stand productivity (annual growth increment); 4) describe the dynamics of tree species composition in the harvested forest stands. The results rely on the long-term permanent plot records. The growing stock and the number of trees in primeval stands weren't constant over the observation period. Natural disturbances caused by strong winds contributed to a significant fluctuation in the number of trees and growing stock of some stands. The growing stock of stands recovering after felling in many cases becomes comparable to the stock of primeval forest stands by the age of 50 years. At certain periods, in some primeval and harvested forest stands, there is a similarity in the diameter distribution of growing stock and the number of trees caused by disturbances of similar severity — clear cut or windthrow. The productivity of middle-aged forest stands was significantly higher than that of primeval stands. Many first time clear cut forest stands were characterized by the dominance of deciduous species. Nevertheless, conifers also had a significant share in most tree stands on the account of preserved spruce undergrowth and seeding from the neighboring tree stands. Our results can be used for developing optimal forest management scenarios and restoration programmes for forest ecosystem services in managed forests.

Keywords: growing stock, stem number, growth increment, succession, clear cut, windthrow, regeneration, productivity.

Acknowledgements: The study has been carried out with the financial support of the RSF No. 22-26-00177.

REFERENCES

- Belyaeva K.A., Landshaftnaya priurochennost' lesnykh soobshchestv yugo-zapadnoi chasti Vepsovskoi vozvysheynosti (Landscape distribution of forest communities of South-West part of Veps upland), *International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 85th anniversary of the Faculty of Geography and Geoinformatics of the Belarusian State University and the 65th anniversary of the Belarusian Geographical Society*, Minsk, Conf. Proc., Minsk: BGU, 2019, pp. 340–343.
- Berezin G.V., Shorokhova E.V., Shorokhov A.A., Kapitsa E.A., Korepin A.A., *Estestvennoe vozobnovlenie eli evropeiskoi v korennykh lesakh Baltiisko-Belozerskogo taezhnogo raiona* (Natural regeneration of European spruce in the primary forests of the Baltic-Belozersky taiga region), Saint Petersburg: Politekh-Press, 2020, pp. 36–38.
- Dyrenkov S.A., Fedorchuk V.N., Lesnaya rastitel'nost' zapovednogo uchastka "Vepsskii les" (vostok Leningradskoi oblasti) (Forest vegetation of the protected area "Vepssky forest" (east of the Leningrad region)), *Botanicheskii zhurnal*, 1975, Vol. 60, No. 3, pp. 424–431.
- Dyrenkov S.A., Savitskii S.S., *Rezervat "Vepsskii les": Metodicheskie ukazaniya i katalog vazhneishikh ob"ektov* (Nature reserve "Veps forest": Guidelines and catalog of the most important objects), Leningrad: LenNIILKh, 1981, 84 p.
- Dyrenkov S.A., *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* (Structure and dynamics of the boreal spruce forest), Leningrad: Nauka, 1984, 174 p.
- Fedorchuk V.N., Kuznetsova M.L., Andreeva A.A., Moiseev D.V., *Rezervat "Vepsskii les". Lesovodstvennyye issledovaniya* (Vepsian forest reserve. Forestry studies), Saint Petersburg: Izd-vo SPbNIILKh, 1998, 208 p.
- Fedorchuk V.N., Shorokhova E.V., Shorokhov A.A., Kuznetsova M.L., *Vozrastnaya dinamika elovykh drevostoev severo-zapadnoi chasti Russkoi ravniny* (Age dynamics of spruce stands in Northwestern Russian Plain), *Lesovedenie*, 2011, No. 3, pp. 3–13.
- Gromtsev A.N., *Proizvodnye lesa na zapade taezhnoi zony Rossii: ponyatiya, proiskhozhdenie, identifikatsiya* (Secondary forests in the West of the Russian boreal zone: concepts, genesis, identification), *Trudy KarNTs RAN*, 2019, No. 5, pp. 5–16.
- Korotkov V.N., *Novaya paradigma v lesnoi ekologii* (A new paradigm in forest ecology), *Biologicheskii nauki*, 1991, No. 8 (332), pp. 7–20.
- Kuuluvainen T., Aakala T., *Natural forest dynamics in boreal Fennoscandia: a review and classification*, *Silva Fennica*, 2011, Vol. 45, No. 5, pp. 823–841.
- Lukina N.V., *Global'nye vyzovy i lesnye ekosistemy* (Global challenges and forest ecosystems), *Vestnik RAN*, 2020, Vol. 90, No. 6, pp. 528–532.
- Melekhov I.S., *Osnovy tipologii vyrubok* (Fundamentals of felling typology), In: *Osnovy tipologii vyrubok i ee znachenie v lesnom khozyaistve* (Fundamentals of felling typology and its significance in forestry), Arkhangel'sk, 1959, pp. 5–23.
- Mel'nikov E.S., Sennov S.N., Gryaz'kin A.V., Martynov A.N., Smirnov A.P., *Zakonomernosti vosstanovitel'nykh protsessov v lesnykh ekosistemakh na ob"ektakh khozyaistvennogo vozdeistviya* (Patterns of restoration processes in forest ecosystems at the objects of economic impact), *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2003, No. 169, pp. 191–205.
- Moshkalev A.G., Davidov G.M., Yanovskii L.N., Moiseev V.S., Stolyarov D.P., Burnevskii Y.I., *Lesotaksatsionnyi spravochnik po Severo-Zapadu SSSR* (Forest

- inventory guide for the North-West of the USSR), Leningrad: LTA, 1984, 320 p.
- Moshkalev A.G., Nakhabtsev M.A., Pishchelin M.I., *Novye tablitsy dlya taksatsii lesnogo fonda* (New tables for forest fund inventory), *Lesnoe khozyaistvo*, 1966, No. 5, pp. 48–51.
- OST 56-69-83*, (Industrial standard), Moscow: TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1983, 60 p.
- Savitskii S.S., *Organizatsiya lesnykh etalonnykh uchastkov* (Organization of standard forest zones), Leningrad: LenNIILKh, 1986, 48 p.
- Shorokhova E.V., Kapitsa E.A., Korepin A.A., Shorokhov A.A., Berezin G.V., Shorokhova M.A., *Rol' statsionarnykh issledovaniy biogeotsenozov i massivov vozrastayet v usloviyakh izmeneniya klimata* (The role of stationary studies of biogeocenoses and massifs is increasing in the context of climate change), Saint Petersburg: Izd-vo Politekhnikeskogo un-ta, 2021.
- Shorokhova E.V., Korepin A.A., Kapitsa E.A., Berezin A.A., Shorokhov A.A., Shorokhova M.A., *Tsenoticheskoe raznoobrazie i dolgovremennaya dinamika massiva "Vepsskii les"* (Cenotic diversity and the long-term dynamics of the Veps forest woodland), *Lesovedenie*, 2022, No. 6, pp. 643–657.
- Shorokhova M.A., Berezin G.V., Kapitsa E.A., Shorokhova E.V., *Kharakteristiki krupnykh drevesnykh ostatkov v lesnom massive "Vepsskii les" — etalone prirody srednei taigi* (Characteristics of coarse woody debris in the "Vepssky Forest" reserve, a reference of primeval middle boreal forest), *Izvestiya Sankt-Petersburgskoi lesotekhnicheskoi akademii*, 2021, No. 236, pp. 198–211.
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Nil'son S., Bului Y.I., *Tablitsy i modeli khoda rosta i produktivnosti nasazhdenii osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Severnoi Evrazii: normativno-spravochnye materialy* (Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia), Moscow: Izd-vo Rosleskhoz, IASA, 2008, 886 p.
- Smirnova A.A., Filippov G.V., *Obrabotka probnykh ploshchadei na EVM ES* (Processing of trial plots on the YeS EVM), Leningrad: LenNIILKh, 1983, 31 p.
- Solov'ev V.M., *Razvitie predstavlenii o proizvoditel'nosti i produktivnosti nasazhdenii razlichnykh tipov lesa* (Development of ideas about the productivity and productivity of plantations of various types of forests), In: *Les Rossii i khozyai stvo v nikh* (Forests of Russia and the economy in them), Ekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2010, Issue 2 (36), pp. 3–9.
- Sukachev V.N., Dylis N.V., *Osnovy lesnoi biogeotsenologii* (Fundamentals of forest biogeocoenology), Moscow: Nauka, 1964, 566 p.
- Tret'yakov N.V., Gorskii P.V., Samoilovich G.G., *Spravochnik taksatora* (Handbook for taxators), Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1952, 853 p.

УДК 630*181.7

ДИАГНОСТИКА РОСТА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ В КУЛЬТУРАХ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ СМОЛЕНСКО-МОСКОВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ¹

© 2024 г. М. Д. Мерзленко^а, В. А. Брынцев^{б, *}, А. А. Коженкова^б

^аИнститут лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., 143030 Россия

^бГлавный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, ул. Ботаническая, д. 4, Москва, 127276 Россия

*E-mail: bryntsev@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2023 г.

После доработки 23.06.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Вопросы диагностики роста деревьев в насаждении имеют значительный научный и практический интерес. Целью исследований являлось обоснование использования показателя “высота деревьев в 10-летнем возрасте” для диагностики их последующего роста и производительности в лесных культурах ели европейской (*Picea abies* (L.) N. Karst.). Объектами исследования были 70-летние монокультуры ели. На пробных площадях (ПП) по способу пропорционально-ступенчатого представительства брали модельные деревья, которые после раскряжевки подвергали полному анализу древесного ствола, в результате чего рассчитывали высоту дерева в 10-летнем возрасте, высоту, диаметр и объем ствола — в 70-летнем. Установлено, что с возрастом в лесных культурах ели часть деревьев-лидеров способна терять свои позиции, а деревья-аутсайдеры, наоборот, могут повышать свое ранговое положение. При этом средние деревья в насаждении являются как бы центром такого взаимообразного процесса, по всем трем таксационным показателям (высота, диаметр и объем ствола) их положение с возрастом становится наиболее стабильным. Таким образом, высоту в 10-летнем возрасте вполне можно рассматривать как диагностический признак, указывающий на дальнейший рост деревьев в лесных культурах.

Ключевые слова: ель европейская, лесные культуры, ранняя диагностика роста.

DOI: 10.31857/S0024114824010045, EDN: SMARKO

Ранняя диагностика последующего роста деревьев в насаждении имеет значительный научный и практический интерес. В ряде работ по ранней диагностике роста деревьев указывается, что размеры семян влияют на их последующий рост в лесных культурах (Мойко, Ковалев, 1977; Пигарев и др., 1987; Werner, 1987; Маркова, 1989; Коженкова, Захарова, 2015). Как правило, высоту семян исследователи относят к наилучшим показателям для прогнозирования дальнейшей быстроты их роста. По данным М.Д. Мерзленко, Ю.Г. Гуртяченко (1990), в лесных культурах ели европейской максимальными годовыми приростами в высоту обладали не самые крупные и тем более не самые мелкие, а растения средней высоты из общей выборки посадочного материала. К сожалению, до сих пор почти все исследования не выходят по длительности за рамки II класса возраста насаждений, т.е. 40-летнего возраста. Только в последнее время в работе М. В. Рогозина и Г. С. Разина (2012) установлены

зависимости объемов стволов в 70–78-летних культурах ели от диаметров их стволиков в раннем возрасте. Вместе с тем высоты деревьев — это менее варьирующий показатель, чем их диаметры, которые в большей мере зависят от фитоценотической обстановки в насаждении (Миронов, 1977). Высота, по мнению Е.Г. Stahl (1985) и М.В. Рогозина (2010), является наилучшим из диагностических признаков при проведении отбора, а при использовании двух и более признаков в ходе ранней диагностики на продуктивность и быстроту роста точность прогнозирования существенно не увеличивается.

Целью исследований являлось обоснование использования показателя “высота деревьев в 10-летнем возрасте” для диагностики их последующего роста и производительности в лесных культурах ели европейской.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектами для исследования послужили 70-летние монокультуры ели, произрастающие в условиях коренных ельников-кисличников Смоленско-Московской возвышенности на территории пяти лесничеств:

¹Работа В.А. Брынцева и А.А. Коженковой выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН по теме № 122042700002-6.

Дмитровского, Истринского, Волоколамского и Вере́йского. Густота посадки составляла 5–7 тыс. 2-летних сеянцев на 1 га. Насаждения не подвергались интенсивным рубкам ухода и санитарным рубкам. Полнота в 70 лет составляла 0.8–0.9. Класс бонитета первый.

Методическая работа начиналась с закладки в хорошо сохранившихся насаждениях ПП согласно ОСТ 56-69-83 (всего 8 ПП). После перечислительной таксации по способу пропорционально-ступенчатого представительства (Анучин, 1982) брались модельные деревья (всего взято 106 модельных деревьев из расчета 10% моделей от числа живых деревьев на каждой ПП). Каждое модельное дерево после раскряжевки подвергалось полному анализу древесного ствола, в результате чего рассчитывали основные исходные показатели: высоту дерева в 10-летнем возрасте; высоту, диаметр и объем ствола как показатели производительности в 70-летнем возрасте.

Объем ствола зависит не только от значений его диаметра, высоты и видового числа, но и от характера (формы) боковой поверхности ствола. Последняя в большей степени зависит от фитоценотической обстановки, которая может быть весьма разной на протяжении роста дерева. Это обстоятельство учтено нами путем расчета объемов стволов по сложной формуле срединных сечений двухметровых отрезков раскряжеванного ствола (Анучин, 1982).

В качестве исходного диагностического показателя была взята высота дерева в 10-летнем возрасте. В отличие от диаметра высота в лесных культурах ели — это более стабильный и менее варьирующий от фитоценотической обстановки показатель. Так, например, по нашим расчетам, на основании

массовой перечислительной таксации в 70-летних лесных культурах ели региона исследований коэффициент вариации по диаметру составляет 29.2% при показателе точности опыта 1.6%, а по высоте — соответственно 11.9% и 1.3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании данных по 106 анализам древесных стволов выполнены зависимости высот, диаметров и объемов стволов 70-летних деревьев ели от их высот в возрасте 10 лет (рис. 1, 2, 3). При этом резонно возник вопрос: насколько использование высот, взятых из анализа древесных стволов, соответствует высотам произрастающих лесных культур 10-летнего возраста. Средняя высота в 10 лет по генеральной совокупности всех 106 модельных деревьев составила 2.9 м (коэффициент вариации равен 22.8%, точность опыта — 2.3%). Оказалось, что это значение средней высоты, рассчитанное на основании результатов анализов модельных деревьев, полностью соответствует средней высоте 10-летних лесных культур ели, произрастающих в условиях типичных ельников-кисличников с суглинистыми почвами, подстилаемыми тяжелыми покровными суглинками Смоленско-Московской возвышенности (Бородин, 1972; Мерзленко, Шестакова, 1992).

На рис. 1, 2, 3 нами выделены деревья-лидеры, средние деревья и деревья-аутсайдеры со значениями высот в возрасте 10 лет и соответствующими им значениями высот, диаметров и объемов стволов в возрасте 70 лет. Чтобы разграничить три ранговые группы (лидеры, средние деревья и аутсайдеры), по каждому из таксационных показателей (например, высота) брались максимальные и минимальные значения, диапазон их разницы принимался за 100%.

Таблица. Переход деревьев из одной ранговой группы в другую по таксационным показателям в 70 лет в зависимости от исходного ранга высот в 10 лет (%)

Ранговые группы по высоте в 10 лет	Ранги в возрасте 70 лет		
	аутсайдеры	средние	лидеры
По высоте модельных деревьев			
Аутсайдеры	9	64	27
Средние	—	70	30
Лидеры	—	35	65
Совокупность всех ранговых групп	3	61	36
По диаметру модельных деревьев			
Аутсайдеры	21	70	9
Средние	13	73	14
Лидеры	—	53	47
Совокупность всех ранговых групп	9	69	22
По объему модельных деревьев			
Аутсайдеры	52	48	—
Средние	31	64	5
Лидеры	6	59	35
Совокупность всех ранговых групп	33	58	9

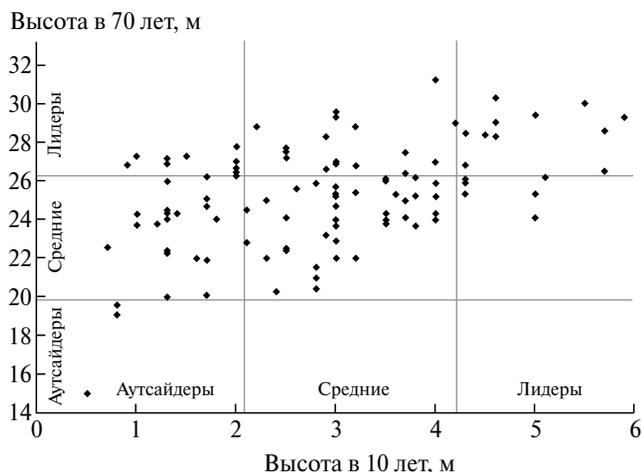


Рис. 1. Матрица изменения ранга по высоте дерева к 70 годам от исходного ранга по высоте в 10 лет.

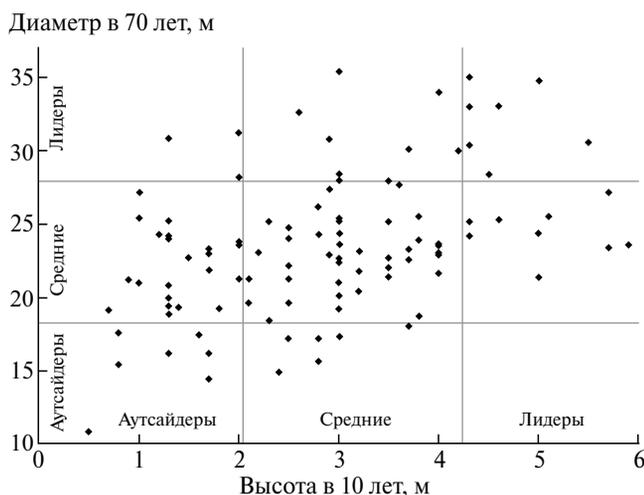


Рис. 2. Матрица изменения ранга по диаметру дерева к 70 годам от исходного ранга по высоте в 10 лет.

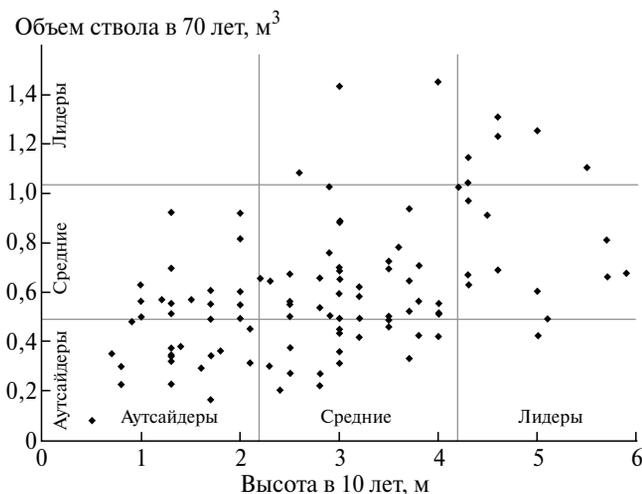


Рис. 3. Матрица изменения ранга по объему ствола дерева к 70 годам от исходного ранга по высоте в 10 лет.

Далее пропорционально из полученной разницы по 30% относили к лидерам и аутсайдерам, а 40% — к средним деревьям, т.е. ранговые группы в итоге выделялись не по численности деревьев, а по ранговым значениям величин конкретных таксационных показателей (Маслаков, 1984). Такой подход выразился в том, что в 10-летнем возрасте на долю деревьев-лидеров приходилось всего 16% из 106 моделей. В абсолютном выражении деревья-лидеры составили 17 экземпляров, средние — 56, аутсайдеры — 33.

Используя данные анализов древесных стволов, рассчитали вероятность (%) перехода к 70-ти годам деревьев из одной ранговой группы в другую в зависимости от исходного ранга по высоте в 10 лет (табл.).

Из таблицы видно, что по всем трем таксационным показателям (высота, диаметр и объем ствола) наиболее стабильна численность в группе средних деревьев. Однако понятие “стабильность” весьма относительное, поскольку по высоте 30% средних деревьев перешло в ранг лидеров, по диаметру в лидеры перешло 14%, а 13% — в ранг деревьев-аутсайдеров. По объему ствола из числа средних деревьев 31% перешел в аутсайдеры, и только 5% оказалось в лидерах. При всем этом и по высоте, и по диаметру, и по объему ствола средние деревья в целом составляют большинство, т.е. наиболее стабильны на протяжении 70 лет.

Деревья-аутсайдеры способны к 70 годам по высоте и диаметру переходить не только в группу средних, но даже и в группу лидеров (это 27% из числа аутсайдеров по высоте и 9% по диаметру). Что касается деревьев-лидеров, то по показателям высоты, диаметра и объема ствола прослеживается четкая тенденция перехода части стволов в группу среднего ранга. Таким образом, с возрастом в лесных культурах ели часть лидеров способна терять свои позиции, а деревья-аутсайдеры, наоборот, могут повышать свое ранговое положение. При этом среднее положение деревьев в насаждении становится как бы центром такого взаимообразного процесса. Следует отметить, что особенность высоких и низких деревьев сближаться с течением времени со средними была зафиксирована ранее Г.Р. Эйтингеном (1962).

Как видно из таблицы, по объему ствола деревья, изначально являвшиеся аутсайдерами, к 70 годам не могут стать лидерами, а вот деревья, будучи лидерами в 10-летнем возрасте, к 70 годам только в 35% случаев сохраняют лидерство по объему стволовой древесины.

Высота как в жизни дерева-индивидуума, так и в жизни древесного сообщества в целом играет очень важную роль. Ее (высоту), как и способность во времени быстро наращивать энергию роста, надо признать важным эволюционным средством в борьбе за жизненное пространство и главное — за световое довольствие. При этом древесный организм в пользу роста по высоте снижает камбиальную деятельность по всей образующей ствола, поскольку, по мнению В.В. Миронова (1977), важнее рост в высоту, а не по диаметру.

Наличие в одновидовом и одновозрастном древостое деревьев с замедленным ростом в молодости и ускоренным в будущем и, наоборот, наличие растений с обратной спецификой роста — это свойство древесного сообщества сохранять в целом свое устойчивое жизненное состояние. Все это хорошо подкрепляется многовековой лесокультурной практикой: создание посадок исключительно из очень крупного посадочного материала приводит к сильной внутривидовой борьбе, расстройству и даже к ранней гибели искусственного насаждения.

Несколько иначе, чем с высотой и диаметром, обстоит дело с учетом итоговой динамики объемов деревьев разных ранговых групп, ибо объем ствола зависит не только от высоты, диаметра и видового числа дерева, но и от сбежистости и формы образующей ствола. Последние два фактора связаны с фитоценотической обстановкой и с генетической конституцией отдельных деревьев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для практики лесного хозяйства важно выделять деревья-лидеры и близкие к ним по признаку высоты средние деревья. Положительными являются своевременные рубки ухода по классическому низовому методу, т.е. приемы с вырубкой наиболее отстающих в росте деревьев. Из практики рубок ухода должны быть исключены верховой и комбинированный методы уходов, при которых вырубается деревья-лидеры и лучшие экземпляры из числа средних деревьев, что уже давно подтверждено отрицательными результатами таких приемов на ряде экспериментальных объектов (Георгиевский, 1948; Мерзленко и др., 2008). Что касается средних деревьев, то они более стабильны по своему ранговому положению.

Таким образом, высоту в 10-летнем возрасте вполне можно рассматривать как диагностический признак, указывающий на перспективу повышенного роста и производительности деревьев в лесных культурах старших возрастов. При рубках ухода необходимо своевременно удалять из насаждений наиболее отстающие в росте деревья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 512 с.

Бородин А.М. Культуры ели в повышении производительности лесов. М.: Лесная промышленность, 1972. 144 с.

Георгиевский Н.П. О развитии насаждений при рубках ухода // Развитие русского лесоводства. Вып. 1. М.—Л.: Государственное лесотехническое издательство, 1948. С. 112—179.

Коженкова А.А., Захарова М.И. Особенности роста посадочного материала сосны обыкновенной в лесных питомниках Смоленско-Московской возвышенности // Вестник Московского государственного университета леса — Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 6. С. 34—37.

Маркова И.А. Агротехника и технология создания высокопродуктивных культур ели и сосны промышленными методами на северо-западе РСФСР: автореф. дис. д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Л., 1989. 32 с.

Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная промышленность, 1984. 168 с.

Мерзленко М.Д., Гуртяченко Ю.Г. Оптимальная высота трехлетних сеянцев ели // Лесохозяйственная информация. 1990. № 11. С. 30—31.

Мерзленко М. Д., Шестакова Е. Ю. Биологическая продуктивность искусственных молодняков ели // Научные труды Московского государственного университета леса. Вып. 257. М.: МГУЛ, 1992. С. 38—45.

Мерзленко М.Д., Мельник П.Г., Сухоруков А.С. Лесоводственная экскурсия в Лосиный Остров. М.: МГУЛ, 2008. 128 с.

Миронов В.В. Экология хвойных пород при искусственном лесовозобновлении. М.: Лесная промышленность, 1977. 232 с.

Мойко М.Ф., Ковалев М.С. Рост лесных культур в зависимости от размеров сеянцев // Лесное хозяйство. 1977. № 1. С. 52—54.

ОСТ 56-69-83 Пробные площади лесоустойчивые. Методы закладки. М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. 59 с.

Пигарев Ф.Т., Беляев В.В., Сунгуров Р.В. Комплексная оценка качества посадочного материала и его применение на Европейском Севере. Архангельск: АИЛиЛХ, 1987. 14 с.

Рогозин М.В. Наследуемость высоты у сосны обыкновенной и ели сибирской в Пермском крае // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. 27. № 1—2. С. 181—184.

Рогозин М.В., Разин Г.С. Лесные культуры Теплоуховых в имении Строгановых на Урале: история, законы развития, селекция ели. Пермь: Пермский гос. исслед. ун-т, 2012. 210 с.

Эйттинген Г.Р. Избранные труды. М.: Сельхозиздат, 1962. 500 с.

Stahl E.G. Provenance and plus tree selection different age of trees. An analysis of a 41-years old proven ants trial with *Picea abies* (L.) Karst, in South Western // Sweden department of forests research, Report № 16. Swedish university of agricultural sciences. Gartenberg. 1985. P. 1—30.

Werner M. Selection methods and its influence on a large scale propagation programme in Sweden // Forest tree improvement. 1987. № 20. P. 79—101.

Growth and Productivity of Trees in Forest Crops of Norway Spruce in Smolensk-Moscow Upland

M. D. Merzlenko¹, V. A. Bryntsev^{2,*}, A. A. Kozhenkova²

¹Institute of Forest Science, RAS Sovetskaya st. 21,

Uspenskoe, Odintsovsky District, Moscow Oblast, 143030 Russian Federation

²The Principal Botanical Garden of the RAS, Botanicheskaya st. 4, Moscow, 127276 Russian Federation

*E-mail: bryntsev@mail.ru

The issues of diagnosing tree growth in a plantation are of a significant scientific and practical interest. The purpose of the research was to substantiate the use of the indicator “tree height at 10 years of age” to diagnose their subsequent growth and productivity in Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.) forest crops. 70-year-old spruce monocultures were chosen as objects for the study. Model trees were chosen on trial plots (TP) using the method of step-by-step proportional representation. After cross-cutting, they were subjected to a complete analysis of the trunk and as a result, the height of the tree at 10 years of age and the height, diameter and volume of the trunk at 70 years of age were calculated. It has been established that with age in spruce forest plantations, some of the trees that started off stronger may eventually lose their ranking positions, while the initially weaker trees, on the contrary, can raise up through the ranks. At the same time, the more average trees in the plantation remain at the centre of such a process; according to all three inventory indicators (height, diameter and the volume of the trunk), their position becomes the most stable with age. Thus, the height at 10 years of age can be considered as a diagnostic sign indicating further growth of trees in forest plantations.

Keywords: European spruce, forest crops, early trunk diagnostics.

Acknowledgements: The work performed by V.A. Bryntsev and A.A. Kozhenkova was carried out within the framework of the State contract with the PBC RAS (No. 122042700002-6).

REFERENCES

- Anuchin N.P., *Lesnaya taksatsiya* (Forest taxation), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- Borodin A.M., *Kul'tury eli v povyshenii proizvoditel'nosti lesov* (Spruce crops in increasing forest productivity), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1972, 144 p.
- Eitingen G.R., *Izbrannye trudy* (Selecta), Moscow: Sel'khozizdat, 1962, 500 p.
- Georgievskii N.P., O razvitií nasazhdenii pri rubkakh ukhoda (On the development of plantings during thinning), In: *Razvitie russkogo lesovodstva* (Development of Russian forestry), Moscow-Leningrad: Gosudarstvennoe lesotekhnicheskoe izdatel'stvo, 1948, Issue 1, pp. 112-179.
- Kozhenkova A.A., Zakharova M.I., Osobennosti rosta posadochnogo materiala sosny obyknovЕННОI v lesnykh pitomnikakh Smolensko-Moskovskoi vozyvshennosti (Characteristics of growth of planting material of Scots pine in the forest nurseries of the Smolensk-Moscow region), *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa — Lesnoi vestnik*, 2015, Vol. 19, No. 6, pp. 34-37.
- Markova I.A., *Agrotekhnika i tekhnologiya sozdaniya vysokoproduktivnykh kul'tur eli i sosny promyshlennymi metodami na Severo-zapade RSFSR. Avtoref. dis. d-ra s.-kh. nauk* (Agrotechnics and technology for creating highly productive spruce and pine crops by industrial methods in the Northwest of the Russian SFSR. Extended abstract of doctor's agric. sci. thesis), Leningrad: Leningrd. lesotekh. akademiya, 1989, 40 p.
- Maslakov E.L., *Formirovanie sosnovykh molodnyakov* (Development of pine young-growth), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 165 p.
- Merzlenko M.D., Gurtyachenko Y.G., Optimal'naya vyсота trekhletnikh seyantsev eli (Optimal height of three-year-old spruce seedlings), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 1990, No. 11, pp. 30-31.
- Merzlenko M.D., Mel'nik P.G., Sukhorukov A.S., *Lesovodstvennaya ekskursiya v Losinyi Ostrov* (Silvicultural excursion to Losinyi ostrov), Moscow: MGUL, 2008, 128 p.
- Merzlenko M.D., Shestakova E.Y., Biologicheskaya produktivnost' iskusstvennykh molodnyakov eli (Biological productivity of artificial young spruce trees), *Nauchnye trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa*, 1992, Issue 257, pp. 38-45.
- Mironov V.V., *Ekologiya khvoinykh porod pri iskusstvennom lesovozobnovlenii* (Ecology of conifer during artificial reforestation), Moscow: "Lesnaya prom-ost", 1977, 232 p.
- Moiko M.F., Kovalev M.S., Rost lesnykh kul'tur v zavisimosti ot razmerov seyantsev (Growth of forest crops depending on the size of seedlings), *Lesnoe khozyaistvo*, 1977, No. 1, pp. 52-54.
- OST 56-69-83 (OST 56-69-83 Sample plots for forest management), Moscow: TsBNTIleskhoz, 1984, 59 p.
- Pigarev F.T., Belyaev V.V., Sungurov R.V., *Kompleksnaya otsenka kachestva posadochnogo materiala i ego primeneniye na Evropeiskom Severe* (Comprehensive assessment of the quality of planting material and its use in the European North), Arkhangel'sk: AILiLKh, 1987, 14 p.
- Rogozin M.V., Nasleduemost' vysoty u sosny obyknovЕННОI i eli sibirskoi v Permskom krae (Hereditability of height at a pine ordinary and fur-trees Siberian in Perm region), *Khvoinye boreal'noi zony*, 2010, Vol. 27, No. 1-2, pp. 181-184.
- Rogozin M.V., Razin G.S., *Lesnye kul'tury Teploukhovykh v imenii Stroganovykh na Urale: istoriya, zakony razvitiya, selektsiya eli* (Forest crops of the Teploukhovs on the Stroganovs' estate in the Urals: history, laws of development, spruce selection), Perm: Permskii gosudarst. issled. un-t, 2012, 210 p.
- Stahl E.G., *Provenance and plus tree selection different age of trees. An analysis of a 41-years old provenants trial with Picea abies (L.) Karst, in South Western, Sweden* department of forests research, Report No. 16, Swedish university of agricultural sciences, Gartenberg, 1985, pp. 1-30.
- Werner M., Selection methods and its influence on a large scale propagation programme in Sweden, *Forest tree improvement*, 1987, No. 20, pp. 79-101.

УДК 911.2

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИКУ ЗАРАСТАНИЯ ЛЕСОМ БЫВШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ

© 2024 г. А. П. Белоусова^а, *

^аПермский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Букирева, д. 15, Пермь, 614990 Россия

*E-mail: uran399@mail.ru

Поступила в редакцию 16.05.2023 г.

После доработки 08.08.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Изучение динамики лесозаращения на землях сельскохозяйственного назначения проводилось, начиная с 1990-х гг. как стартового периода массового снижения интенсивности их возделывания. Общая территория зарастания сельскохозяйственных угодий Пермского края составляет 58.8% от общей площади сельскохозяйственных угодий по состоянию на 1985 г. Границы контура леса фиксировались с помощью дистанционных методов и применения архивных космических снимков среднего пространственного разрешения. Анализ динамики проводился в границах равнинных ландшафтов Пермского края с учетом границ почвенных контуров. Установлено, что основными природными факторами дифференциации земель по масштабам и темпам их вывода из сельскохозяйственного оборота являются мелкоконтурность сельскохозяйственных угодий и различия в плодородии почв. В первую очередь лесозаращению были подвержены наименее плодородные, а также наиболее трудные для обработки почвы. Самые плодородные почвы подверглись лесозаращению позднее, по мере снижения аграрной деятельности.

Ключевые слова: равнинные ландшафты Пермского края, восстановление лесной растительности, анализ временных рядов, дистанционные методы, Landsat.

DOI: 10.31857/S0024114824010052, EDN: SLXQ TZ

Современное развитие и функционирование природно-антропогенных экосистем Пермского края характеризуются резкими структурными изменениями. Значительные площади возделываемых в течение многих десятилетий земель стали переходить в лесные экосистемы. За три десятка последних лет, в которые наблюдалось активное выпадение пашни из сельскохозяйственного оборота (Prishchepov et al., 2016), произошло формирование новых лесных урочищ (Белорусцева, 2012).

Территории, относящиеся к землям сельскохозяйственного назначения Пермского края, занимают площадь 4302.2 тыс. га, (более 26% от общей площади края 16024 тыс. га). Тем временем общая площадь зарастания сельскохозяйственных угодий составляет 1386 тыс. га (58.8% от общей площади земель сельскохозяйственного назначения Пермского края) (Белоусова, Брыжко, 2021).

Изучение особенностей развития восстановительной сукцессии на землях сельскохозяйственного назначения, кроме решения проблем, связанных с планированием и землеустройством территорий, имеет важное значение в разработке общей теории

динамики и развития экосистем. Возвращение антропогенных комплексов в состав природных при всей неопределенности их нового статуса в структуре ландшафтов является демонстрацией включения механизма фитогенной устойчивости экосистем, направленной на возвращение в исходное состояние — к инвариантным свойствам (Пузаченко, 1983; Ляпунов, 1984; Тишков, 1989; Попова, 2007; Коломыц, 2018).

Целью данной работы является проведение разновременного анализа лесозаращения почвенных групп на территории сельскохозяйственных угодий. Использование данных дистанционного зондирования Земли совместно с данными полевых обследований для территории равнинных ландшафтов Пермского края проведено впервые.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Выявление особенностей современного развития лесных экосистем в структуре ландшафтов Пермского края потребовало проведения специальных исследований, основанных на сравнении

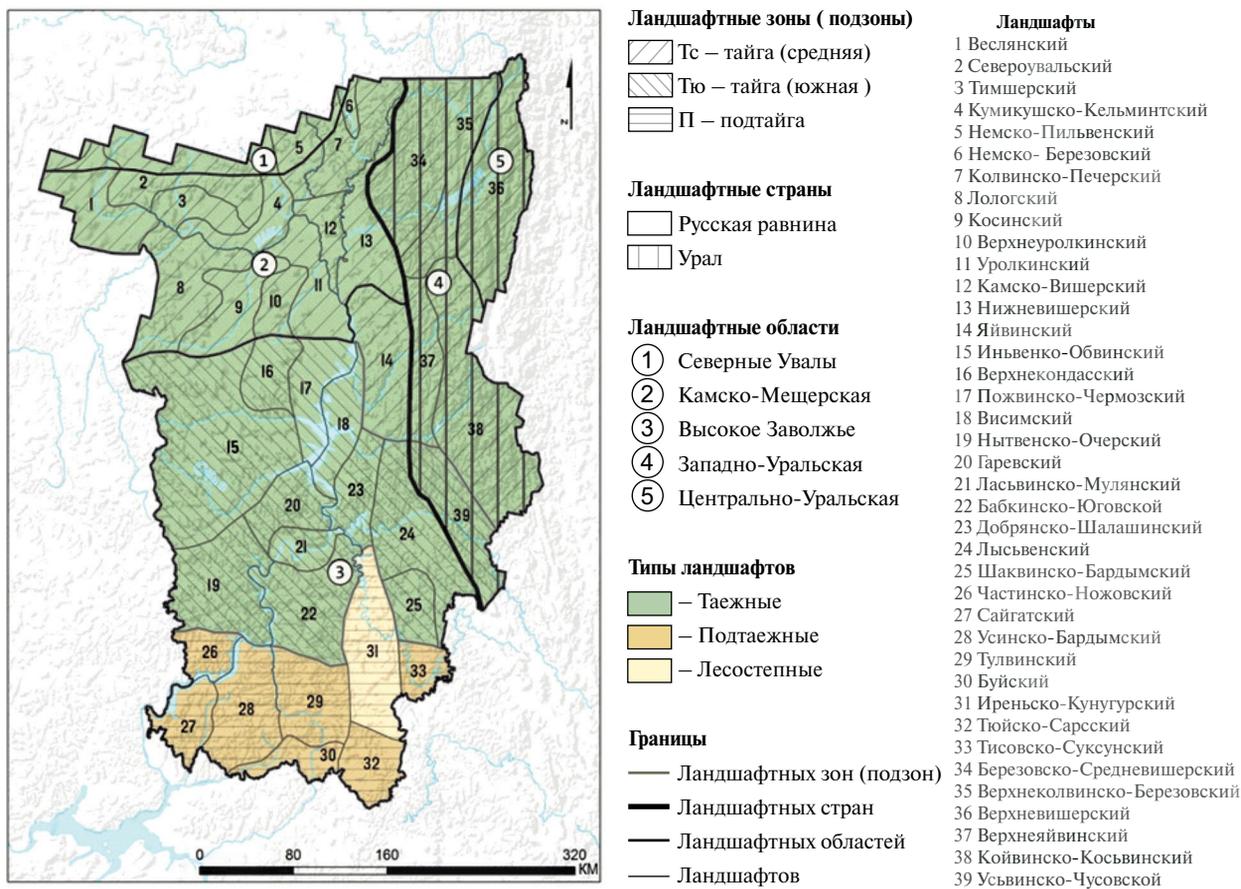


Рис. 1. Ландшафтная карта Пермского края (Назаров, 2011).

контуров залесенных территорий на разновременных космических снимках. Для установления динамики и направленности данного процесса принят временной разрыв в десять лет.

На территории Пермского края выделяются две физико-географические страны: Русская равнина и Урал (рис. 1). В зональном отношении регион дифференцируется на тайгу и подтайгу (подтаежную зону). В границах равнины выделяют ландшафтные области: Высокое Заволжье, Камско-Мещерскую и Северные Увалы. На Урале выделяют две области: Центрально-Уральскую и Западно-Уральскую (Назаров, 2011). Выделение в Пермском крае шести ландшафтных провинций предопределило сочетание зональных и азональных выделов: провинции таежных Северных Увалов, Камско-Мещерской таежной провинции, провинции таежного Высокого Заволжья, Западно-Уральской таежной провинции, Центрально-Уральской таежной провинции и провинции подтаежного Высокого Заволжья.

Ландшафтная дифференциация проведена в соответствии с принципами зонально-азональной однородности, учитывающими единство геологического фундамента, типа рельефа, климата, истории развития, морфологического строения

(с характерным набором фаций и урочищ) (Исаченко, 1991).

Точкой отсчета наблюдений выбрано начало 1990-х гг., когда начались массовые сокращения возделывания сельскохозяйственных угодий в Пермском Предуралье и РФ в целом. Сравнение контура лесных территорий за последующие десятилетия предоставляет возможность установить направленность в формировании лесных экосистем как за счет появления новых, так и за счет расширения площадей уже ранее существовавших лесных выделов.

Исторические границы контура леса фиксировали путем обработки данных спутниковой программы Landsat, доступных за период с 1984 г. по настоящее время. Успешный опыт использования снимков Landsat для проведения таких исследований на региональном и макрорегиональном уровне описан в работах А. V. Prishcheroв с соавторами (2012), М. А. Иванова с соавторами (2017), Е. А. Стыценко (2017), Е. А. Сайб с соавторами (2020).

Методика работы включает в себя следующие основные этапы:

- создание коллекции спутниковых снимков и их предобработка;
- создание маски сельскохозяйственных угодий;



Рис. 2. Типичные участки бывшей пашни, зарастающие молодым лесом на опорных участках Пермского края.

- создание масок лесопокрываемых территорий шагом в 10 лет;
- анализ изменения лесистости территории ландшафтов.

Маска сельскохозяйственных угодий представляет собой границы возделываемых сельскохозяйственных угодий, полученных с использованием спутниковых снимков Landsat за 1986–1988 гг., и дополнительных картографических данных о границах несельскохозяйственных земель.

Выделение лесопокрываемых территорий наиболее эффективно производится по снимкам, полученным в период с устойчивым снежным покровом. Дальнейшая классификация выполняется при помощи проведения управляемой классификации снимка по методу максимального правдоподобия (Белоусова, Брыжко, 2021).

Классификация проводилась в целях определения динамики формирования лесных экосистем, в которых выделяют классы лесопокрываемых и нелесопокрываемых территорий для каждого десятилетия (1990-е, 2000-е, 2010-е, 2020-е гг.). При формировании обучающей выборки учитывали результаты выездов на местность, в ходе которых обследовано 156 участков на территории южной части Пермского края.

При проведении выездных работ было выявлено, что данная методика позволяет дешифровать территории лесных экосистем с преобладанием сомкнутой древесной растительности над кустарниками и травяным ярусом (рис. 2). При подобном анализе нет возможности фиксировать все стадии перехода в лесные экосистемы, в особенности с преобладанием травяного яруса, редких кустарников, небольшого подроста с низкой сомкнутостью.

Дополнительный этап изучения динамики лесозарастания территорий, ранее не занятых лесом, проводился в пределах отдельных почвенных выделов путем совмещения результатов классификации границ лесопокрываемых территорий с 1990 по 2020 гг. и границ почвенных контуров, полученных путем

оцифровки почвенной карты Пермской области 1:300000, составленной по материалам почвенного обследования, начавшегося в 1968 г. и проведенного Пермским филиалом института Уралгипрозем и кафедрой почвоведения Пермского сельскохозяйственного института им. академика Д. Н. Прянишникова в 1978 г. Составление карты осуществлялось путем сводки и обобщения крупномасштабных почвенно-картографических материалов. Карта содержит в себе 36 наименований почв в соответствии с указаниями по классификации и диагностике почв, выпущенными в 1967 г., с данными о гранулометрическом составе почв, почвообразующей породе, степени эродированности и каменистости (Кондратьева, Бажукова, 2019). В данной работе наименования почв сгруппированы по типам и приведены в соответствии с наименованиями по классификации и диагностике почв России 2004 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как показал анализ динамики лесозарастания в пределах Пермского края, наблюдается увеличение площади лесных экосистем. Наиболее массово данный процесс проходил на территории наиболее освоенных ландшафтов, где сельскохозяйственные земли составляли значительную долю. В первую очередь лесозарастанию подвергались мелкоконтурные пашни, сенокосы и луга, расположенные в виде вкраплений в лесные массивы. Лесозарастание территории происходило поступательно, начиная от границы существующих лесных массивов в глубь полей. Как правило, первыми из оборота исключались участки, наименее удобные в сельскохозяйственном использовании. К таким территориям относились поля, расположенные на значительном удалении от населенных пунктов и имеющие неразвитую дорожную сеть. Переставали использоваться участки с высокими значениями уклона и сильно расчлененным рельефом. В дальнейшем процессы зарастания полей массово фиксировались и вблизи населенных пунктов, по мере потери интереса крупных аграрных предприятий

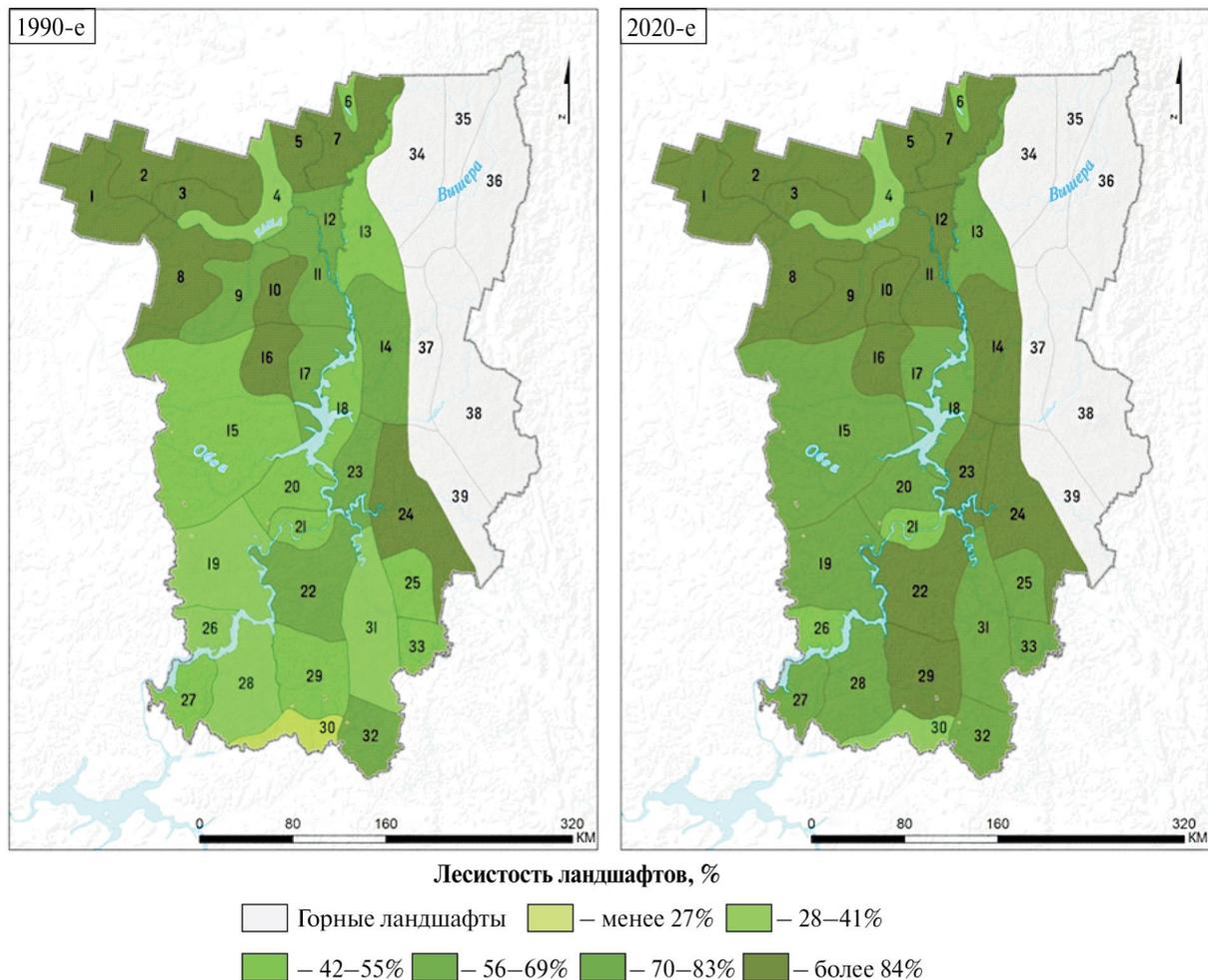


Рис. 3. Лесистость равнинных ландшафтов Пермского края в 1990 и 2020 гг.

к сельскохозяйственному использованию таких земель.

На рис. 3 видно, что наибольшим приростом лесных площадей отличаются ландшафты южно-таежной подзоны и подтаежной зоны, в которых лесистость с 50–60% за три десятилетия увеличилась до 75–80%. Рекордное увеличение лесных площадей с 44.2 до 70.7% произошло в лесостепном ландшафте. Минимальным же приростом характеризовались среднетаежные ландшафты, их увеличение составило всего 5–10%.

В ландшафтах южной тайги значительный прирост новых лесных экосистем произошел в первое десятилетие (7.3%). В большинстве случаев леса возрождались на территориях небольших полей, лугов и сенокосов, часто встречавшихся в виде вкраплений в лесные массивы. В период с 2000 по 2010 гг. наблюдался небольшой спад в интенсивности данного процесса. Почти двукратное увеличение скорости лесозарастания (11.1%) происходит в последнее десятилетие, что становится главной особенностью развития процесса для всех ландшафтов, лежащих к югу от средней тайги.

В ландшафтах подтаежной зоны снижение скорости прироста лесного покрова фиксировалось во второе десятилетие, но затем так же, как и в ландшафтах южной подзоны, происходил ее скачок — прирост на 12.5% в период с 2010 по 2020 г. Территория подтаежной зоны в Пермском крае была и сегодня остается наиболее развитой и востребованной в сельскохозяйственном использовании. Возможно, именно поэтому относительно умеренные темпы сокращения обрабатываемых площадей сохранялись в первые два десятилетия с начала 1990-х гг.

В первое десятилетие территория подтаежного лесостепного ландшафта не подвергается лесозарастанию в связи с сохранением интенсивного землепользования на наиболее плодородных почвах. Основной прирост приходится на два последних десятилетия, когда лесистость ландшафта увеличивается с 44.19 до 70.72% (рис. 4).

Для ландшафта, попадающего в пределы городской агломерации г. Перми (рис. 4) наблюдается такая же тенденция, как и для южнотаежных ландшафтов, — основной прирост лесных экосистем

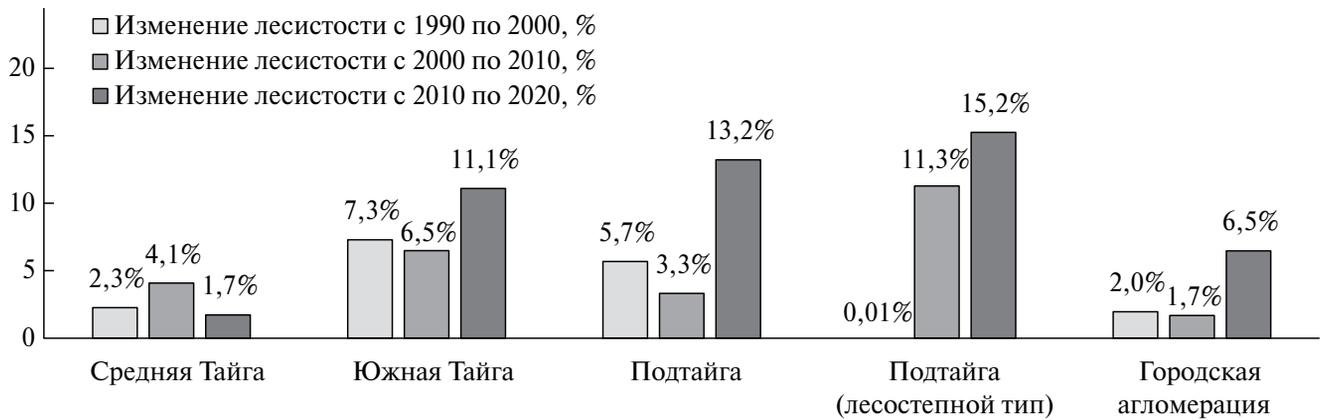


Рис. 4. Средний прирост лесистости ландшафтов в разрезе зон (подзон) и в специальных ландшафтах Пермского края (лесостепной тип и городская агломерация).

произошел в последнее десятилетие. Отличие состоит лишь в том, что из-за близости к городу темпы лесозарастания в нем в первые два десятилетия поддерживались на уровне 1,7–2,0%. С 2010 г. скорость лесозарастания составила уже почти 6,5%. Причиной трехкратного ускорения, по-видимому, следует считать увеличение темпов поляризации аграрного пространства, происходящего в Пермской городской агломерации в последнее десятилетие (Блусь и др., 2016).

Более детально прирост лесных территорий на землях бывших сельскохозяйственных угодий

и интенсивность данного процесса можно проследить на примере анализа изменения площадей отдельных типов почв, подвергающихся лесозарастанию.

Порядок групп почв (сверху вниз) отображен от наиболее плодородных к наименее плодородным, в соответствии с расчетным баллом бонитета по наиболее подходящему для территорий Нечерноземья методу А.С. Фатьянова (1959). В данной методике учитываются такие показатели, как содержание в пахотном слое гумуса и физической глины (%), емкость катионного поглощения (мг-экв),

Таблица 1. Лесозарастание (%) почвенных выделов на территории равнинных ландшафтов Пермского края за период с 1990 по 2020 гг.

Наименование типа почв	Лесистость на 1990-е	Изменение лесистости на настоящее время	Незалесенные территории
Черноземы оподзоленные	32.99	35.14	31.87
Темно-серые лесные	32.18	29.71	38.11
Дерново-карбонатные	32.26	29.80	37.94
Пойменные	48.74	20.94	30.32
Серые лесные	42.04	24.26	33.69
Светло-серые лесные	44.52	24.59	30.89
Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	56.28	24.99	18.73
Дерново-подзолистые преимущественно мелкоподзолистые	57.97	22.56	19.46
Дерново-глеевые	46.01	25.11	28.88
Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые	81.23	9.47	9.30
Дерново-подзолистые преимущественно глубокоподзолистые	85.04	6.92	8.03
Подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые	90.76	3.42	5.82
Подзолы	86.98	3.44	9.58
Подзолистые, преимущественно мелкоподзолистые	94.08	1.96	3.96
Почвы овражно-балочного комплекса	53.22	27.11	19.68
Торфянисто-подзолисто-глеевые	64.70	3.30	32.00
Торфяные болотные низинные	53.46	14.21	54.89
Торфяные болотные верховые	43.83	1.28	54.89

Таблица 2. Класс бонитета типов почв в опорных и специальных ландшафтах Пермского края

Класс бонитета ¹	Наименование почвенных групп
1	Черноземы оподзоленные
2	Дерново-карбонатные; темно-серые лесные
3	Пойменные; светло-серые лесные; серые лесные
4	Дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые
5	Дерново-подзолистые преимущественно мелкоподзолистые
6	Дерново-глеевые; дерново-подзолистые преимущественно неглубокоподзолистые
7	Дерново-подзолистые преимущественно глубокоподзолистые; подзолистые, преимущественно неглубокоподзолистые; подзолы
8	Подзолистые, преимущественно мелкоподзолистые; почвы овражно-балочного комплекса; торфянисто-подзолисто-глеевые; торфяные болотные верховые и низинные

Примечание.¹ — класс бонитета по методу А. С. Фатьянова (1959).

обменная кислотность. Затем проводится последовательное умножение на поправочные коэффициенты, связанные с эродированностью, заболоченностью и каменистостью территорий, после чего происходит группировка по классам бонитета в зависимости от балла бонитета (табл. 2).

Как видно из табл. 1, “стартовая” (на 1990 г.) степень лесистости в пределах рассматриваемых групп почв имеет тесную связь с их плодородием — чем оно выше, тем ниже степень лесистости почвенных выделов. Смена данной закономерности отчетливо проявляется для почв овражно-балочного комплекса, торфянисто-подзолисто-глеевых и торфяных болотных. Прирост лесных экосистем в пределах данных почв в последние три десятилетия невелик, поскольку “не лесные” территории в пределах их выделов занимали в основном не сельскохозяйственные угодья, а неудобицы — сырые луга и болота.

Роль почвенных условий в дифференциации земель на используемые в сельском хозяйстве и переводимые в залежи (впоследствии многие из них постепенно переходили в молодые леса) также имеет определенное значение в изменении пространственно-временной структуры земель в Пермском крае. Прежде всего забрасывались наименее плодородные и/или наиболее трудные для обработки

почвы — дерново-глеевые, торфяно-болотные и дерновые тяжелосуглинистые.

Переходя к рассмотрению вопроса о развитии вторичных сукцессий на разных типах почв в разных природных зонах и/или относящихся к разным типам ландшафтов, можно отметить некоторые особенности развития данного процесса в пространстве и времени.

Анализ темпов лесозарастания самых плодородных типов почв (темно-серых, светло-серых и серых лесных), расположенных в пределах таежной и подтаежной зон, показал, что в подтаежной зоне данный процесс проходил активнее на 5–10%. Увеличение лесистости для относительно плодородных пойменных почв проходило от среднетаежной подзоны через южнотаежную подзону к подтаежной зоне (соответственно — 8.09, 27.40, 25.83%). Для почвенных выделов с более низкой степенью плодородия направленность изменения скорости лесозарастания сменяется на противоположную. Для пары южная тайга и подтайга значения прироста для дерново-подзолистых преимущественно неглубокоподзолистых почв составляют соответственно 29.37 и 14.72%, дерново-подзолистых преимущественно мелкоподзолистых — 27.69 и 17.95%.

Рассматривая вопрос о различиях в скорости и масштабах развития лесной растительности на землях, расположенных в разных типах ландшафта, нельзя обойти вниманием и проблему их устойчивости к антропогенным воздействиям. Как показали результаты изучения динамики лесных экосистем в пределах лесостепного ландшафта, фитогенные механизмы его устойчивости однозначно поддержали “лесной” вариант сукцессионных изменений. Это показывают высокие темпы и масштабы лесозарастания забрасываемых сельхозугодий. По-видимому, длительное освоение ландшафта под сельское хозяйство привело к значительной трансформации механизмов его устойчивости как системы. На высокую скорость и масштабы лесовосстановления лесостепного ландшафта, безусловно, повлиял и высокий процент плодородных почв в его пределах.

Сравнительный анализ темпов восстановления лесных экосистем в пределах таежных ландшафтов и лесостепного ландшафта путем замещения антропогенных комплексов на природно-антропогенные косвенно подтверждает мнение ряда ученых физико-географов, что степь и лесостепь — явления преимущественно антропогенного происхождения и лес, по сравнению с ними, имеет более высокие конкурентные особенности (Тишков, 1986, 1989; Терехин, Чендев, 2018).

ВЫВОДЫ

В ходе разновременного анализа установлено, что основными факторами вывода земель из

сельскохозяйственного оборота и их последующего лесозарастания является снижение интереса к возделыванию, вызванному экономическим кризисом, а также изменение формы владения земельными участками. Прежде всего забрасыванию подверглись экономически неудобные территории, такие как мелкоконтурные сельскохозяйственные угодья, труднодоступные для механизированной обработки, и территории с низким плодородием почв.

Анализ лесозарастания почвенных групп в пределах равнинных ландшафтов выявил, что в первую очередь забрасывались наименее плодородные, а также наиболее трудные для обработки почвы (дерново-глеевые, пойменные, дерново-подзолистые преимущественно мелко- и неглубокоподзолистые). Их лесистость увеличилась с 46–58% до 70–81%.

Самые плодородные группы почв (черноземы оподзоленные, темно-серые, светло-серые и серые лесные) подвергались активному лесозарастанию, начиная с 2000-х годов, в связи с их более продолжительным аграрным использованием. Однако лесистость таких почв увеличилась на 25–35% и на текущий момент составляет 61–70%.

Почвы с низким плодородием (торфянисто-подзолисто-глееватые, торфяные болотные верховые и низинные) имеют изначально низкую лесистость 44–64%, а ее увеличение затронуло всего 1–14% территорий, где изначально не залесенные территории занимали не сельскохозяйственные угодья, а сырые луга и болота.

Степень лесозарастания в пределах рассматриваемых групп почв имеет тесную связь с их плодородием. Чем выше плодородие, тем ниже степень лесозарастания. Данная закономерность сохранилась и на сегодняшний день, несмотря на значительные площади лесовосстановления на плодородных землях.

Исследование выполнено при поддержке Пермского научно-образовательного центра “Рациональное недропользование”, 2023.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белорусцева Е.В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий Нечерноземной зоны Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 57–64.

Белоусова А.П., Брыжко И.В. Анализ зарастания сельскохозяйственных угодий на территории Пермского края по спутниковым снимкам Landsat // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 4. С. 150–161. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-150-161

Блусь П.И., Ганин О.Б., Ганин И.О., Сибиряков А.П. Пространственные аспекты стратегического планирования развития муниципалитетов (на примере Пермского муниципального района) // Ars Administrandi. Искусство управления. 2016. № 2. С. 69–103.

Иванов М.А., Прищепов А.В., Голосов В.Н. и др. Методика картографирования динамики пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 5. С. 161–171.

Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.

Коломыц Э.Г. Избранные очерки географической экологии: Часть I. Базовый ландшафтно-экологический анализ // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. № 1. С. 15–129.

Кондратьева М.А., Бажукова Н.В. Почвенное картографирование от истоков до наших дней (на примере Пермского края) // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 3 (19).

Ляпунов А.А. Кибернетический подход к теоретической биологии // Кибернетика живого. Биология и информация. М.: Наука, 1984. С. 38–44.

Назаров Н.Н. География Пермского края. Ч. I. Природная (физическая) география. Пермь, 2011. 139 с.

Попова Н.В. Оценка интенсивности процессов трансформации органического вещества подстилки для диагностики устойчивости экосистем // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2007. № 1. С. 27–31.

Пузаченко Ю.Г. Инвариантность геосистем и их компонентов // Устойчивость геосистем. М.: Наука, 1983. С. 32–40.

Сайб Е.А., Безбородова А.Н., Соловьев С.В., Миллер Г.Ф., Филимонова Д.А. Выявление разновозрастных залежей на эрозионно-опасных территориях юга Западной Сибири с применением геоинформационных технологий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 4. С. 129–136.

Стыценок Е.А. Возможности распознавания сельскохозяйственных угодий с использованием методики совместной автоматизированной обработки разносезонных многозональных космических изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 1. № 5. С. 172–183.

Терехин Э.А., Чендев Ю.Г. Оценка изменения лесистости в современный период на юге Среднерусской возвышенности с использованием материалов разновременных космических съемок // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 114–126.

Тишков А.А. Географические закономерности сукцессий развития // Зональные закономерности динамики экосистем. М.: Наука, 1986. С. 18–40.

Тишков А.А. Фитогенные механизмы устойчивости наземных геосистем // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М.: Наука, 1989. С. 93–103.

Фатьянов А.С. Агропочвенное районирование и относительная оценка почв // Почвоведение. 1959. № 6.

Prishchepov A.V., Müller D., Baumann M., Kuemmerle T., Alcantara C., Volker C. Radeloff. Underlying Drivers and Spatial Determinants of post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe // *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*, 2016. P. 91–117.

Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe // *Environ Res Lett.* 2012a. № 7 (2). (June 1): 024021.

Landscape Features Affecting the Dynamics of Forest Growth on Agricultural Lands of the Perm Territory

A. P. Belousova^{1, *}

¹Perm State University,

Bukireva st., 15, Perm, 614990 Russian Federation

*E-mail: uran399@mail.ru

The dynamics of forest growth on agricultural lands has been studied since the 1990s, which was the starting point of a massive reduction in their cultivation intensity. The total area of the overgrown agricultural land in the Perm Territory reached 58.8% of the total area of agricultural land as of 1985. The boundaries of the forested lands were recorded using remote sensing methods and the archival satellite images of medium spatial resolution. The dynamics analysis was carried out within the flat part of the Perm Territory, taking into account the soil regions' boundaries. It has been established that the main natural factors of lands differentiation in terms of the scale and rate of their withdrawal from agricultural use are the small scale or uneven terrain of separate agricultural lands, making it less accessible for the agricultural machines, and differences in soil fertility. The least fertile soils, as well as the most difficult to cultivate, were the first to become susceptible to forest overgrowth. The more fertile soils were reforested later, as agricultural activity declined.

Keywords: flat landscapes of the Perm Territory, reforestation, timelines analysis, remote sensing, Landsat.

REFERENCES

Belorustseva E.V., Monitoring sostoyaniya sel'skokhozyaistvennykh ugodii Nechernozemnoi zony Rossiiskoi Federatsii (Monitoring the condition of agricultural land in the Non-Chernozem Zone of the Russian Federation), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 1, pp. 57–64.

Belousova A.P., Bryzhko I.V., Analiz zarastaniya sel'skokhozyaistvennykh ugodii na territorii Permskogo kraja po sputnikovym snimkam Landsat (Analysis of overgrowing of agricultural lands on the Perm region based on Landsat satellite images), *InterKarto. InterGIS*, 2021, Vol. 27, No. 4, pp. 150–161. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-150-161

Blus' P.I., Ganin O.B., Ganin I.O., Sibiryakov A.P., Prostranstvennye aspekty strategicheskogo planirovaniya razvitiya munitsipalitetov (na primere Permskogo munitsipal'nogo raiona) (Spatial aspects of strategic planning of municipal development (the case of Perm municipal district)), *Ars Administrandi. Iskustvo upravleniya*, 2016, pp. 69–103.

Fat'yanov A.S., Agropochvennoe raionirovanie i otnositel'naya otsenka pochv (Agro-soil zoning and relative soil assessment), *Pochvovedenie*, 1959, No. 6, pp. 16–22.

Isachenko A.G., *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe raionirovanie* (Landscape science and physical-geographical zoning), Moscow: Vysshaya shkola, 1991, 366 p.

Ivanov M.A., Prishchepov A.V., Golosov V.N., I Dr., Metodika kartografirovaniya dinamiki pakhotnykh ugodii v

basseinakh rek Evropeiskoi territorii Rossii za period 1985–2015 gg. (Method of croplands dynamics mapping in river basins of the European part of Russia for the period of 1985–2015), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 5, pp. 161–171.

Kolomyts E.G., Izbrannye ocherki geograficheskoi ekologii: Chast' I. Bazovyi landshaftno–ekologicheskii analiz (Selected Essays of geographical ecology: Part I. Basic landscape-ecological analysis), *Samarskaya Luka: problemy regional'noi i global'noi ekologii.*, 2018, Vol. 27, No. 1, pp. 15–129.

Kondrat'eva M.A., Bazhukova N.V., Pochvennoe kartografirovaniye ot istokov do nashikh dnei (na primere Permskogo kraja) (Mapping of soils since its inception to our days (on the example of the Perm region)), *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ekologii*, 2019, No. 3 (19), pp. 28–34.

Lyapunov A.A., Kiberneticheskii podkhod k teoreticheskoi biologii (Cybernetic approach to theoretical biology), In: *Kibernetika zhivogo. Biologiya i informatsiya (Cybernetics of the living. Biology and information)* Moscow: Nauka, 1984, pp. 38–44.

Nazarov N.N., *Geografiya Permskogo kraja* (Geography of the Perm region), Perm, 2011, Part I, Natural (physical) geography, 139 p.

Popova N.V., Otsenka intensivnosti protsessov transformatsii organicheskogo veshchestva podstilki dlya diagnostiki ustoychivosti ekosistem (Technique of an estimation of intensity of decomposition of the dead vegetative rests containing in a

- laying of areas), *Vestnik RUDN, Seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, No. 1, pp. 27–31.
- Prishchepov A.V., Müller D., Baumann M., Kuemmerle T., Alcantara C., Volker C., Radeloff. Underlying Drivers and Spatial Determinants of post-Soviet Agricultural Land Abandonment in Temperate Eastern Europe, In: *Land-Cover and Land-Use Changes in Eastern Europe after the Collapse of the Soviet Union in 1991*, 2016, pp. 91–117.
- Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D., Effects of institutional changes on land use: agricultural land abandonment during the transition from state–command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe, *Environ Res Lett.*, 2012a, No. 7 (2), (June 1): 024021.
- Puzachenko Y.G., Invariantnost' geosistem i ikh komponentov (Invariance of geosystems and their components), In: *Ustoichivost' geosistem* (Stability of geosystems), Moscow: Nauka, 1983, pp. 32–40.
- Saib E.A., Bezborodova A.N., Solov'ev S.V., Miller G.F., Filimonova D.A., Vyyavlenie raznovozrastnykh zalezhei na erozionno-opasnykh territoriyakh yuga Zapadnoi Sibiri s primeneniem geoinformatsionnykh tekhnologii (Identification of different age fallows on erosion-hazardous territories of the South of Western Siberia using geo-information technologies), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 4, pp. 129136.
- Stytsenko E.A., Vozmozhnosti raspoznavaniya sel'skokhozyaistvennykh ugodii s ispol'zovaniem metodiki sovmestnoi avtomatizirovannoi obrabotki raznosezonnykh mnogozonal'nykh kosmicheskikh izobrazhenii (Evaluation of the possibilities to classify agricultural lands using multi-seasonal satellite data processing), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 1, No. 5, pp. 172–183.
- Terekhin E.A., ChendeV Y.G., Otsenka izmeneniya lesistosti v sovremenniy period na yuge Srednerusskoi vozvyshennosti s ispol'zovaniem materialov raznovremennykh kosmicheskikh s"emok (Estimation of forest cover changes during modern period in the south of the Central Russian Upland using multiyear remote sensing data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 3, pp. 114–126.
- Tishkov A.A., Fitogennyye mekhanizmy ustoichivosti nazemnykh geosistem (Phytogenic mechanisms of stability of terrestrial geosystems), In: *Faktory i mekhanizmy ustoichivosti geosistem* (Factors and mechanisms of stability of geosystems), Moscow: Nauka, 1989, pp. 93–103.
- Tishkov A.A., Geograficheskie zakonomernosti suksessii razvitiya (Geographical patterns of development successions), In: *Zonal'nye zakonomernosti dinamiki ekosistem* (Zonal patterns of ecosystem dynamics), Moscow: Nauka, 1986, pp. 18–40.

УДК 630*231.1:630*271(571.14)

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ ПРИОБЬЯ¹

© 2024 г. Н. Н. Лихенко^а, *, Т. Н. Капко^а, А. П. Епанчинцева^а, И. Е. Лихенко^а

^аСибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции,
ул. С-200, зд. 5/1, пос. Краснообск, Новосибирская обл., 630501 Россия

*E-mail: lihenko.n@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.03.2023 г.

После доработки 04.04.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

Клен остролистный (*Acer platanoides* L.) — ценное древесное растение, имеющее большое народно-хозяйственное значение. Он декоративен и является источником прочной и упругой древесины, благодаря чему может представлять интерес для интродукции. В связи с этим целью исследования было изучение процесса естественного возобновления, динамики роста и возрастной структуры клена остролистного в условиях лесостепи Приобья. Материалом для исследования послужили 6 деревьев клена остролистного и их разновозрастной подрост. Оценка естественного возобновления, динамики роста и возрастной структуры вида была проведена с учетом места произрастания, высоты и возраста растения, при этом руководствовались методиками Е.М. Лавренко с А.А. Корчагиным и Р.В. Попадюка с соавторами. Высотно-возрастную структуру подроста и относительное участие возрастных групп определяли по рекомендациям А.Н. Мартынова с соавторами и А.Ю. Кулагина с И.Ф. Шаяхметовым. Установлено, что клен остролистный успешно интродуцирован и его подрост адаптирован для произрастания в условиях лесостепи Приобья. Наиболее высокое относительное участие возрастных групп приходится на растения 1–3 лет, при этом без существенного различия от места произрастания. Затем идет постепенное снижение количества подроста в связи с естественным отпадом. Возрастные группы 4–8 лет и 9–20 лет, произрастающие в благоприятных условиях, характеризуются более интенсивным ростом с незначительным отпадом.

В угнетенных условиях рост значительно замедляется. Установлено, что на показатели жизненного состояния подроста клена остролистного, наряду с особенностями онтогенеза, влияют условия произрастания и антропогенная нагрузка территории.

Ключевые слова: клен остролистный, подрост, возрастная структура, интродукция, адаптация.

DOI: 10.31857/S0024114824010063, EDN: SLPGDJ

Естественное возобновление клена остролистного в искусственно созданных сообществах за пределами ареала дает возможность получить устойчивую интродуцированную популяцию. Клен остролистный — дерево континентального климата, распространен главным образом в Средней и Северной Европе (Букштынов, 1982), в европейской части России и в Малой Азии (Деревья и кустарники СССР, 1958). Клен остролистный — дерево 15–30 м высотой и 0.7–1 м в диаметре ствола, однодомное, с мужскими и ложно-обоеполыми цветками (с одновременным зацветанием мужских и женских цветков), энтомофил, анемохор, значительно теневыносливое (при ухудшении почвенных условий теневыносливость падает), рестаивное и реже ирруптивное (корневые отпрыски),

мезофит (не выносит застойного увлажнения), микрофит, мезотроф (избегает даже слабого засоления почвы), устойчивый ассектатор второго яруса древостоя широколиственных лесов, изредка эдификатор кленовников (Соколов и др., 1986).

Созданные в условиях интродукции ценозы отражают экологические и микроклиматические условия произрастания (Лапин и др., 1979). При этом древесный ярус оказывает значительное влияние на подрост посредством изменения светового, теплового и водного режимов подпологового пространства (Figueroa-Rangel, Olvera-Vargas, 2001; Стоноженко и др., 2018). Подпологовое возобновление в искусственных фитоценозах связано с биологическими особенностями растений и условиями среды, при этом недостаток света является одним из лимитирующих факторов, поскольку формирование высотно-возрастной структуры подроста во многом зависит от наличия просветов

¹Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

в древесном ярусе — “окон” (Салтыков и др., 2017). Взаимодействие древесных пород определяет размеры и форму этих “окон”, а также “окон”, образовавшихся в результате полного или частичного отмирания особей различной жизнеспособности. При отсутствии “окон” подрост деревьев задерживается в развитии, находясь в угнетенном состоянии, или погибает (Zhenliang, Zhanqing, 1998; Восточноевропейские леса, 2004).

Расселение клена остролистного проходит преимущественно посредством семенного размножения (Шаяхметов и др., 2007; Рязанова, Путенихин, 2013). При таком способе размножения у интродуцентов повышается вероятность появления более стойкого поколения (Лапин и др., 1979). Устойчивость интродуцированного вида в данном регионе определяется зимостойкостью. Опыт интродукции клена остролистного в условиях Сибири неоднозначен. Исследования, проведенные в правобережье Новосибирска, свидетельствуют о ее малой успешности (Встовская и др., 2017; Chindyaeva et al., 2018), тогда как в левобережной зоне Новосибирска растения изучаемого вида образуют крылатки с полноценными семенами, способными давать жизнеспособные всходы, формирующие жизнестойкий разновозрастной самосев (Капко и др., 2020). Успешность интродукции в левобережной зоне обусловлена ступенчатой акклиматизацией вида. Этот метод рекомендован И.В. Мичуриным и является основным благоприятным фактором для перенесения растений в новые районы, резко отличающиеся по климату от его родины (Камшилов, 1957). Стабильное и естественное возобновление вида путем семенного размножения свидетельствует о его успешной акклиматизации и натурализации в новых условиях. В связи с этим цель настоящей работы — изучение процесса естественного возобновления, динамики роста и возрастной структуры клена остролистного в условиях лесостепи Приобья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследование подпологового возобновления проведено в дендрарии СибНИИРС — филиале ИЦиГ СО РАН, расположенном на левом берегу р. Оби в подзоне приобской лесостепи. Территория дендрария входит в состав дренированной лесостепи. Он создавался как экспериментальная база для проведения многолетних стационарных научно-исследовательских работ по интродукции и акклиматизации древесных растений различного эколого-географического происхождения в условиях лесостепи Приобья. Собранная коллекция деревьев и кустарников распределена по происхождению следующим образом: Европейская часть России, Западная Сибирь и Алтай, Восточная Сибирь и Дальний Восток, Средняя Азия, Юго-Восточная Азия, Северная Америка.

В ботанико-географических отделах растения сгруппированы по типу фитоценозов с учетом биологических особенностей и различных жизненных форм. Для создания искусственных насаждений наряду с интродуцентами привлечены представители местной флоры.

Климат района исследований резко континентальный, что отражается на особенностях роста и развития. Среднегодовая температура воздуха варьирует в пределах $+0.5^{\circ}\text{C}$ — $+0.7^{\circ}\text{C}$. Самый холодный месяц — январь (в среднем -18.8°C), самый теплый — июль (в среднем $+19.0^{\circ}\text{C}$). Сумма эффективных температур — 1317°C . В течение года выпадает 440–400 мм осадков. Зима продолжительная, с ноября по март-апрель, с устойчивым снежным покровом и суровыми морозами (в отдельные годы до -45°C и ниже). Весна короткая, при этом в отдельные годы возможны заморозки и выпадение снега вплоть до конца мая. Лето жаркое и сравнительно короткое. В начале лета характерны засухи, возможны кратковременные похолодания и возвратные заморозки. Осень короткая, отличается неустойчивой погодой и ранними заморозками. Год от года осень может быть либо сухой и теплой, либо холодной, пасмурной, с непрекращающимися моросящими дождями (Воронина, Гриценко, 2011).

Материалом для исследований послужили 6 саженцев клена остролистного, полученные в 1986 г. из Омска и высаженные на территории дендрария СибНИИРС в ботанико-географическом отделе “Европейская часть России”. Объект исследования — разновозрастной самосев клена остролистного.

Ботанико-географический отдел “Европейская часть России” расположен в северо-западной части дендрария. Участок, на котором размещен отдел, характеризуется как северная лесостепь Приобья. Почвообразующие породы представлены лессовидными карбонатными суглинками, в основном среднего механического состава. Почвенный покров — лугово-черноземные почвы с признаками глубокого засоления. Экспозиция представлена многоярусным массивом, состоящим из деревьев, относящихся к 15 видам, с подлеском из кустарников. Площадь отдела составляет 11.8 тыс. м². Он был сформирован в 80-х гг. XX в. с целью моделирования типичного лесного ландшафта европейской широколиственной области. Основу фитоценоза составляют дуб (*Quercus*), липа (*Tilia*), клен (*Acer*) и береза (*Betula*). Древостой одновозрастной, представлен древесными растениями 35–40 лет. Насаждения в хорошем состоянии, участие человека ограничивается лишь редкими санитарными рубками. За годы существования отдела сформировался обильный подрост, образованный в результате естественного воспроизводства фитоценоза. 6 изучаемых деревьев клена остролистного произрастают по 3 штуки: внутри группы, среди

мелколиственных пород (береза повислая (*Betula Pendula*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*)) и на ее опушке, по краю.

Изучение особенностей возобновления проводили методом закладки пробных площадей 1×1 м, располагающихся по ходовым линиям через весь участок “Европейская часть России”. Ходовые линии закладывали параллельно друг другу (Уткин и др., 2002). Для разметки использовали складную деревянную рамку размером 1×1 м и пластиковые колышки для обозначения площадок. Общая площадь участка 6200 м^2 . Изучение роста и развития подпологового возобновления проводили в 2020 г.

Результаты инвентаризации клена остролиственного, проведенной в дендрарии СибНИИРС — филиале ИЦиГ СО РАН в 2019 г., свидетельствуют о его успешной акклиматизации и перспективности. Согласно балловой оценке акклиматизации и адаптации видов по шкале, разработанной Т.В. Елисафенко (2009), он набирает 51 балл и относится ко второй группе — среднеперспективным.

Проанализировано 6200 метровых площадок. Проведен сплошной пересчет разновозрастного подпологового подроста, причем подрост другой видовой принадлежности во внимание не брали. При пересчете учитывали место произрастания на участке (в тени, в “окнах”, под пологом материнского растения), а также — высоту и возраст растения. Возраст определяли по количеству годичных приростов ствола по высоте, по следам верхушечных почечных чешуй (Полевая геоботаника, 1960). Определение жизненного состояния подроста проведено согласно классификации А.А. Чистяковой, разделяющей его на три категории: 1 — растения нормальной жизненности; 2 — пониженной жизненности; 3 — низкой жизненности (Попадюк и др., 1994). Для анализа высотно-возрастной структуры вычисляли среднюю высоту растений клена остролиственного. Были определены динамика высотно-возрастной структуры подроста и относительное участие возрастных групп и построена диаграмма жизненного состояния подроста клена остролиственного.

Средний ежегодный прирост подроста вычисляли по формуле:

$$L = \frac{H}{A},$$

где L — средний ежегодный прирост, см/год; H — высота, см; A — возраст, лет (Мартьянов, 2008).

Относительное участие возрастных групп определяли по формуле:

$$Y_{\text{отн}} = (n/N) \times 100,$$

где $Y_{\text{отн}}$ — относительное участие возрастных групп, %; n — количество подроста данной возрастной группы; N — общее количество подроста

в рассматриваемых возрастных группах, шт. (Кулагин и др., 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования была рассмотрена возрастная структура популяции клена остролиственного в ботанико-географической группе “Европейская часть России”, на примере которой исследовано возобновление изучаемого вида, попавшего в различные условия произрастания. Независимо от возрастной и пространственной структуры возобновления, число крупного подроста было меньше, чем мелкого.

Из семян, попавших под полог группы растений темнохвойной породы (ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) Karst.)) и под плотный полог древесного яруса (в тень), проросло и сохранилось до момента оценки 1556 растений.

Под пологом материнских деревьев количество растений клена остролиственного составило всего 1171 шт., что в какой-то мере обусловлено летучестью семян, независимо от семенной продуктивности.

На открытых пространствах (“окна”), а также в образовавшейся сквозистости в местах разреженности полога лиственных насаждений древесного яруса условия для произрастания клена остролиственного наиболее благоприятные, о чем свидетельствует наибольшее количество обнаруженных растений — 1743 шт.

Анализ динамики развития высотно-возрастной структуры подроста позволяет выявить влияние условий произрастания на состояние отдельного вида в пределах данного фитоценоза (Кулагин и др., 2007). Максимальная доля подроста по всему исследуемому участку наблюдается в возрасте от 1 до 3 лет, что также согласуется с результатами, полученными в условиях Белгородской области (Рябцев и др., 2009). На раннем этапе онтогенеза клен остролиственный достаточно теневынослив, уступая при этом только липе, но с возрастом становится светолюбив (Букштынов, 1982; Рябцев и др., 2009, 2011). В качестве особенностей участка в тени под плотным пологом древесного яруса лиственных пород и ели обыкновенной следует отметить элементы ветровально-почвенного комплекса: старые валежины, понижения, ветки, что способствует сохранению влаги и снижению антропогенного фактора.

По относительному участию под плотным пологом древесного яруса лиственных пород можно выделить три возрастные группы. Первая (от 1 года до 3 лет, с накоплением подроста) составляет 61.6% от общего количества данного сообщества (рис. 1, табл. 1). Кроме того, численность мелкого подроста в тени выше таковой в условиях “окон” и под материнским пологом.

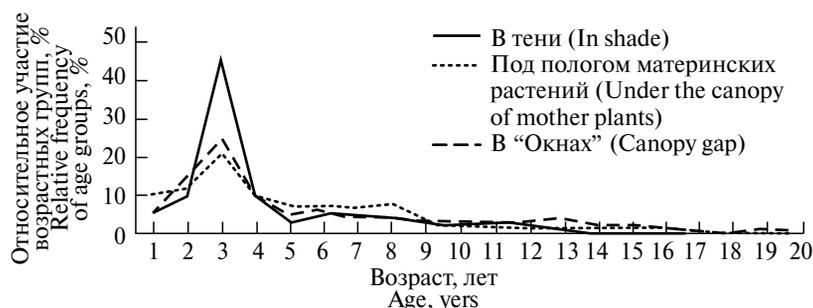


Рис. 1. Относительное участие возрастных групп подростка клена остролистного в зависимости от условий произрастания.

Участие второй возрастной группы (от 4 до 8 лет) начинает резко снижаться, на нее приходится 26.2%. Относительное участие третьей группы (от 9 до 15 лет) значительно уменьшается, практически в 5 раз в сравнении с первой группой, и составляет 12.2%. Среди лиственных пород встречаются единичные растения, достигшие от 16 до 21 года. Под пологом ели обыкновенной возобновление клена остролистного крайне неудовлетворительно, лишь изредка присутствуют единичные растения.

Отрицательное влияние на рост и развитие в темной хвойном лесу связано с круглогодичным затенением. Отсутствие освещенности, которая является

определяющим фактором в процессе возобновления в подпологовом пространстве, сокращает численность жизнеспособного подростка. Меняется жизненное состояние, верхушечные приросты слабо одревесневают из-за недостатка света и после перезимовки часто отмирают (Попадюк и др., 1994).

В результате накопления максимального количества подростка клена остролистного в возрастной группе от 1 до 3 лет с преобладанием нормального жизненного состояния (рис. 2) образовалась большая доля растений с нормальной жизненностью — 65%, с пониженной — 10%, с низкой — 25%.

Таблица 1. Результаты анализа высотно-возрастной структуры

Возраст, лет	В тени			Под пологом материнских растений			В “окнах”		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	5.8	6.9 ± 0.2	6.9 ± 0.2	10.2	5.6 ± 0.2	5.6 ± 0.2	5.4	7.4 ± 0.2	7.4 ± 0.2
2	10.0	7.2 ± 0.2	3.6 ± 0.1	11.8	6.9 ± 0.2	3.4 ± 0.1	15.5	8.0 ± 0.2	4.2 ± 0.1
3	45.8	7.8 ± 0.2	2.6 ± 0.1	21.1	8.1 ± 0.2	2.7 ± 0.1	25.3	8.4 ± 0.2	2.7 ± 0.1
4	9.4	8.8 ± 0.2	2.2 ± 0.1	9.7	8.9 ± 0.2	2.2 ± 0.1	9.1	8.5 ± 0.2	2.1 ± 0.1
5	4.1	10.4 ± 0.4	2.1 ± 0.1	7.7	9.9 ± 0.3	2.0 ± 0.1	5.0	11.0 ± 0.4	2.2 ± 0.1
6	4.8	11.6 ± 0.4	1.9 ± 0.1	7.4	11.4 ± 0.3	1.9 ± 0.1	6.3	12.3 ± 0.4	2.1 ± 0.1
7	4.4	13.3 ± 0.4	1.9 ± 0.1	7.0	12.0 ± 0.3	1.7 ± 0.1	4.4	15.5 ± 0.8	2.2 ± 0.1
8	3.5	14.9 ± 0.3	1.9 ± 0.1	7.8	13.4 ± 0.3	1.7 ± 0.1	3.9	17.3 ± 1.0	2.2 ± 0.1
9	2.8	17.5 ± 0.5	1.9 ± 0.1	3.5	14.1 ± 0.3	1.6 ± 0.1	3.1	20.0 ± 1.0	2.2 ± 0.1
10	2.9	17.9 ± 0.6	1.8 ± 0.1	2.2	16.3 ± 0.2	1.6 ± 0.1	3.1	24.4 ± 1.4	2.4 ± 0.1
11	2.7	23.3 ± 1.1	2.1 ± 0.1	2.4	21.7 ± 0.4	1.9 ± 0.2	3.1	30.7 ± 1.6	2.8 ± 0.1
12	2.1	25.4 ± 1.2	2.1 ± 0.1	1.8	28.3 ± 0.4	2.4 ± 0.3	3.1	34.2 ± 1.5	2.9 ± 0.1
13	0.9	26.7 ± 0.4	2.1 ± 0.1	1.5	34.7 ± 0.4	2.7 ± 0.1	3.8	40.7 ± 2.1	3.1 ± 0.2
14	0.3	31.0 ± 0.2	2.1 ± 0.1	1.6	42.7 ± 0.6	3.0 ± 0.1	2.2	45.3 ± 2.3	3.2 ± 0.2
15	0.4	35.3 ± 0.2	2.4 ± 0.1	1.8	50.5 ± 0.6	3.4 ± 0.1	2.3	51.9 ± 2.6	3.5 ± 0.2
16	0	—	—	1.8	55.7 ± 0.5	3.5 ± 0.1	1.3	56.6 ± 1.5	3.5 ± 0.1
17	0	—	—	0.7	66.3 ± 0.4	3.9 ± 0.1	0.6	59.3 ± 1.4	3.5 ± 0.1
18	0	—	—	0	—	—	0.6	79.0 ± 1.4	4.4 ± 0.1
19	0	—	—	0	—	—	1.1	90.6 ± 2.4	4.8 ± 0.1
20	0	—	—	0	—	—	0.7	128.5 ± 3.7	6.4 ± 0.2

Примечание. А — относительное участие возрастных групп, %;
 В — средний ежегодный линейный прирост, см/год;
 С — средний ежегодный линейный прирост, см/год.

Высота подроста в первой группе к 3 годам достигает 7.8 ± 0.2 см. Средний ежегодный линейный прирост составляет 2.6 ± 0.1 см. Во второй возрастной группе подрост достигает высоты 14.9 ± 0.3 см, среднегодовой линейный прирост — 1.9 ± 0.1 см. В третьей — 35.3 ± 0.2 см, среднегодовой линейный прирост — 2.4 ± 0.1 см. Высота единичных растений в возрасте 16 лет — 39.1 см, в 21 год — 75.5 см.

На площадках, расположенных под пологом материнских растений, относительное участие возрастной группы от 1 до 3 лет составляет 43.1% (рис. 1). Наблюдается сохранение относительного участия второй группы (в возрасте от 4 до 8 лет) — 36.9%. Показатели накопления подроста объясняются благоприятным микроклиматом кленового опада, увлажнением почвы с уменьшением плотности (Рябцев и др., 2009). Антропогенное влияние (натоптанные тропинки, ведущие к взрослым растениям клена остролистного, утопанные площадки при сборе осенних листьев) приводит к снижению жизненного состояния подроста (рис. 2). В сочетании воздействия абиотических и антропогенных факторов происходит угнетение подроста, увеличивается доля участия растений с пониженной жизненностью — 30% и с низкой — 38%. Доля растений с нормальной жизненностью достигает 32%. Уменьшение относительного участия в структуре подроста начинается в третьей возрастной группе (с 9 до 17 лет), при этом встречаются единичные растения от 18 до 20 лет.

Высота подроста в первой группе за 3 года под пологом материнских растений достигает 8.1 ± 0.2 см, во второй за 8 лет — 13.4 ± 0.3 см, в третьей группе за 17 лет — 66.3 ± 0.4 см. Средние ежегодные линейные приросты соответственно равны 2.7 ± 0.1 см, 1.7 ± 0.1 см и 3.9 ± 0.1 см. Высота единичных растений в 18 лет — 79.4 см, к 20 годам — 117 см.

Сквозистость в местах разреженности полога лиственных насаждений древесного яруса, а также “окна”, образовавшиеся в результате естественного

старения древесных растений, способствуют увеличению количества подроста. Как отмечает ряд авторов, освещенность является лимитирующим фактором (Закамский, Закамская, 2018; Танцырев, Андреев, 2020). Благоприятные условия для роста свидетельствуют о предпосылках успешного естественного процесса возобновления. Занимая свободные пространства полога, высотно-возрастная структура клена остролистного охватывает период до 20 лет, при этом отмечены единичные растения от 21 до 22 лет. Встречаемость подроста первой возрастной группы (от 1 до 3 лет) составила 46% (рис. 1).

Следует отметить, что доля подроста 2 и 3 возрастных групп составила 28.7 и 25.1% соответственно. Накопление подроста в группах происходит с усиленным ростом. Высота растений в первой группе (к 3 годам) достигает 8.4 ± 0.2 см, во второй (в 8 лет) — 17.3 ± 1.0 см, в третьей группе (в 20 лет) — 128.5 ± 3.7 см. Средние ежегодные линейные приросты соответственно составляют 2.7 ± 0.1 см; 2.2 ± 0.1 см и 6.4 ± 0.2 см.

Жизненное состояние подроста (рис. 2) с нормальной жизненностью по всем возрастам достигло 59%, доля растений с пониженной жизненностью составила 12%, с низкой — 29%. Успешность процесса возобновления наблюдается с увеличением доли растений с нормальной жизненностью по всем возрастам и с незначительно пониженной жизненностью. Дополнительно был проведен двухфакторный дисперсионный анализ данных по высоте растений клена остролистного (табл. 2).

Варианты, отражающие изменчивость, вызванную возрастной группой растений (фактор А), условиями произрастания растений (фактор В) и взаимодействием факторов (А × В) достоверны. При этом доля влияния фактора “Возраст” на высоту растений максимальна и составляет 92.1%. В то же время вклад фактора “Место произрастания”, а также взаимодействие факторов “Возраст × Место произрастания” хоть и достоверное,

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа изменчивости высоты растений клена

Источник варьирования (Factor)	Сумма квадратов отклонений (Sum of squares)	Степени свободы (Degrees of freedom)	Средний квадрат (Mean sum of squares)	Критерий Фишера (F)	Доля влияния фактора (R ²), %
Общая (Total)	3459.6	—	—	—	—
(А) Возраст (Age)	3186.1	2	1593.1	2514.41*	92.1
(В) Место произрастания (Place of growth)	117.3	2	58.6	92.55*	3.4
(А × В) Взаимодействие факторов (Factors interaction)	139.1	4	34.8	54.89*	4.0
Случайные отклонения (Error)	17.1	27	0.6	—	0.5

* Статистически значимо на критическом уровне 5%; НСР₀₅ для фактора “Возраст” — 0.67 см, для фактора “Место произрастания” — 0.67 см, для взаимодействия факторов — 1.15 см.

* Significance level was set to 5%; LSD₀₅ for “age”, “place of growth” and factors interaction is 0.67 cm, 0.67 cm and 1.15 cm respectively.

но значительно более слабое и составляет всего 3.4 и 4.0% соответственно. Необходимо отметить, что вклад случайных отклонений в изменчивость вы-соты растений вида незначительный — всего 0.5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в группе растений “Европейская часть России” дендрария СибНИИРС — филиала ИЦиГ СО РАН создаются хорошие предпосылки для формирования естественного возобновления клена остролистного. Данный вид успешно интродуцирован, и его подрост достаточно адаптивен для произрастания в дендрологических коллекциях в условиях лесостепи Приобья на правом берегу реки Обь. Полученные результаты дают основание для дальнейшего расширения зоны интродукции клена остролистного и изучения пригодности вида в городском озеленении, создании защитных лесополос и т.д.

На основе полученных результатов можно заключить, что наиболее высокое относительное участие возрастных групп независимо от места произрастания приходится на растения от 1 до 3 лет. Отмечено, что с возрастом идет постепенное снижение количества подростка в связи с его естественным отпадом. Наибольшая доля относительного участия средней группы (от 4 до 8 лет) отмечена под пологом материнских растений и составляет 39.6%. Выживаемость растений 3 возрастной группы (от 9 до 20 лет) максимальна в местах разреженности полога лиственных насаждений древесного яруса, а также в “окнах” и достигает 25.1%.

Средние ежегодные линейные приросты в первой группе (от 1 до 3 лет) практически не зависят от места произрастания, подрост существенно не отличается по высоте. Вторая (от 4 до 8 лет) и третья (от 9 до 20 лет) возрастные группы в случае произрастания в благоприятных условиях (в “окнах” и в местах разреженности полога лиственных насаждений древесного яруса) характеризуются более интенсивным ростом, с незначительным отпадом подростка.

В условиях лесостепи Приобья подрост клена остролистного достигает высоты 50 см не ранее 15-летнего возраста. Причем эти значения отмечены только в наиболее благоприятных условиях — под пологом материнских растений, а также на открытых пространствах (“окна”) и в местах разреженности полога лиственных насаждений древесного яруса. В угнетенных условиях произрастания (в тени) рост значительно замедляется, и к 15 годам подрост клена остролистного достигает высоты 35.3 ± 0.2 см.

Следует также отметить, что на показатели жизненного состояния подростка клена остролистного значительное влияние оказывают не только особенности онтогенеза, но и условия произрастания,

в том числе антропогенная нагрузка (натопанные тропинки, ведущие к взрослым растениям клена остролистного, утопанные площадки при сборе осенних листьев).

Наибольший вклад в изменчивость высотно-возрастной структуры кленового подростка вносит фактор “Возраст” — его доля составляет 92.1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Букштынов А.Д.* Клен. М.: Лесная промышленность, 1982. 86 с.
- Воронина Л.В., Гриценко А. Г.* Климат и экология Новосибирской области. Новосибирск: СГГА, 2011. 228 с.
- Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Книга 2 / Под. ред. О.В. Смирновой. М.: Наука, 2004. 575 с.
- Встовская Т.Н., Коропачинский И.Ю., Киселева Т.И.* Интродукция древесных растений в Сибири. Новосибирск: Гео, 2017. 716 с.
- Деревья и кустарники СССР. Дикорастущие, культивируемые и перспективные для интродукции. Т. 4: Покрытосеменные. Семейства бобовые — гранатовые / Под ред. С.Я. Соколова, Б.К. Шишкина. М.— Л.: АН СССР, 1958. 974 с.
- Елисафенко Т.В.* Оценка результатов интродукционной работы на примере редких видов сибирской флоры // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 2009. № 2 (4). С. 89–95.
- Закамский А.В., Закамская Е.С.* Биоразнообразие подростка в березняках в республике Марий Эл // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 5–3. С. 381–384.
- Камшилов Н.А.* Словарь-справочник садовода. М.: Сельхозгиз, 1957. 639 с.
- Капко Т.Н., Лихенко Н.Н., Чудная А.П.* Морфометрическая изменчивость крылаток клена остролистного // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 50–54. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10410.
- Кулагин А.Ю., Давыдычев А.Н., Дорожкин Е.М., Аскаров Д.Г.* Анализ высотно-возрастной структуры подростка широколиственных пород в водоохранный-защитных лесах Павловского водохранилища // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2007. Т. 9. № 1. С. 107–121.
- Лалин П.И., Калуцкий К.К., Калуцкая О.Н.* Интродукция лесных пород. М.: Лесная пром-сть, 1979. 224 с.
- Мартинов А.Н., Мельников Е.С., Ковязин В.Ф., Анискин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В.* Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2008. 372 с.
- Полевая геоботаника. Т. 2 / Под ред. Е. М. Лавренко, А.А. Корчагина. М. — Л.: АН СССР, 1960. 499 с.
- Попадюк Р.В., Чистякова А.А., Чумаченко С.И.* Восточноевропейские широколиственные леса. М.: Наука, 1994. 364 с.
- Рябцев И.С., Рябцева И.М., Тиходеева М.Ю.* Особенности возобновления широколиственных пород в байрачном лесу (на примере участка “Острасьеви Яры” государственного природного заповедника “Белогорье”) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2011. № 1. С. 13–26.

- Рябцев И.С., Тиходеева М.Ю., Рябцева И.М. Подпологовое возобновление лесообразующих пород в широколиственных лесах разного возраста с господством дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2009. № 2. С. 12–21.
- Рязанова Н.А., Путенихин В.П. Естественное семенное возобновление кленов при интродукции в Башкирском Предуралье // Бюллетень Ботанического сада Саратовского университета. 2013. № 11. С. 170–173.
- Салтыков А.Н., Ватлина Т.В., Абадонова М.Н., Разумный В.В. Естественное возобновление сосны в зоне хвойно-широколиственных лесов: пространственно-временные особенности // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2017. Т. 174. № 11. С. 28–42.
- Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. Ареалы деревьев и кустарников СССР. Т. 3. Л.: Наука, 1986. 182 с.
- Стоноженко Л.В., Коротков С.А., Грищенко В.А. Возобновление под пологом леса в национальном парке “Угра” // Лесохозяйственная информация. 2018. № 2. С. 35–45. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.2.04
- Танцырев Н.В., Андреев Г.В. Основные факторы развития подростка кедра сибирского под пологом производного сосняка // Вестник Поволжского государственного технологического университета. 2020. Т. 48. № 4. С. 22–30. DOI: 10.25686/2306-2827.2020.4.22
- Уткин А.И., Гульбе Т.А., Ермолова Л.С. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье // Лесоведение. 2002. № 5. С. 44–52.
- Шаяхметов И.Ф., Уразгильдин Р.В., Кулагин А.Ю. Естественное подпологовое возобновление и высотнo-возрастная структура подростка клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в водоохранно-защитных лесах Павловского водохранилища (р. Уфа) // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 1. С. 27–36.
- Chindyayeva L.N., Belanova A.P., Kiseleva T.I. Patterns of natural regeneration of alien species of woody plants in Novosibirsk // Russian Journal of Biological Invasions. 2018. V. 9. № 3. P. 273–285. DOI: 10.1134/S2075111718030025
- Figueroa-Rangel B.L., Olvera-Vargas M. Regeneration patterns in relation to canopy species composition and site variables in mixed oak forests in the Sierra de Manantlan Biosphere Reserve, Mexico // Ecological Research. 2001. V. 15. № 3. P. 249–261. DOI: 10.1046/j.1440-1703.2000.00346.x
- Kulagin A.Yu., Shayakhmetov I.F. Natural under-canopy regeneration and height-age structure of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) undergrowth in water-conservation forests around pavlovskoe reservoir, Ufa river // Russian Journal of Ecology. 2007. V. 38. P. 247–252. DOI: 10.1134/S1067413607040054.
- Zhenliang Y., Zhanqing H. Canopy gap characteristics and its influence on the regeneration of broad-leaved Korean pine forests in Changbai Mountain // Journal of Forestry Research. 1998. V. 9. № 3. P. 160–165. DOI: 10.1007/BF02910062

Natural Regrowth of the Norway Maple in the Ob Forest Steppes

N. N. Likhenko^{1,*}, T. N. Kapko¹, A. P. Yepanchintseva¹, I. E. Likhenko¹

¹ Siberian research institute of crop cultivation and selection
S-200 st. 5/1, Krasnoobsk stl., Novosibirsk Region, 630501 Russian Federation

* E-mail: lihenko.n@yandex.ru

Norway maple (*Acer platanoides* L.) is a valuable woody plant of great economic importance. It is decorative and is a source of strong and resilient wood, thus having a good potential for introduction. In this regard, the purpose of the study was to study the process of natural renewal, the growth dynamics and the age structure of Norway maple in the forest-steppes of the Ob region. The material for the study was 6 Norway maple trees and their undergrowth of different ages. An assessment of the natural regeneration, growth dynamics and age structure of the species was carried out taking into account the place of growth, height and age of the plant, using the methods of E.M. Lavrenko with A.A. Korchagin and R.V. Popadyuk with co-authors. The height-age structure of undergrowth and the relative participation of age groups were determined according to the recommendations of A.N. Martynov with co-authors and A.Yu. Kulagin with I.F. Shayakhmetov. It has been established that Norway maple has been successfully introduced and its undergrowth is adapted for growth in the conditions of the forest-steppe of the Ob region. The highest relative participation of age groups falls on plants 1–3 years old, with no significant difference from the place of growth. Then there is a gradual decrease in the amount of undergrowth due to natural mortality. Age groups of 4–8 years and 9–20 years, growing in favorable conditions, are characterized by more intensive growth with little mortality. In oppressed conditions, growth slows down significantly. It has been established that the indicators of the vital state of Norway maple undergrowth, along with ontogeny features, are influenced by growth conditions and anthropogenic load of the territory.

Keywords: Norway maple, undergrowth, age structure.

Acknowledgements: The study has been conducted with the support from the ICG SB RAS project № FWNR-2022-0018.

REFERENCES

- Bukshtynov A.D., *Klen* (Maple), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 86 p.
- Chindyayeva L.N., Belanova A.P., Kiseleva T.I., Patterns of natural regeneration of alien species of woody plants in Novosibirsk, *Russian Journal of Biological Invasions*, 2018, Vol. 9, No. 3, pp. 273–285.
DOI: 10.1134/S2075111718030025
- Derev'ya i kustarniki SSSR. *Dikorastushchie, kul'tiviruemye i perspektivnye dlya introduktsii* (Trees and shrubs of the USSR. Wild, cultivated and future-proofed for introduction), Moscow–Leningrad: AN SSSR, 1958, Vol. 4: Angiosperms. Legume family — pomegranate, 974 p.
- Elisafenko T.V., Otsenka rezul'tatov introduktsionnoi raboty na primere redkikh vidov sibirskoi flory (Estimate of the results of introduction work based on the example of rare Siberian species), *Rastitel'nyi mir Aziatskoi Rossii: Vestnik Tsentral'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN*, 2009, No. 2 (4), pp. 89–95.
- Figueroa-Rangel B.L., Olvera-Vargas M., Regeneration patterns in relation to canopy species composition and site variables in mixed oak forests in the Sierra de Manantlan Biosphere Reserve, Mexico, *Ecological Research*, 2001, Vol. 15, No. 3, pp. 249–261.
DOI: 10.1046/j.1440–1703.2000.00346.x
- Kamshilov N.A., *Slovar'-spravochnik sadovoda* (Gardening Dictionary), Moscow: Sel'khozgiz, 1957, 639 p.
- Kapko T.N., Likhchenko N.N., Chudnaya A.P., Morfometricheskaya izmenchivost' krylatok klena ostrolistnogo (Morphometric variability of *Acer platanoides* L. samaras), *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 4, pp. 50–54.
- Kulagin A.Y., Davydychev A.N., Dorozhkin E.M., Askarov D.G., Analiz vyсотно-vozzrastnoi struktury podrosta shirokolistvennykh porod v vodookhranno-zashchitnykh lesakh Pavlovskogo vodokhranilishcha (Broad-leaves species lodgedplants height-age structure analysis in Pavlovka reservoir water-protective forests), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2007, Vol. 9, No. 1, pp. 107–121.
- Kulagin A.Yu., Shayakhmetov I.F., Natural under-canopy regeneration and height-age structure of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) undergrowth in water-conservation forests around pavlovskoe reservoir, Ufa river, *Russian Journal of Ecology*, 2007, Vol. 38, pp. 247–252.
DOI: 10.1134/S1067413607040054
- Lapin P.I., Kalutskii K.K., Kalutskaya O.N., *Introduktsiya lesnykh porod* (Introduction of forest species), Moscow: Lesnaya prom-st', 1979, 224 p.
- Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Kovyazin V.F., Anikin A.S., Minaev V.N., Belyaeva N.V., *Osnovy lesnogo khozyaistva i taksatsiya lesa* (Fundamentals of forestry and forest inventory), Saint Petersburg: Lan', 2008, 372 p.
- Polevaya geobotanika* (Field geobotany), Moscow-Leningrad: AN SSSR, 1960, Vol. 2, 499 p.
- Ryabtsev I.S., Ryabtseva I.M., Tikhodeeva M.Y., Osobennosti vozobnovleniya shirokolistvennykh porod v bairachnom lesu (na primere uchastka "Ostras'evy Yary" gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika "Belogor'e") (The specialities of broadleaf woody plants regeneration in bayrachny forest (case study of the Ostrasevy yary plot of The State Natural Reservation Belogore)), *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 3. Biologiya*, 2011, No. 1, pp. 13–26.
- Ryabtsev I.S., Tikhodeeva M.Y., Ryabtseva I.M., Podpologovoe vozobnovlenie lesoobrazuyushchikh porod v shirokolistvennykh lesakh raznogo vozrasta s gospodstvom duba chershchatago (*Quercus robur* L.) (Under shelterwood regeneration of woody plants in oak-dominated (*Quercus robur* L.) broadleaf stands of different age), *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 3. Biologiya*, 2009, Vol. 2, No. 12–21.
- Saltykov A.N., Vatlina T.V., Abadonova M.N., Razumnyi V.V., Estestvennoe vozobnovlenie sosny v zone khvoino-shirokolistvennykh lesov: prostranstvenno-vremennye osobennosti (Natural resumption of pine in the area of coniferous-broad-leaved forests: space-time features), *Izvestiya sel'skokhozyaistvennoi nauki Tavriy*, 2017, Vol. 174, No. 11, pp. 28–42.
- Sokolov S.Y., Svyazeva O.A., Kubli V.A., *Arealy derev'ev i kustarnikov SSSR* (Areas of trees and shrubs of the USSR), Leningrad: Nauka, 1986, Vol. 3, 182 p.
- Stonozhenko L.V., Korotkov S.A., Grishenkov V.A., Vozobnovlenie pod pologom lesa v natsional'nom parke "Ugra" (Subcanopy Forest Regeneration in the National Park "Ugra"), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya*, 2018, No. 2, pp. 35–45.
DOI: 10.24419/LHI.2304–3083.2018.2.04
- Tantsyrev N.V., Andreev G.V., Osnovnye faktory razvitiya podrosta kedra sibirskogo pod pologom proizvodnogo sosnyaka (Major factors in the development of Siberian stone pine undergrowth under the canopy of derivative pine stand), *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2020, Vol. 48, No. 4, pp. 22–30. DOI: 10.25686/2306–2827.2020.4.22
- Utkin A.I., Gulbe T.A., Gulbe Y.I., Ermolova L.S., O nastuplenii lesnoi rastitel'nosti na sel'skokhozyaistvennykh zemli v verkhnem Povolzh'e (On advance of forest vegetation to agricultural lands in the Upper Volga river basin), *Lesovedenie*, 2002, No. 5, pp. 44–52.
- Voronina L.V., Gritsenko A.G., *Klimat i ekologiya Novosibirskoi oblasti* (Climate and ecology of the Novosibirsk region), Novosibirsk: SGGA, 2011, 228 p.
- Vostochnoevropeiskie lesa: istoriya v golotsene i sovremennost'* (Eastern European forests in the Holocene and modern history), Moscow: Nauka, 2004, Vol. 2, 575 p.
- Vostochnoevropeiskie shirokolistvennyye lesa* (Eastern European forests), Moscow: Nauka, 1994, 364 p.
- Vstovskaya T.N., Koropachinskii I.Y., Kiseleva T.I., *Introduktsiya drevesnykh rastenii v Sibiri* (Introduction of woody plants in Siberia), Novosibirsk: Geo, 2017, 716 p.
- Zakamskii A.V., Zakamskaya E.S., Bioraznoobrazie podrosta v bereznyakakh v respublike Marii El (Biodiversity of young trees in the birch forests in the Republic of Mari El), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2018, Vol. 20, No. 5–3, pp. 381–384.
- Zhenliang Y., Zhanqing H., Canopy gap characteristics and its influence on the regeneration of broad-leaved Korean pine forests in Changbai Mountain, *Journal of Forestry Research*, 1998, Vol. 9, No. 3, pp. 160–165.
DOI: 10.1007/BF02910062

УДК 631.423.1

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД КАК БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОЗЕМАХ МИГРАЦИОННО-СЕГРЕГАЦИОННЫХ ПИТОМНИКОВ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА¹

© 2024 г. В. А. Корбань^{а, *}, Н. В. Сальник^а, С. Н. Горбов^а, С. С. Тагивердиев^а,
П. Н. Скрипников^а, О. С. Безуглова^а, Е. О. Гудзенко^а

^аАкадемия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета,
пр-кт Стачки, д. 194/1, Ростов-на-Дону, 344090 Россия

*E-mail: vickaivolgina@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.11.2022 г.

После доработки 03.05.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

В статье приводятся данные о накоплении тяжелых металлов в черноземе обыкновенном карбонатном, а также в листьях и хвое отдельных древесных видов растений: тополя белого (*Populus alba* L.) и клена ясенелистного (*Acer negundo* L.), сосны крымской (*Pinus pallasiana* D. Don) и ели европейской (*Picea abies* (L.) N. Karst.), произрастающих на территории питомника лиственных и хвойных деревьев Ботанического сада ЮФУ. Рассчитанные значения коэффициентов концентрации (Кс) для почвы под лиственными и хвойными породами деревьев свидетельствуют о низком уровне загрязнения почвы. Как лиственные, так и хвойные породы проявляют барьерный механизм поступления тяжелых металлов, характеризующийся избирательностью по отношению к химическим элементам, что показано через коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов. По интенсивности накопления тяжелые металлы в лиственных породах можно расположить в следующий ряд: Zn > Pb > Cu; в хвойных породах фиксируется последовательность: Zn ≈ Cu > Pb. В накоплении металлов лиственными деревьями более значимо участие листовой поверхности, отсюда инверсия свинца и меди в ряду накопления металлов лиственными породами, так как перенос частичек свинца происходит воздушным путем и часть его оседает на листьях.

Ключевые слова: почва, тяжелые металлы, лиственные и хвойные деревья.

DOI: 10.31857/S0024114824010076, EDN: SLNGCV

Для оценки состояния окружающей среды лучшими фитохимическими индикаторами выступают древесные формы растений. Их ассимилирующие органы весьма чувствительны к условиям произрастания и в случае негативного влияния поллютантов могут претерпевать анатомические и морфологические изменения. Одними из таких поллютантов выступают тяжелые металлы.

Некоторые элементы, такие как никель, цинк, медь и марганец, являются важными микроэлементами, участвующими в жизненном цикле растений. Однако чрезмерное накопление этих элементов вызывает токсические эффекты, отрицательно

влияя на процессы фотосинтеза, рост растений и ферментативную активность.

Изучение и оценка накопления тяжелых металлов ассимилирующими органами в последнее время весьма актуальны и имеют несколько практических моментов. Во-первых, растения играют роль промежуточного звена в циклах миграции элементов между воздухом, почвой и водой, являясь биогеохимическим индикатором состояния окружающей среды. Во-вторых, на основе химического состава ассимилирующих органов можно диагностировать состояние лесного фитоценоза, плодородие почв, выявить дефицит или токсичность элементов для растения. И третий аспект — знание особенностей транслокации и аккумуляции тяжелых металлов определенными породами деревьев — позволяет подобрать необходимый вид

¹Исследование выполнено в рамках программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета (“Приоритет 2030”).

и породу с целью освоения территорий, подвергшихся техногенному загрязнению.

Накопление и перенос ионов тяжелых металлов в растениях зависит как от почвенных параметров (рН, наличие органического вещества, емкости катионного обмена), так и от структуры дерева — количества лигнина и целлюлозы (Mieczek et al., 2009), способности побега образовывать органоиды хранения и компартментализации иона металла в определенных частях ассимилирующих органов (Oklo, 2013). Так, тенденция к более активному накоплению тяжелых металлов корнями ели из загрязненной почвы по сравнению с тополем была выявлена М.Ж. Вуйтер с соавторами (Vuyter et al., 2008).

В процессе роста дерева и его сезонных изменений происходит перемещение ионов тяжелых металлов от корней к листьям (Takenaka et al., 2009). Однако не все металлы способны переноситься от корня к побегам, в исследовании I.D. Pulford с соавторами (Pulford et al., 2001) доказано, что хром плохо переносится к побегам древесной растительности, а концентрация свинца в листьях составляет всего 30% от общей концентрации в корнях. В работе У. Сао с соавторами (Сао et al., 2019) при рассмотрении корней и стеблей ивы цельнолистной (*Salix S. Integra*) методом микрофлуоресцентного анализа (μ-XRF) установлено, что в основном медь концентрируется в корнях вследствие большего связывания с соединениями клеточной стенки.

Рядом авторов отмечено более высокое содержание химических элементов в лиственных породах по сравнению с хвойными (Гирс, 1998; Волкова, 2001). Это связано, прежде всего, с большой площадью листовой пластинки и степенью покрытия воском. В свою очередь, такие хвойные породы, как сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.), обладают хорошей газопоглотительной способностью, утолщенной кожицей и малым количеством устьиц, препятствующих выносу поглощенных элементов с поверхности хвоинок, таким образом, аккумулируя поллютанты в течение нескольких лет (Бородин, 2016). При этом фильтрующая способность хвойных пород определяется не только количеством хвои и ее размером, но и возрастными характеристиками самого дерева (Петров, 1986).

Побочным “продуктом” промышленной активности и индустриализации является загрязнение окружающей среды, в частности почвы, тяжелыми металлами. В связи с этим проблема ремедиации почвы приобретает глобальный характер. Наиболее рентабельными и эстетичными способами ремедиации являются фитоэкстракция и фитостабилизация (Mieczek et al., 2010). Как правило, для эффективной фитоэкстракции важные растения со значительной биомассой. Существенных успехов в исследовании фиторемедиации почв позволило добиться применение метода микрофлуоресцентного

флуоресцентного анализа. При исследовании тканей растений рапса (*Brassica napus* L.) и овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea*) обнаружено, что рапс перемещает свинец эффективнее, чем овсяница тростниковая, которая задерживает в корнях данный металл (Мега, 2019).

Транслокационный путь тяжелых металлов из почвы в растения представляет собой сложный процесс, включающий в себя влияние гранулометрического состава и типа почвы, а также вида, породы и возраста растения (Корельская, Попова, 2012). В последнее время начинают применяться высокотехнологичные методы исследования (рентгено-флуоресцентный метод, метод рентгеновской дифракции, рентгеновская спектроскопия поглощения и др.), позволяющие оценить механизмы взаимодействия тяжелых металлов с почвенными компонентами на молекулярном уровне (Минкина, 2016; Цицуашвили, Минкина, 2021). Тем не менее для выбора потенциальных кандидатов к ремедиации актуальными параметрами являются коэффициенты биологического поглощения и биотранслокации (MacFarlane et al., 2007), позволяющие оценить параметры растений, в том числе и их разновидности.

Поэтому основная цель работы — оценить степень накопления тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu) ассимиляционными тканями, а именно листьями древесной растительности, произрастающей на водораздельной территории р. Темерник Ростовской агломерации для оценки как биогеохимической функции хвойных и лиственных пород, так и мониторинга с учетом природной и техногенной специфики региона.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектами исследования являлись естественные почвы городской территории, а также хвойные и лиственные деревья, произрастающие на водораздельной территории р. Темерник в границах Ботанического сада ЮФУ (рис.). Ботанический сад Южного федерального университета имеет федеральный статус охраны (особо охраняемые природные территории (ООПТ)) и является первым ботаническим садом на огромной территории безлесной зоны юга России. В питомнике Ботанического сада ЮФУ произрастают чистая посадка ели европейской и чистая посадка сосны крымской (табл. 1). Флористический состав остальных ярусов практически идентичен и включает в себя 28 видов травянистых растений, кустарников и лиан из 19 семейств. В травостое преобладает представитель кустарниково-лесной растительности — фиалка душистая (*Viola odorata* L.).

Исследуемые почвы идентифицированы как черноземы обыкновенные карбонатные по классификации почв СССР (Егоров и др.,

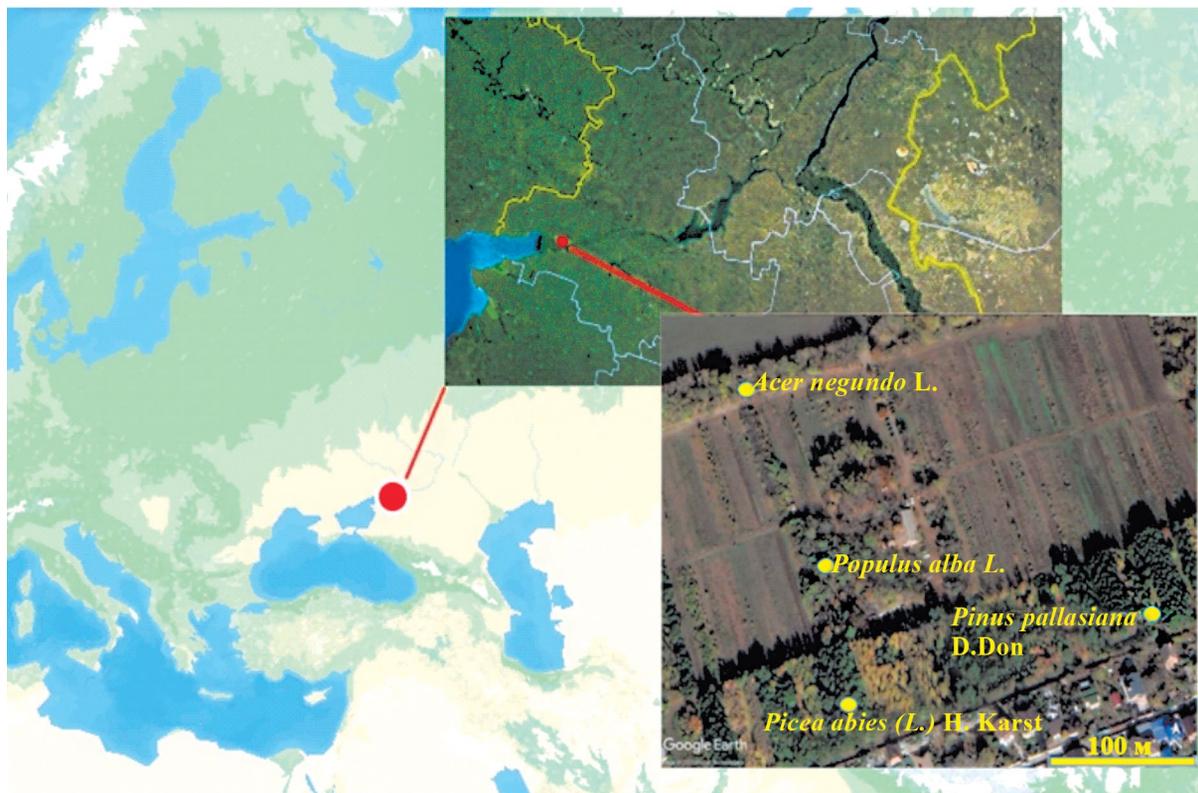


Рис. Карта расположения площадок мониторинга.

1977), или черноземы миграционно-сегрегационные, согласно Классификации и диагностике почв России (Шишов и др., 2004). Согласно мировой реферативной базе почвенных ресурсов (WRB, 2022) они могут быть отнесены к *Hapllic Chernozem*. На мониторинговых площадках были заложены полнопрофильные почвенные разрезы под древесной растительностью. Образцы почвы отбирали из всех генетических горизонтов почвенного профиля. Дополнительно был произведен отбор поверхностных проб из десятисантиметрового слоя (горизонт A1) в десятикратной повторности для проведения статистического анализа данных.

Содержание органического углерода определяли методом Тюрина (Тюрин, 1937) с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель. Анализ содержания неорганического углерода, входящего в состав карбонатов, проводили объемным методом на приборе Шейблера. pH почвы определяли потенциометрическим методом в соответствии с ГОСТ 26423-85 на анализаторе жидкости — pH-метре (иономере) “Эксперт-001” с комбинированным измерительным pH-электродом (ГОСТ 26423-85).

Для изучения загрязнения химическими элементами было выбрано по 10 экземпляров лиственных (тополя белого, клена ясенелистного) и по 10 экземпляров хвойных пород (сосны крымской, ели европейской). Накопление тяжелых металлов

в листьях определяли осенью, в период массового опадения листьев и хвои. Пробы хвои и листьев были высушены до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Почва, высушенная до воздушно-сухого состояния и перетертая в агатовой ступке, просеивалась через сито с диаметром отверстий 0.25 мм (специальная пробоподготовка) (Аринушкина, 1970).

Концентрацию подвижных форм тяжелых металлов (Zn, Pb, Cu) в растениях определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе МГА-915 в соответствии с методикой сухого озоления с последующим добавлением разбавленной азотной кислоты (1 : 1) (Методические указания..., 1993). Определение валового содержания тяжелых металлов в почве проводили рентгенофлуоресцентным методом на приборе “Spectroscan MAKS-GV”.

Математическую обработку данных осуществляли с помощью общепринятых методов вариационной статистики с использованием пакета программ Microsoft Excel. Математическая обработка данных производилась в программе Statistica 13.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На поведение тяжелых металлов в почве оказывают влияние различные почвенные характеристики, преобладающими из которых являются

Таблица 1. Характеристика мониторинговых площадок Ботанического сада Южного федерального университета

Название участка	Координаты	Возраст лесонасаждения	Сомкнутость кроны, %
Питомник ели европейской (<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst)	N47.232851° E39.645382°	60–65 лет	30
Питомник сосны крымской (<i>Pinus pallasiana</i> D. Don)	N47.233300° E39.648200°	70–75 лет	20
Древесные насаждения тополя белого (<i>Populus alba</i> L.)	N47.233720° E39.645278°	15 лет	20
Древесные насаждения клена ясенелистного (<i>Acer negundo</i> L.)	N47.234900° E39.644506°	60–65 лет	70

гранулометрический и минералогический состав, рН почвенного раствора и содержание органического вещества.

Содержание неорганического углерода, входящего в состав карбонатов, в контрольных поверхностных горизонтах под кленами и тополями не превышает 0.1%, в среднем под тополями — 0.06%, а под кленами — 0.07%. На площадке мониторинга под соснами содержание неорганического углерода немного выше и составляет 0.1%, а в черноземе миграционно-сегрегационном под елями — 0.21%. В целом можно сделать вывод о незначительном влиянии находящихся в почве карбонатов на реакцию среды поверхностного слоя почвы, что подтверждается значениями рН почвенных суспензий 7.0–7.2.

Несмотря на то, что точки мониторинга располагаются в незначительном удалении друг от друга, продолжительное функционирование несвойственных степной зоне растительных ассоциаций успело оказать существенное влияние на накопление и распределение органического вещества в поверхностном гумусово-аккумулятивном горизонте изученных почв. В случае почвы под соснами и елями наблюдается пик накопления гумуса в поверхностном дерновом горизонте. Среднее содержание органического углерода в поверхностном дерновом горизонте для двух площадок (10 поверхностных точек) составляет $3.47 \pm 0.50\%$ ($5.99 \pm 0.86\%$ гумуса). Это может быть обусловлено тем, что, во-первых, закладка данной части питомника была на месте старозалежных территорий, во-вторых, на начальных этапах

функционирования незагущенные хвойные насаждения на протяжении длительного времени (не менее 25 лет) обеспечивали оптимальные условия для развития травянистой растительности. Небольшая сомкнутость кроны, которая гарантировала поступление солнечного света в достаточном количестве, но при этом предохраняла травянистый покров от летнего выгорания и позволяла нижнему ярусу вегетировать на протяжении всего сезона без летних пауз в сравнении с естественными степными фитоценозами (Горбов, Безуглова, 2014). Как следствие, на водораздельной территории, где обыкновенно рано наступает летний перерыв в вегетации степной растительности и происходит так называемое “выгорание степи”, сформировались неестественные для данной местности биоценозы, включающие одновременно травянистые, кустарниковые и древесные ярусы, которые совокупно являются потенциальным источником большего поступления свежего органического материала. Одновременно черноземы под тополем белым характеризуются низким содержанием органического углерода — $1.77 \pm 0.08\%$ ($3.06 \pm 0.15\%$ гумуса), результаты представлены в табл. 2. Незначительные величины почвенного органического вещества объясняются выпханностью чернозема, т.к. молодая посадка тополя расположена на участке, который на протяжении длительного времени был подвержен активной вспашке и вовлечению в сельскохозяйственный оборот, как следствие, здесь происходили процессы дегумификации. На черноземах под кленом ясенелистным доля органического углерода занимает промежуточное

Таблица 2. Содержание гумуса, органического и неорганического углерода в горизонте А1 чернозема миграционно-сегрегационного под деревьями

Вид дерева	Гумус, %	С орг, %	С неорг, %
<i>Populus alba</i> L.	3.06 ± 0.15	1.77 ± 0.08	0.06
<i>Acer negundo</i> L.	4.44 ± 0.71	2.57 ± 0.41	0.07
<i>P. Pallasiana</i> D. Don	6.13 ± 0.99	3.56 ± 0.57	0.10
<i>Picea abies</i>	5.83 ± 0.72	3.39 ± 0.42	0.21

Таблица 3. Микроэлементный состав чернозема миграционно-сегрегационного под лиственными и хвойными насаждениями питомников Ботанического сада Ростова-на-Дону

Горизонт	Глубина отбора	Микроэлементный состав, мг/кг (ppm)		
		Cu	Zn	Pb
ОДК (СанПиН 1.2.3685–21)		132	220	130
Фон (Содержание микроэлементов..., 1962)		30	65	20
Чернозем миграционно-сегрегационный, Calcic Chernozem, питомник сосны (<i>P. Pallasiana</i> D. Don)				
A1	0–8	41.94 ± 3.57	127.09 ± 2.91	47.40 ± 3.55
A2	8–60 (20–30)	37.89 ± 3.50	91.36 ± 3.10	30.02 ± 3.36
A2	8–60 (40–50)	33.57 ± 3.48	84.88 ± 2.90	16.30 ± 3.30
B1	60–90	39.30 ± 3.44	86.47 ± 3.11	11.39 ± 2.22
B2	90–110	40.65 ± 3.52	80.76 ± 3.04	13.16 ± 2.36
BC са	110–150	41.64 ± 3.54	82.27 ± 3.10	22.36 ± 3.27
C са	150–160/дно	41.16 ± 3.56	73.95 ± 2.85	20.65 ± 3.44
Чернозем миграционно-сегрегационный, Calcic Chernozem, питомник еловый (<i>Picea abies</i>)				
A1	0–10	43.55 ± 3.44	101.89 ± 2.44	44.68 ± 2.97
A2	10–30	38.63 ± 3.57	75.64 ± 2.76	44.19 ± 2.88
A3	30–50	39.08 ± 3.21	68.35 ± 3.09	34.86 ± 2.55
B1	50–70	39.21 ± 3.10	68.41 ± 3.06	26.98 ± 2.99
B2	70–95	43.51 ± 3.16	69.21 ± 3.18	31.49 ± 3.10
BC са	95–110	47.68 ± 3.13	69.08 ± 3.17	32.17 ± 3.11
C са	110–140/дно	39.12 ± 3.22	68.50 ± 2.88	23.91 ± 3.17
Чернозем миграционно-сегрегационный, Calcic Chernozem, древесные насаждения тополя белого (<i>Populus alba</i> L.)				
A1	0–10	48.66 ± 3.12	96.64 ± 3.21	38.52 ± 2.95
A2	10–30	38.63 ± 3.15	75.64 ± 2.89	44.19 ± 3.09
A3	30–50	39.08 ± 3.17	68.35 ± 3.11	34.86 ± 3.15
B1	50–70	39.21 ± 3.07	68.41 ± 3.45	26.98 ± 2.89
B2	70–95	43.51 ± 3.11	69.21 ± 3.21	31.49 ± 3.08
BC са	95–110	47.68 ± 2.99	69.08 ± 3.71	32.17 ± 3.17
C са	110–140/дно	39.12 ± 3.03	68.50 ± 3.09	23.91 ± 2.87
Чернозем миграционно-сегрегационный, Calcic Chernozem, древесные насаждения клена ясенелистного (<i>Acer negundo</i> L.)				
A1	0–15	49.37 ± 3.15	107.47 ± 3.10	40.11 ± 2.86
A2	15–55	58.04 ± 3.29	90.82 ± 2.48	24.41 ± 2.49
B1	55–75	65.12 ± 3.41	89.91 ± 3.19	22.35 ± 2.11
B2	75–100	61.29 ± 3.34	76.85 ± 3.28	15.25 ± 3.01
BC са	100–120	59.54 ± 3.19	77.26 ± 3.11	21.85 ± 3.03
C са	120–130/дно	63.10 ± 3.27	76.69 ± 3.10	24.83 ± 2.98

положение и составляет $2.57 \pm 0.41\%$ ($4.44 \pm 0.71\%$ гумуса).

Следует отметить, что присутствие гуминовых кислот способствует адсорбции и, как следствие, потенциальному удержанию тяжелых металлов в ППК и их накоплению в почве (Кузнецова и др., 2013). Однако обменная физико-химическая сорбционная способность черноземов допускает частичное поступление тяжелых металлов в древесные растения, главным образом, через корневую систему. В связи с тем, что глубина залегания питающих корней деревьев является различной, валовое содержание тяжелых металлов в каждом

горизонте усреднялось и концентрация рассчитывалась для всего корнеобитаемого слоя в целом.

По данным отечественных исследований, корневая система тополя белого имеет преимущественно поверхностное развитие в верхних горизонтах почвы на глубине 15–25 см (Редько, 1975), при этом длина корней достигает 20–50 м. Для клена ясенелистного свойственна аналогичная корневая система (глубина залегания 0–40 см), хотя отдельные корни могут достигать глубины 2–4 м (Чибрик и др., 1982).

Для хвойных пород (ель европейская, сосна крымская) характерен интенсивный рост в первые

Таблица 4. Валовое содержание химических элементов в черноземе миграционно-сегрегационном под древесными растениями и коэффициенты концентраций металлов в корнеобитаемой толще

Элемент	Среднее содержание химических элементов в почве под древесными растениями, мг/кг								ОДК/ Фон
	<i>Populus alba</i> L.	Кс	<i>Acer negundo</i> L.	Кс	<i>P. Pallasiana</i> D. Don	Кс	<i>Picea abies</i>	Кс	
Zn	73.69	0.98	86.50	1.15	89.54	1.19	74.44	0.99	220/65
Cu	42.27	0.77	59.41	1.08	39.45	0.72	41.54	0.76	132/30
Pb	33.16	1.33	24.80	0.99	23.04	0.92	34.04	1.36	130/20

годы жизни. К 30 гг. после достижения максимального размера и предельной глубины происходит количественное увеличение поверхностных отростков (глубина залегания 30–60 см) (Сероглазова, 1978; Праходский и др., 1992). Среднее содержание изученных микроэлементов для корнеобитаемого слоя под каждым видом древесных растений рассчитывали с помощью средневзвешенных данных по всему почвенному профилю (табл. 3).

Оценку индикаторных свойств лиственных и хвойных пород деревьев проводили на основании содержания актуальных поллютантов: Zn, Pb, Cu. Для оценки загрязнения использовались показатели: ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) и коэффициент концентрации химического элемента (Кс), определяющийся отношением его реального содержания в почве к фоновому. За фоновые значения принимаются данные результатов исследования, проведенного В.В. Акимцевым с соавторами на территории сельхозугодий юго-запада Ростовской области в 1962 году (Акимцев и др., 1962).

Для оценки степени доступности элемента в системе “почва–растение” был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП) как отношение содержания химического элемента в надземной части растения к общему содержанию элемента в почве.

В результате анализа содержания валовых количеств тяжелых металлов в почве под деревьями выявлено превышение фоновых значений меди, цинка и свинца, что свидетельствует о накоплении этих металлов в почвах (табл. 4). Тем не менее рассчитанные значения коэффициентов Кс показывают, что уровень загрязнения данными металлами является допустимым.

Результаты определения содержания тяжелых металлов в листьях деревьев представлены в табл. 5.

Тяжелые металлы могут поступать в древесные формы растений как с аэральным потоком, так и с корневым поглощением почвенных растворов. Сравнительный анализ хвойных и лиственных пород показывает более высокое содержание тяжелых металлов в лиственных породах, что подтверждается и в работах других авторов (Ташекова, Торопов, 2017; Коротченко, Мучкина, 2017, 2018). Оценивая полученные данные, можно заключить, что в условиях

парково-рекреационной зоны Ростова-на-Дону содержание изученных поллютантов является допустимым для лиственных пород как для тополя белого и клена ясенелистного, так и для сосны крымской и ели европейской. Коэффициенты биологического поглощения листьями деревьев в отношении свинца ниже 1, что, вероятно, связано, с одной стороны, с барьерным механизмом изученных видов деревьев, с другой — с отсутствием существенных валовых концентраций свинца в парково-рекреационных зонах Ростова-на-Дону.

Повышенное биопоглощение цинка в породах тополя белого и клена ясенелистного обусловлено биофильностью данного элемента и безбарьерным характером его поглощения. Накопление цинка и меди в листьях деревьев рода тополя белого, а также клена ясенелистного было отмечено также Л.В. Аниловой с соавторами и Д.М. Турлибековой (Анилова и др., 2013; Турлибекова, 2014). Для сосны крымской и ели европейской накопление цинка в ассимилирующих органах не наблюдается, несмотря на возрастные характеристики деревьев. Данная особенность, вероятно, обусловлена площадью хвоинок. В ряде публикаций исследовано влияние техногенных нагрузок на содержание тяжелых металлов в хвое сосен и елей, однако авторами отмечается неясность с механизмом поступления и накопления цинка (Шербенко, 2008; Меншиков и др., 2020). Поглощение меди и свинца для данных пород хвойных деревьев оценивается как низкое.

По интенсивности накопления тяжелые металлы в лиственных породах можно расположить в следующий ряд: Zn > Pb > Cu; в хвойных породах, в свою очередь, фиксируется последовательность: Zn ≈ Cu > Pb. Вероятно, что повышенное содержание почвенного органического углерода под хвойными растениями способствует удержанию большей части тяжелых металлов в почвенном поглощающем комплексе и на фоне барьерности самих растений препятствует транслокации поллютантов в проводящие системы сосны крымской и ели европейской.

В целом валовое количество тяжелых металлов в черноземах как под лиственными, так и под хвойными породами убывает в ряду: Zn > Cu > Pb. В накоплении металлов тополем белым, а также кленом

Таблица 5. Среднее содержание химических элементов в листьях и хвое изученных древесных видов Ботанического сада ЮФУ Ростова-на-Дону

Химический элемент	Концентрация ТМ в тканях листьев достаточное/избыточное (Kabata-Pendias, 2011)	Содержание химических элементов, мг/кг Коэффициент биологического поглощения (КБП)			
		<i>Populus alba</i> L.	<i>Acer negundo</i> L.	<i>P. Pallasiana</i> D. Don	<i>Picea abies</i>
Zn	27–150	30.70	20.74	1.93	1.67
	100–400	0.28	0.18	0.02	0.02
Cu	5–30	2.77	2.53	1.82	1.70
	70–100	0.02	0.02	0.04	0.04
Pb	5–10	5.15	5.64	0.96	0.84
	30–300	0.05	0.04	0.02	0.02

ясенелистным более значимо участие самой листовой поверхности, отсюда инверсия свинца и меди в ряду накопления металлов листовыми породами, так как перенос частичек свинца происходит воздушным путем и большая часть его оседает на листьях, минуя прямое попадание в почву.

ВЫВОДЫ

Почвы питомника хвойных и лиственных деревьев представлены черноземами миграционно-сегрегационными, занимающими водораздельную часть Ботанического сада ЮФУ, как следствие, эдафические характеристики для всех точек мониторинга сопоставимы по химическому составу, который отражает частично антропогенно-трансформированный геохимический фон ландшафта в целом.

Несмотря на общность изученных физико-химических показателей почв, основным отличительным показателем выступает содержание почвенного органического вещества на отдельных площадках мониторинга, что сопряжено с различиями в функциональном использовании участков питомника на исторических этапах его функционирования. Относительно высокое содержание гумуса в поверхностных гумусово-аккумулятивных горизонтах черноземов под хвойными породами (около 6%) может являться причиной более интенсивной сорбции поллютантов почвенным поглощающим комплексом и в совокупности с барьерными механизмами у высших споровых — причиной низкой транслокации цинка и свинца в проводящие системы сосны крымской и ели европейской.

Лиственные породы деревьев так же, как и хвойные, используют защитный механизм от избыточного поступления в ткани поллютантов, но интенсивность накопления тяжелых металлов в листовых породах имеет иной ряд: $Zn > Pb > Cu$. Однако возникающая избирательность к поглощению определенных химических элементов требует более масштабных исследований.

Для парково-рекреационных зон водораздельной части Ростова-на-Дону в качестве объектов

фитоиндикации более информативными могут считаться тополь белый, а также клен ясенелистный, поскольку накопление тяжелых металлов в зеленой массе данных пород значительно выше и сопряжено не только с транслокацией поллютантов из почвы, но и с физическим накоплением пыли непосредственно на самой листовой пластине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анилова Л.В., Примаков О.В., Васильева Т.Н. Аккумуляция тяжелых металлов растениями — типичными представителями флоры г. Оренбурга // Известия ОГАУ. 2013. № 2 (40). С. 223–225.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. С. 488.
- Бородин Н.А. Влияние техногенной нагрузки на содержание тяжелых металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.): Мат-лы 4-й Всероссийской научной конференции. Благовещенск: Институт геологии и природопользования ДВО РАН, 2016. С. 5–8.
- Волкова И.Ю. Микроэлементарный состав подроста и подлеска елово-пихтовых лесов Республики Марий Эл: дис. канд. биол. наук: 03.00.32. Йошкар-Ола, 2001. С. 112.
- Гирс Г.И. Содержание азота и зольных элементов в органах древесных растений России. Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1998. С. 76.
- Горбов С.Н., Безуглова О.С. Специфика органического вещества почв Ростова-на-Дону // Почвоведение. 2014. № 8. С. 1–11.
- ГОСТ 26423–85 Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011.
<https://docs.cntd.ru/document/1200023484>
- Егоров В.В., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., Фридрих В.М. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. С. 221.
- Корельская Т.А., Попова Л.Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селибного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 1–17.
- Коротченко И.С., Мучкина Е.Я. Тяжелые металлы в почвенном покрове и древесных растениях урбанизированной территории города Красноярска // Экология урбанизированных территорий. 2017. № 2. С. 6–11.

- Коротченко И.С., Мучкина Е.Я. Сравнительная оценка накопления тяжелых металлов листовыми и хвойными породами в условиях техногенного загрязнения: Мат-лы конференции “Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды”. Иркутск: Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2018. С. 1067–1069.
- Кузнецова И.А., Боголицин К.Г., Бойцова Т.А., Паламарчук И.А., Арионов Н.С., Бровко О.С. Сорбционные свойства и модификация торфяных гуминовых кислот // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки. 2013. № 1. С. 37–42.
- Менщиков С.Л., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е. Аккумуляция металлов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в почве и снеговой воде в условиях техногенного загрязнения // Лесной вестник. 2020. Т. 24. № 3. С. 94–102. Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1993. 62 с.
- Минкина Т.М., Солдатов А.В., Невидомская Д.Г., Мотузова Г.В., Подковырина Ю.С., Манджиева С.С. Новые подходы в изучении соединений тяжелых металлов в почвах с применением рентгеноспектрального анализа и экстракционного фракционирования // Геохимия. 2016. № 2. С. 212–219.
- Петров В.В. Лес и его жизнь. М.: Просвещение, 1986. С. 159.
- Праходский А.Н., Рудевич М.Н., Рудевич Н.Н. Корневые системы деревьев в противозерозионных насаждениях на террасах // Лесоведение и лесное хозяйство: республиканский межведомственный сб. науч. ст. Минск: Вышэйшая школа, 1992. С. 109–112.
- Редько Г.И. Биология и культура тополей. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. 175 с.
- Сероглазова Л.М. Корневые системы псевдотсуги тиссолистной и серой, лиственницы сибирской и ели обыкновенной в лесных культурах // Лесоведение и лесное хозяйство: республиканский межведомственный сборник. Минск: Вышэйшая школа, 1978. С. 47–50.
- Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области // Микроэлементы и естественная радиоактивность почв: Мат-лы 3-го межвузовского совещания / Под ред. В.В. Акимцева. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1961. С. 38–41.
- Ташекова А.Ж., Торопов А.С. Использование листьев растений как биогеохимических индикаторов состояния городской среды // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. № 328 (5). С. 114–124.
- Турлибекова Д.М. Содержание тяжелых металлов у *Acer negundo* в условиях промышленного загрязнения города Орска // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 6 (167). С. 148–149.
- Тюрин И.В. Органическое вещество почв. М.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
- Цицаушвили В.С., Минкина Т.М. Синхротронное излучение для исследования трансформации токсичных элементов в системе “почва–растение” (обзор) // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2021. № 8. С. 41–50.
- Чибрик Т.С., Карташева Г.Г., Саламатова Н.А. Оценка опыта биологической рекультивации верхних уступов Коркинского угольного разреза // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1982. № 9. С. 18–32.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. С. 342.
- Щербенко Т.А. Поглощение элементов сосной и елью в лесных экосистемах северной тайги в условиях атмосферного загрязнения: дис. канд. биол. наук: 03.00.27. М.: МГУ, 2008. 89 с.
- Boyer M.J., Brummer J.E., Leininger W.C. Growth and metal accumulation of geyser and mountain willow grown in topsoil versus amended mine tailings // Water, Air, Soil Pollut. 2009. V. 198. P. 17–29.
- Cao Y.N., Ma C.X., Zhang J.F., Wang S.F., White J.C., Chen G.C., Xing B.S. Accumulation and spatial distribution of copper and nutrients in willow as affected by soil flooding: A synchrotron-based X-ray fluorescence study // Environmental Pollution. 2019. V. 246. P. 980–989.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022.
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soil and plants. 4th edition. Boca Raton, 2011. P. 548.
- MacFarlane G.R., Koller C.E., Blomberg, S.P. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: A synthesis of field-based studies // Chemosphere. 2007. V. 69. P. 1454–1464.
- Mera M.F., Rubio M., Pérez C.A., Galván V., Germanier A.G. SR μ XRF and XRD study of the spatial distribution and mineralogical composition of Pb and Sb species in weathering crust of corroded bullets of hunting fields // Microchemical Journal. 2015. V. 119. P. 114–122.
- Mleczek M., Magdziak Z., Rissmann I., Golinski P. Effect of different soil conditions on selected heavy metal accumulation by *Salix viminalis* tissues // Journal of Environmental Science and Health. 2009. V. 44. P. 1609–1616.
- Mleczek M., Rutkowski P., Rissmann I., Kaczmarek Z., Golinski P., Szentner K., Stachowiak A. Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis* // Biomass and Bioenergy. 2010. V. 34. P. 1410–1418.
- Oklo D.A. Assessment of Heavy Metals of Tree Barks in Nigeria // Journal of Environment and Bioenergy. 2013. V. 5. P. 80–89.
- Pulford I.D., Watson C., Mcgregor S.D. Uptake of chromium by trees: Prospects for phytoremediation, Environ // Environmental Geochemistry and Health. 2001. P. 307–311.
- Takenaka C., Kobayashi M., Kanaya S. Accumulation of cadmium and zinc in *Evodiopanax innovans* // Environmental Geochemistry and Health. 2009. V. 31. P. 609–615.
- СанПиН 1.2.3685–21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания” (с изменениями на 30 декабря 2022 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/8P20LR> (дата обращения: 15.11.2022).

Comparative Assessment of Tree Species as Ecosystem Indicator of Heavy Metals Accumulation in Calcic Chernozems on the SFU's Botanical Garden

V. A. Korban¹*, N. V. Sal'nik¹, S. N. Gorbov¹, S. S. Tagiverdiev¹, P. N. Skripnikov¹,
O. S. Bezuglova¹, Ye. O. Gudzenko¹

¹Academy of Biology and Biotechnology,
Stachki ave. 194/1, Rostov-on-Don, 344090 Russian Federation
*E-mail: vickaivolgina@yandex.ru

The article presents data on the accumulation of heavy metals in calcic chernozems, as well as in the leaves and needles of certain woody plant species: white poplar (*Populus alba* L.) and boxelder maple (*Acer negundo* L.), Crimean pine (*Pinus nigra* var. *pallasiana* D. Don) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) H. Karst.), growing on the territory of the deciduous and coniferous trees nursery of the Southern Federal University's Botanical Garden. The calculated values of concentration coefficients (Kc) for soils under deciduous and coniferous trees indicate a low level of soil contamination. Both deciduous and coniferous species exhibit a barrier mechanism for the entry of heavy metals, characterized by selectivity with respect to chemical elements, which is shown through the coefficients of biological absorption of heavy metals. According to the accumulation intensity, heavy metals in deciduous species can be arranged in the following series: Zn > Pb > Cu, while in coniferous species the sequence was found to be Zn ≈ Cu > Pb. In the accumulation of metals by deciduous trees, the participation of the leaf surface is more significant, hence the inversion of lead and copper in the series of metals accumulation by deciduous trees, caused by the of lead particles being airborne and partially collected by the leaves' surface.

Keywords: soil, heavy metals, deciduous and coniferous trees.

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the Strategic Academic Leadership Program of the Southern Federal University ("Priority 2030").

REFERENCES

- Anilova L.V., Primak O.V., Vasil'eva T.N., Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov rasteniyami — tipichnymi predstaviteleyami flory g. Orenburga (Accumulation of heavy metals by typical plants representing the flora of Orenburg), *Izvestiya OGAU*, 2013, No. 2 (40), pp. 223–225.
- Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Handbook on chemical analysis of soils), Moscow: Izd-vo MGU, 1970, 487 p.
- Borodina N.A., Vliyanie tekhnogennoi nagruzki na sodержanie tyazhelykh metallov v khvoe sosny obyknovЕННОй (*Pinus silvestris* L.) (The influence of anthropogenic load on the content of heavy metals in the needles of Scots pine (*Pinus silvestris* L.)), *4-i Vserossiiskaya nauchnaya konferentsiya* (4th All-Russia Science Conference), Blagoveshchensk, Proc. Conf., Blagoveshchensk: Institut geologii i prirodopol'zovaniya DVO RAN, 2016, pp. 5–8.
- Boyer M.J., Brummer J.E., Leininger W.C., Growth and metal accumulation of geyer and mountain willow grown in topsoil versus amended mine tailings, *Water, Air, Soil Pollut.*, 2009, Vol. 198, pp. 17–29.
- Cao Y.N., Ma C. X., Zhang J.F., Wang S.F., White J.C., Chen G.C., Xing B.S., Accumulation and spatial distribution of copper and nutrients in willow as affected by soil flooding: A synchrotron-based X-ray fluorescence study, *Environmental Pollution*, 2019, Vol. 246, pp. 980–989.
- Chibrik T.S., Kartasheva G.G., Salamatova N.A., Otsenka opyta biologicheskoi rekultivatsii verkhnikh ustupov Korkinskogo ugol'nogo razreza (Evaluation of the experience of biological reclamation of the upper ledges of the Korkinsky coal mine), *Rasteniya i promyshlennaya sreda*, 1982, No. 9, pp. 18–32.
- Egorov V.V., Ivanova E.N., Rozov N.N., Fridland V.M. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR (Classification and diagnostics of the soils of USSR)*, Moscow: Kolos, 1977, 224 p.
- Girs G.I., *Soderzhanie azota i zol'nykh elementov v organakh drevesnykh rastenii Rossii* (Content of nitrogen and mineral constituents in the organs of woody plants in Russia), Krasnoyarsk: Institut lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 1998, 76 p.
- Gorbov S.N., Bezuglova O.S., Specific features of organic matter in urban soils of Rostov-on-Don, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 8, pp. 792–800.
- GOST 26423-85 Metody opredeleniya udel'noi elektricheskoi provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoi vytyazhki*, (Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract), Moscow: Standartinform, 2011, available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200023484>.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria, 2022.
- Kabata-Pendias A., *Trace elements in soil and plants*, Boca Raton, 2011, 548 p.
- Korel'skaya T.A., Popova L.F., Tyazhelye metally v pochvenno-rastitel'nom pokrove selitebnogo landshafta goroda Arkhangel'ska (Heavy metals in the soil-vegetation cover

- of the selitebny landscape of the city Arkhangelsk), *Arktika i Sever*, 2012, No. 7, pp. 1–17.
- Korotchenko I.S., Muchkina E.Y., Sravnitel'naya otsenka nakopleniya tyazhelykh metallov listvennymi i khvoynymi porodami v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya (Comparative assessment of heavy metals accumulation deciduous and conifers in the conditions of technogenic pollution), *Mekhanizmy ustoychivosti rastenii i mikroorganizmov k neblagopriyatnym usloviyam sredy* (Mechanisms of resistance of plants and microorganisms to unfavorable environmental conditions), Irkutsk, Conf. Proc., Irkutsk: Institut geografii im. V.B. Sochavy SO RAN, 2018, pp. 1067–1069.
- Korotchenko I.S., Muchkina E.Y., Tyazhelye metally v pochvennom pokrove i drevnykh rasteniyakh urbanizirovannoi territorii goroda Krasnoyarska (Heavy metals in the soil cover and woody plants of the urban areas of Krasnoyarsk), *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*, 2017, No. 2, pp. 6–11.
- Kuznetsova I.A., Bogolitsin K.G., Boitsova T.A., Palamarchuk I.A., Arionov N.S., Brovko O.S., Sorbtionnyye svoystva i modifikatsiya torfyanykh guminovykh kislot (orption properties and modification of peat humic acids), *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta, Seriya: Estestvennyye nauki*, 2013, No. 1, pp. 37–42.
- MacFarlane G.R., Koller C.E., Blomberg, S.P., Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: A synthesis of field-based studies, *Chemosphere*, 2007, Vol. 69, pp. 1454–1464.
- Menshchikov S.L., Kuz'mina N.A., Mokhnachev P.E., Akkumulyatsiya metallov v khvoe sosny obyknovЕННОй (*Pinus sylvestris* L.), v pochve i snegovoi vode v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya (Accumulation of metals in pine (*Pinus sylvestris* L.) needles, in soil and snow melt water in conditions of technogenic pollution), *Lesnoi vestnik*, 2020, Vol. 24, No. 3, pp. 94–102.
- Mera M.F., Rubio M., Pérez C.A., Galván V., Germanier A.G., SR μ XRF and XRD study of the spatial distribution and mineralogical composition of Pb and Sb species in weathering crust of corroded bullets of hunting fields, *Microchemical Journal*, 2015, Vol. 119, pp. 114–122.
- Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v kormakh i rasteniyakh i ikh podvizhnykh soedineniy v pochvakh sel'khozugodii i produktii rastenievodstva* (Guidelines for the determination of heavy metals in feed and plants and their mobile compounds in soils of farmland and crop products), Moscow: TsINAO, 1993, 62 p.
- Minkina T.M., Soldatov A.V., Nevidomskaya D.G., Podkovyrina Y.S., Mandzheva S.S., Motuzova G.V., New approaches to studying heavy metals in soils by X-ray absorption spectroscopy (xanes) and extractive fractionation, *Geochemistry International*, 2016, Vol. 54, No. 2, pp. 197–204.
- Mleczek M., Magdziak Z., Rissmann I., Golinski P., Effect of different soil conditions on selected heavy metal accumulation by *Salix viminalis* tissues, *Journal of Environmental Science and Health*, 2009, Vol. 44, pp. 1609–1616.
- Mleczek M., Rutkowski P., Rissmann I., Kaczmarek Z., Golinski P., Szentner K., Stachowiak A., Biomass productivity and phytoremediation potential of *Salix alba* and *Salix viminalis*, *Biomass and Bioenergy*, 2010, Vol. 34, pp. 1410–1418.
- Oklo D.A., Assessment of Heavy Metals of Tree Barks in Nigeria, *Journal of Environment and Bioenergy*, 2013, Vol. 5, pp. 80–89.
- Petrov V.V., *Les i ego zhizn'* (Forest and its life), Moscow: Prosveshchenie, 1986, 159 p.
- Prakhodskii A.N., Rudevich M.N., Rudevich N.N., Kornevye sistemy derev'ev v protivoozozionnykh nasazhdeniyakh na terrasakh (Root systems of trees in anti-erosion plantings on terraces), In: *Lesovedenie i lesnoe khozyaistvo: respublikanskii mezhdovedomstvennyi sb. nauch. st* (Forest science and forestry: republican interdepartmental collection), Minsk: Vysheishaya shkola, 1992, pp. 109–112.
- Pulford I.D., Watson C., McGregor S.D., Uptake of chromium by trees: Prospects for phytoremediation, *Environmental Geochemistry and Health*, 2001, pp. 307–311.
- Red'ko G.I., *Biologiya i kul'tura topolei* (Biology and plantation of poplars), Leningrad: Izd-vo Leningr. un-ta, 1975, 175 p.
- SanPiN1.2.3685-21, available at: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/8P20LR> (November 15, 2022).
- Seroglazova L.M., Kornevye sistemy psevdotsugi tissolistnoi i seroi, listvennitsy sibirskoi i eli obyknovЕННОй v lesnykh kul'turakh (Root systems of Douglas fir and Rocky Mountain Douglas-fir, Siberian larch and common spruce in forest plantations), In: *Lesovedenie i lesnoe khozyaistvo: respublikanskii mezhdovedomstvennyi sbornik* (Forest science and forestry: republican interdepartmental collection), Minsk: Vysheishaya shkola, 1978, pp. 47–50.
- Shcherbenko T.A., *Pogloshchenie elementov sosnoi i el'yu v lesnykh ekosistemakh severnoi taigi v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya. Diss. kand. biol. nauk* (Absorption of elements by pine and spruce in forest ecosystems of the northern taiga under conditions of atmospheric pollution. Candidate's biol. sci. thesis), Moscow: MGU, 2008, 89 p.
- Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and recognition of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
- Soderzhanie mikroelementov v pochvakh Rostovskoi oblasti (Content of microelements in soils of the Rostov region), *Mikroelementy i estestvennaya radioaktivnost' pochv* (Microelements and natural radioactivity of soils), Rostov-on-Don, Proc. of 3rd interuniversity meeting, Rostov-on-Don: Izd-vo Rost. un-ta, 1961, pp. 38–41.
- Takenaka C., Kobayashi M., Kanaya S., Accumulation of cadmium and zinc in *Evodiopanax innovans*, *Environmental Geochemistry and Health*, 2009, Vol. 31, pp. 609–615.
- Tashekova A.Z., Toropov A.S., Ispol'zovanie list'ev rastenii kak biogeokhimicheskikh indikatorov sostoyaniya gorodskoi sredy (Application of leaves as biogeoindicators of urban environment state), *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2017, No. 328 (5), pp. 114–124.
- Tsitsuashvili V.S., Minkina T.M., Sinkhrotronnoe izluchenie dlya issledovaniya transformatsii toksichnykh elementov v sisteme "pochva-rastenie" (obzor) (Synchrotron radiation for the study of toxic elements transformation in the soil-plant system (review)), *Poverkhnost'. Rentgenovskie, sinkhrotronnyye i neitronnyye issledovaniya*, 2021, No. 8, pp. 41–50.
- Turlibekova D.M., Soderzhanie tyazhelykh metallov u Acer negundo v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya goroda Orska (The content of heavy metals at Acer negundo growing in parks of the city of Orsk, in the conditions of industrial pollution), *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, No. 6 (167), pp. 148–149.
- Tyurin I.V., *Organicheskoe veshchestvo pochv* (Soil organic matter), Moscow: Sel'khozgiz, 1937, 287 p.
- Volkova I.Y., *Mikroelementarnyi sostav podrosta i podleska elovo-pikhtovykh lesov Respubliki Marii El. Diss. kand. biol. nauk* (Microelemental composition of regrowth and undergrowth of spruce-fir forests of the Republic of Mari El. Candidate's biol. sci. thesis), Yoshkar-Ola: 2001, 112 p.

УДК 581.52+57.045+577.3

МЕХАНИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ МОЖЖЕВЕЛЬНИКА ВИРГИНСКОГО В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ¹

© 2024 г. В. О. Корниенко^{а, *}, В. Н. Калаев^б

^аДонецкий государственный университет, ул. Университетская, д. 24, Донецк, 83001 Россия

^бВоронежский государственный университет, Университетская пл., д. 1, Воронеж, 394018 Россия

*E-mail: kornienkovo@mail.ru

Поступила в редакцию 17.01.2023 г.

После доработки 14.02.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

В работе установлена связь между температурным фактором, физико-механическим параметром — модулем упругости тканей древесины можжевельника виргинского (*Juniperus virginiana* L.) и его архитектурной кроны. Так, при высокой положительной температуре в летний период снижение модуля упругости приводит к медленному изгибам скелетных ветвей, что, в свою очередь, отражается на площади проекции кроны, а также на ее светопроницаемости и, как следствие, на температуре и влажности под пологом. В первую очередь температура будет сказываться на механической устойчивости деревьев, которые характеризуются критическим отношением диаметра ствола к его длине (коэффициент $d/l \leq 0.009$) и наименьшим запасом прочности ствола. В статье разработана схема механической устойчивости можжевельника виргинского — вследствие появления разрывов и в целом изменения архитектуры кроны, происходит неравномерный прогрев ствола, который приводит к нарушению его однородности по физико-механическим свойствам тканей. Выявлены необратимые деформации и многочисленные обломы растений на высоте в среднем 1.5 ± 0.5 м и в зоне корневой шейки. В результате нарушается световой режим древостоя, влияющий на фитоклиматические и биоэкологические особенности степных лесонасаждений. Изменение фитоклимата под пологом в сторону повышенной освещенности из-за изменения архитектуры приводит к снижению устойчивости и, как следствие, неспособности древесных растений сопротивляться натиску агрессивной травянистой и древесно-кустарниковой растительности.

Ключевые слова: можжевельник виргинский, древостой, температура, механическая устойчивость, жизнеспособность, аварийность.

DOI: 10.31857/S0024114824010084, EDN: SLLJXY

Адаптация древесных растений к действию природно-климатических факторов является важной компонентой их устойчивости в условиях степной зоны. Так, в результате действия высокой температуры в летний период происходит изменение модуля упругости тканей древесных растений (Корниенко, Калаев, 2018), что приводит к трансформации формы кроны за счет прогиба скелетных ветвей, а в совокупности с ветровой нагрузкой (James et al., 2006; Dahle, Grabosky, 2010; James et al., 2014; Dahle et al., 2017; Jelonek et

al., 2019), снежными и ледяными бурями (в зимний сезон) (Nock et al., 2016) все это отражается на механической устойчивости и аварийности не только отдельных деревьев, но и древостоев в целом (Корниенко, Калаев, 2022). Изменение архитектуры кроны дерева приводит к нарушению сомкнутости и цельности древостоев, увеличению светопроницаемости и, как следствие, изменению фитоклимата, что отражается на формировании экологической структуры фитоценоза (Бельгард, 1971; Нецветов, 2012). Как отмечал А.Л. Бельгард, именно количество просветов в кронах и между крон влияет на световой и температурный режим полога древостоев (Бельгард, 1971). Различают следующие типы светового состояния: нормальное, усиленное и ослабленное (Бельгард, 1971), а также гиперусиленное и меланизированное (Иванько, 2002). Изменение фитоклимата может отражаться

¹Исследование выполнено в рамках молодежной лаборатории «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно-трансформированных экосистем Донбасса» (№ госрегистрации НИОКТР 1023110700153-4-1.6.19; 1.6.11; 1.6.12).



Рис. 1. Контрольные (1) и экспериментальные (2) древостои можжевельника виргинского на территории дендрария Донецкого ботанического сада.

на формировании видового состава фитоценоза, его структуры, способности к саморегулированию и устойчивости в целом.

В связи с этим целью нашей работы было исследование влияния изменения биомеханических свойств тканей и аллометрии стволов и побегов под действием климатических факторов на формирование экологических условий подпологового пространства и степени устойчивости насаждений можжевельника виргинского.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

В качестве объекта исследования нами был выбран можжевельник виргинский, вечнозеленое двудомное дерево до 15 м высотой, с ширококонусовидной кроной. Согласно литературным данным, вид включен в список древесных растений, пригодных для озеленения экстремальных экотопов степной зоны (Козловский, 2009). Можжевельник виргинский обладает высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью, вид также устойчив к болезням и вредителям, пыле- и газоустойчив (Козловский и др., 2009). Растет быстро, светолюбив, нетребователен к плодородию почв, выносит слабое засоление. Вид отнесен к высокодекоративным древесным растениям южной части Восточно-Европейской равнины (по параметрам: красивоплодные, декоративнолиственные) (Козловский и др., 2009).

В ходе проведения экспериментальной части работы мы разделили объекты исследования на две группы: контроль и эксперимент. Контрольная группа отличалась от экспериментальной наличием первого ряда можжевельника казацкого (*Juniperus sabina* L.), растущего по периметру и создающего преграду для прохождения рассеянной солнечной радиации. Экспериментальная группа — монокультуры можжевельника виргинского, образованные

в 2017 г. после вырубki первого ряда можжевельника казацкого. Следует отметить, что до проведения санитарных мероприятий все растения экспериментальных куртин находились в одинаковых условиях с контролем и имели вертикальную ориентацию стволов.

Территория исследований. Мониторинговые исследования проводились с 2017 по 2022 гг. на куртинах можжевельника виргинского, произрастающих в дендрарии Донецкого ботанического сада (ДБС), расположенного в восточной части Донецка — крупного промышленного центра Донецкого региона (рис. 1).

Фитоактинометрические исследования. В летний период 2017–2021 гг. исследования проводили при средней температуре воздуха $34 \pm 2^\circ\text{C}$, зарегистрированный максимум на открытом пространстве достигал $+40^\circ\text{C}$. Освещенность измеряли люксметром Testo 540 (погрешность измерений 1–3%). Температуру воздуха, почвы и влажность измеряли с помощью прибора АМТ-300 (погрешность измерений 1°C). Значение влажности определяли в тестовом режиме и разделяли на 5 уровней: dry^+ — очень сухо; dry — сухо; nog — нормально; wet — влажно; wet^+ — очень влажно.

Аллометрические исследования. Результаты визуального осмотра можжевельника виргинского фиксировались с помощью фотоаппарата Nikon Coolpix S2600, обработку и анализ изображений проводили в программе AxioVision Rel. 4.8. Высоту деревьев измеряли с помощью электронного высоотомера HEC Haglof, диаметр стволов и скелетных ветвей — с помощью мерной вилки фирмы Haglof.

Жизненное состояние древесных растений определяли по методике В.А. Алексева (Алексеев, 1989).

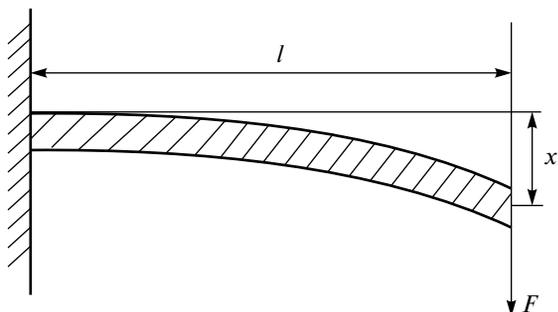


Рис. 2. Изгиб цилиндра (участок ветви) под действием приложенной к его концу силы $F = mg$, где l — длина цилиндра; x — смещение свободного конца цилиндра (Нецветов, Сусллова, 2009).

Биомеханические исследования. Продольный модуль упругости (MOE) древесных тканей определяли по величине изгиба цилиндра обрезанной ветви (рис. 2), горизонтально зажатой в тисках, в ответ на приложение силы F на ее свободном конце по формуле (1) (Нецветов, Сусллова, 2009; Корниенко и др., 2018):

$$MOE = \frac{64Cl^3}{3\pi d^4}, \quad (1)$$

где C — жесткость цилиндра, l — его длина, d — диаметр.

Жесткость зажатого одним концом цилиндра рассчитывали как (2):

$$C = \frac{mg}{x}, \quad (2)$$

где m — масса приложенного груза, g — ускорение силы тяжести, x — смещение свободного конца цилиндра.

Температурная зависимость модуля упругости. Для определения температурной зависимости модуля упругости (MOE) одновозрастные побеги отбирали при отрицательной температуре в среднем 3°C . С одного торца в образцы помещали хромель-алюмелевую термопару на глубину 1 см. Для предотвращения испарения оба торца покрывали герметическим материалом (силиконовый герметик). Затем образцы охлаждали в морозильной камере до $-22^\circ\text{C}/-21^\circ\text{C}$, после чего их переносили в лабораторию с температурой воздуха $+15^\circ\text{C}$. Исследуемый побег закрепляли в штативе концом, в торце которого была фиксирована термопара. Измерение продольного модуля упругости (MOE) проводили через каждый 1°C . Длительность эксперимента для образца в среднем составляла 1700 ± 200 с. Было исследовано 20 образцов. Для удобства сравнения данных по разным образцам их модули упругости нормировали к значениям, полученным при $T = +15^\circ\text{C}$.

Механическая устойчивость древесных растений. Для оценки механической устойчивости деревьев можжевельника виргинского использовали следующие параметры:

1. Относительное сопротивление изгибу (Niklas, Spatz, 2010):

$$RRB = \frac{r^2 MOE}{4\rho}, \quad (3)$$

где r — радиус основания ствола, MOE — модуль упругости, ρ — плотность древесины.

2. Сопротивление древесного ствола растения или его скелетных ветвей изгибу при действии динамических или статических нагрузок. Параметр отражает способность растений выдерживать нагрузки и определяется произведением модуля упругости (MOE , формула 1) и второго момента сечения ($I = \frac{\pi r^4}{4}$, r — радиус,) ствола (Tropical Tree Physiology, 2016).

$$\text{Сопротивление изгибу} = EI. \quad (4)$$

3. Критическая масса (m_{cr}). Параметр отражает конкретные значения массы (кг), при действии которой ствол древесного растения или его скелетные ветви начинают деформироваться или обламываться при действии ветровых или гравитационных нагрузок (Niklas, Spatz, 2010).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 MOEI}{2l^2}, \quad (5)$$

$$m_{cr} = \frac{P_{cr}}{g}, \quad (6)$$

где I — момент инерции сечения, l — длина ствола, g — ускорение силы тяжести.

Статистическая обработка данных. Для статистической обработки данных использовали программы Statistica 8 (StatSoft Inc.) и Excel 2010 (Microsoft Corporation). Достоверность отличий средних значений определяли с использованием t -критерия Стьюдента. Зависимость критической массы (m_{cr}), жесткости на изгиб (EI), а также относительного сопротивления изгибу (RRB) от коэффициента d/l и диаметра ствола для исследуемых куртин можжевельника виргинского устанавливали с использованием степенной регрессионной модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Биомеханические исследования можжевельника виргинского. Плотность древесных тканей в условиях Донецка составляет 1045 ± 68 кг м⁻³ при абсолютной влажности древесины $84.7 \pm 9.1\%$.

Модуль упругости в зависимости от температурного фактора равен 5.22 ± 0.75 ГН м⁻² ($t = -18^\circ\text{C}$), 3.87 ± 0.61 ГН м⁻² ($t = +15^\circ\text{C}$) и 3.10 ± 0.87 ГН м⁻² ($t = +35^\circ\text{C}$) в условиях Донецкого ботанического сада. Различия показателей биомеханических параметров достоверны при $p < 0.05$.

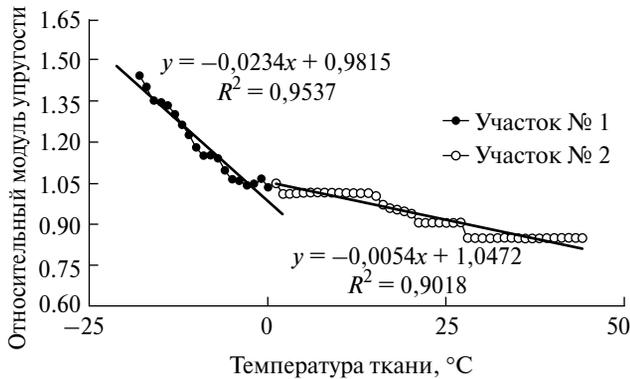


Рис. 3. Температурная зависимость модуля упругости для всех исследуемых образцов можжевельника виргинского.

Примечание. Каждое значение $MOE(T)$ нормировано к MOE_{+15} .

Влияние температуры на МОЕ древесных тканей можжевельника виргинского *in vitro* (лабораторные исследования). Зависимость MOE от температуры в общем виде для всех образцов имеет тенденцию к нелинейному падению при повышении температуры от -18°C до $+44^{\circ}\text{C}$ (рис. 3). На кривой $MOE(T)$ определяются два участка с различным углом наклона. Первый участок располагается в диапазоне от -18° до 0°C , а второй участок — от $+1^{\circ}$ до $+44^{\circ}\text{C}$. Полученные значения наклона аппроксимирующей прямой свидетельствуют о том, что на протяжении обозначенного температурного диапазона относительное значение модуля упругости в среднем с каждым градусом уменьшалось для участка № 1 на 0.023, а для участка № 2 — на 0.005. Крутизна кривой $MOE(T)$ снижается по мере падения скорости роста температуры образцов. Разница в углах наклона на двух участках связана с тем, что в нашем эксперименте температура образцов не оставалась постоянной, к тому же изменялась

и скорость ее роста. Так, она падала по мере приближения к комнатной температуре.

Наличие градиента температур между древесиной и окружающим воздухом приводит к скачкообразным изменениям модуля упругости. Соответственно, такое изменение физико-механических свойств древесины может отражаться на жесткости скелетных ветвей и на углах их отхождения от ствола, т.е. на архитектонике кроны. Изменение модуля упругости скачками при быстром нагреве, очевидно, связано с неравномерным во времени таянием льда в объеме надземных частей растения. *In situ* это должно приводить к неравномерной потере жесткости вдоль ствола или побегов, а значит, к их деформациям в одной или нескольких точках.

Влияние температуры на механическую устойчивость древесных растений можжевельника виргинского. Значение модуля упругости, а следовательно, и механическая устойчивость тесно связаны с температурой среды. Наиболее опасными являются даже не переходы из сезона с отрицательными температурами к сезону с положительными температурами, а временные резкие скачки температуры и в целом изменение климата внутри сезона.

На территории проведения эксперимента отмечались следующие природно-климатические условия, действие которых на древостой можжевельника виргинского мы объясним ниже с позиций биомеханики на основе собственных данных математического моделирования:

- после постепенного снижения температуры до отрицательных значений и перехода растений в состояние покоя наступал период длительного потепления уже в течение зимнего сезона;
- затем в течение короткого промежутка времени резко изменялись климатические условия: температура воздуха опускалась до значений -20°C и выпадали обильные осадки;

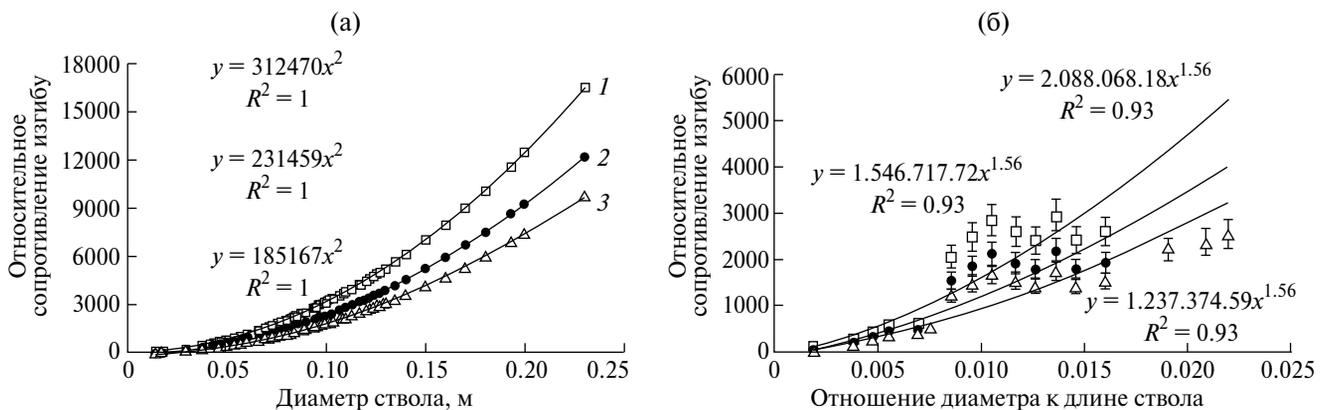


Рис. 4. Зависимость относительного сопротивления изгибу от диаметра ствола (а) и морфометрического маркера устойчивости (б) в условиях действия экологического фактора (температура окружающей среды).

Примечание. Моделирование производилось в зимний сезон при температуре -18°C (1), при ускоренном оттаивании $T = +12^{\circ}\text{C}$ (3) и в летний сезон при $T = +15^{\circ}\text{C}$ (2).

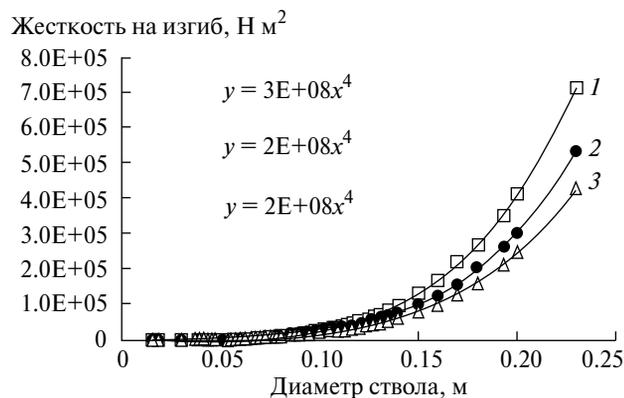


Рис. 5. Зависимость жесткости на изгиб от диаметра ствола в условиях действия экологического фактора (температура окружающей среды).

Примечание. Моделирование производилось в зимний сезон при температуре -18°C (1), при ускоренном оттаивании $T = +12^{\circ}\text{C}$ (3) и в летний сезон при $T = +15^{\circ}\text{C}$ (2).

· в течение нескольких часов падал мокрый снег, затем он перерастал в снежную бурю (snow storm) и ледяной шторм (ice storm), одновременно фиксировали порывы ветра до 15–20 м/с.

Параметр механической устойчивости — относительное сопротивление изгибу RRB (формула 3) прямо зависит от модуля упругости. Поскольку с утолщением ствола в радиальном направлении значения параметра изменяются в квадратичной зависимости (рис. 4, а), перепады температур в большей мере повлияют на устойчивость деревьев с минимальным отношением диаметра ствола к его высоте (рис. 4, б). Так, с наименьшим запасом прочности ствола выявлены растения со значением отношения d (диаметр) к l (длина) менее 0.015 (рис. 4, б). Для таких деревьев коэффициент эластичности степенной регрессии в среднем составлял 1.56. Физический смысл полученного значения состоит в том, что при увеличении отношения диаметра ствола к его высоте на 1% значение относительного сопротивления изгибу увеличится на 1.56%.

При оценке влияния экологического фактора (T , $^{\circ}\text{C}$) на древесности можжевельника виргинского необходимо отметить, что риску необратимых изгибов подвержены растения при ускоренном оттаивании в зимний период (рис. 4, уравнение регрессии № 3). Потеря прочности при этом составляет $\approx 40\%$. Это значение отражает изменение устойчивости дерева к механическим нагрузкам, но не дает точного значения критической массы жесткости ствола на изгиб или размеров растения, при которых происходит необратимое искривление или облом ствола. С этой целью можно использовать расчетные значения жесткости на изгиб (EI) и критической массы (m_{cr}) ствола древесного растения.

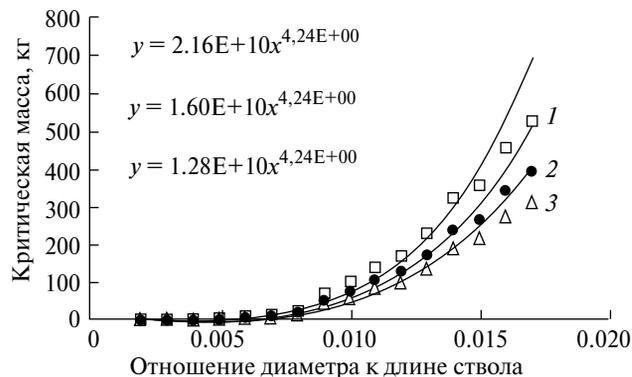


Рис. 6. Зависимость критической массы (m_{cr}) от отношения диаметра ствола (d) к его длине (l) в условиях действия экологического фактора (температура окружающей среды).

Примечание. Моделирование производилось в зимний сезон при температуре -18°C (1), при ускоренном оттаивании $T = +12^{\circ}\text{C}$ (3) и в летний сезон при $T = +15^{\circ}\text{C}$ (2).

Для можжевельника виргинского отношение жесткости на изгиб к диаметру имеет степенную зависимость ($R^2 = 0.99$). При оттаивании EI уменьшается на 38–41%. Для деревьев низшего класса жизненных состояний (классификация Г. Крафта) при $d < 0.007$ значения EI в диапазоне 20–745 $\text{H}/\text{м}^2$ являются критическими, что при сочетанном действии с природно-климатическими факторами окружающей среды может вызвать потерю механической устойчивости растения и привести к необратимой деформации стволов (рис. 5).

Критическая масса (m_{cr}), являясь параметром механической устойчивости, дает точные значения, при действии которых произойдут необратимые изменения/облом ствола (рис. 6). Для стволов деревьев можжевельника виргинского при значении d/l в диапазоне от 0.009 до 0.011 критическая масса варьирует в пределах от 70 до 141 кг при температуре окружающей среды -18°C (позиция № 1 на рис. 6), при оттаивании древесины в зимний период значения критической массы снижаются до диапазона 42–84 кг (позиция № 3 на рис. 6) при тех же значениях отношения диаметра ствола (d) к его длине (l). С увеличением отношения d/l критическая масса растет в степенной зависимости ($R^2 = 0.98$) и уже при $d/l > 0.02$ имеет значения выше 10^3 кг.

Вышеописанные расчетные зависимости механической устойчивости стволов деревьев можжевельника виргинского справедливы для нормально развитых растений с неизменной архитектоникой кроны. *In situ* в результате потери упругости скелетных ветвей (для наших наблюдений это 2017–2018 гг.) изменяется угол их прикрепления к стволу (в контрольных куртинах можжевельника виргинского при действии статических нагрузок углы отклонения стволов от вертикали составляли не более $7^{\circ} \pm 3^{\circ}$ (норма), в экспериментальных —

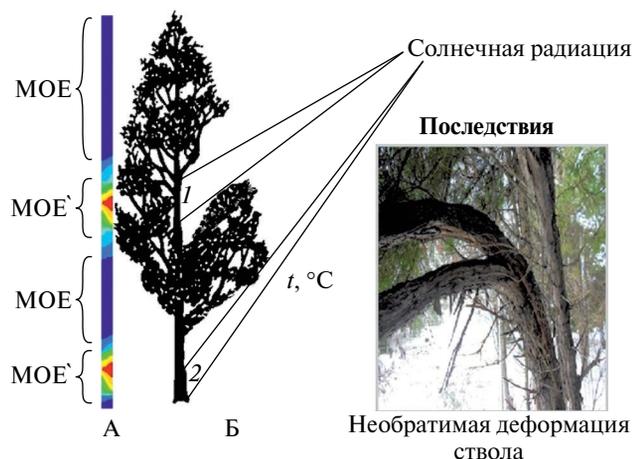


Рис. 7. Теоретическая схема, отражающая влияние локальных нагревов ствола на механическую устойчивость растения в целом.

Примечание. 1 — происходит прогрев средней части ствола; 2 — прогрев в области корневой шейки; А — внутри древостоя; Б — открытое пространство.

$42.4^\circ \pm 20.0^\circ$) и образуются внутрикронные разрывы. Происходит неравномерный прогрев ствола лучами солнца, критическое значение данного явления наиболее показательно в зимний период. В результате неоднородного прогрева ствола (рис. 7) биологическая система по физико-механическим свойствам тканей становится гетерогенной:

а) прогретая часть ствола функционирует в области упругой деформации (в тканях находится талая свободная вода и кластеры льда, модуль упругости при этом имеет максимальную скорость падения);

б) замороженная часть ствола (в основном верхняя) представляет собой биомассу (с учетом наледи

и снегового покрова), которая искусственно повышает критическую нагрузку на ствол и значительно снижает m_{cr} .

В результате проведения исследований *in situ* мы подтвердили данное теоретическое предположение и выделили несколько вариантов потери механической устойчивости в древостоях можжевельника виргинского:

1 — облом ствола происходит на высоте в среднем 1.5 ± 0.5 м (рис. 8, а). Позиция 1 на рис. 7.

2 — облом ствола или вывал растений можжевельника виргинского происходит в зоне корневой шейки (рис. 8, б). Позиция 2 на рис. 7.

Фитоактинометрические исследования. На протяжении периода исследований с 2017 по 2021 гг. в контрольных куртинах сомкнутость не изменилась и составила 1.0–0.8, при этом кроны относительно симметричны, меж- и внутрикронные разрывы в пологом встречаются редко, и, следовательно, освещенность под пологом более равномерная [19]. В среднем за весь период исследования среднее значение освещенности на затененных и освещенных участках под пологом не превышало 1013 ± 57 и 3420 ± 267 люкс соответственно.

В экспериментальных древостоях сомкнутость варьировала от 0.7–0.6 (2017 г., начало проведения исследований [19]) до изреженных древостоев (значение 0.4 состоянием на 2022 г., декабрь/январь). Кроны асимметричны и раскидисты от центра куртины наружу, что отражается на освещенности полога. В сравнении с открытым пространством, освещенность полога составляла $\approx 50\%$ (2017–2018 гг.) и до $\approx 65\%$ (2019–2021 гг.). При этом такие изменения освещенности влекли за собой изменение температуры и влажности почвы (табл. 1). Так, температура на поверхности почвы в экспериментальных куртинах была всего на 14% ниже ($32^\circ \pm 1^\circ\text{C}$),

(а)

(б)



Рис. 8. Потеря механической устойчивости стволов можжевельника виргинского (фото в дендрарии ДБС, Корниенко В.О., 2019 год).

Таблица 1. Значение температуры и влажности на разной глубине для исследуемых куртин можжевельника виргинского

Среда	Глубина забора, см	Контроль, °С	Эксперимент, °С	Открытое пространство, °С	Влажность	
					Эксп.	Контр.
Воздух	—	22 ± 1	32 ± 1**	37 ± 1	—	—
	5	20 ± 1	25 ± 1*	29 ± 1	dry ⁺	nor
	10	17 ± 1	20 ± 1*	25 ± 1	dry/nor	wet/wet ⁺
	15	15 ± 1	18 ± 1	23 ± 1	wet	wet ⁺

* — различия с контролем достоверны (P < 0.05).

** — различия с контролем достоверны (P < 0.01).

чем на открытом пространстве ($37^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$), по сравнению с 41% в контроле ($22^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$). При глубине 5–15 см это значение максимально доходило до 22% (18°C). В связи с этим влажность почв также была нарушена. В древостоях с измененной архитектоникой кроны на глубине 5 см значение влажности было dry⁺ (сильно сухая), на глубине 10 см — dry/nor (нижняя граница нормальной влажности для этого среза) и на глубине 15 см — wet (почва была влажной). Усиленное поступление солнечной радиации и изменение в связи с этим температурного режима почвы и воздушной среды экспериментальных древостоев можжевельника виргинского обуславливают достаточные экологические условия для естественного развития подлеска и неизбежной трансформации фитоценоза.

В период наблюдений 2017–2021 гг. выявили, что в древостоях экспериментальных куртин подлесок более разнообразен и состоит из подростов древесных видов и более зрелых кустарниковых, наблюдается зарастание травянистой растительностью. С каждым годом экспериментальные куртины все больше подвергаются зарастанию девичьим виноградом пятилисточковым (*Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch. (до 45% состоянием на 2021 год), который оплетает взрослые растения и создает дополнительную статическую нагрузку на стволы можжевельника.

Под пологом контрольных куртин травянистая и древесно-кустарниковая растительность очень редкая, встречается единично жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.), изредка — птелея трехлистная (*Ptelea trifoliata* L.), а также девичий виноград пятилисточковый.

Способность искусственных насаждений можжевельника виргинского противостоять натиску агрессивной травянистой и древесно-кустарниковой растительности во многом определила их устойчивость, жизненное состояние и возможность дальнейшего развития. В контрольных куртинах основным естественным методом повышения устойчивости насаждений является создание под пологом насаждений теневых условий. В экспериментальных куртинах изменение фитоклимата повлекло за собой уменьшение их устойчивости

и, как следствие, зарастание травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.

Жизнеспособность растений. По результатам проведения диагностики состояния и мониторинга жизнеспособности растений можжевельника виргинского в период 2017–2021 гг. и в начале 2022 г. гибель деревьев оценена в 16% от общего количества по сравнению с 2017 г. По шкале В.А. Алексеева соответственно свежего сухостоя (5а) было 3%, а старого (5б) — 13%, т.е. в экспериментальных насаждениях в среднем стабильно выпадает около 3% растений в год. Отмирающих деревьев, которые характеризуются разрушенной кроной с плотностью не менее 15–20% по сравнению со здоровой и имеют около 70% сухих ветвей, насчитывали 7% в выборке (4 балла). Сильно поврежденные растения (3 балла) по состоянию на 2022 г. составляли 21%. Поврежденных (ослабленных) деревьев можжевельника виргинского (2 балла) в исследованных куртинах было 56%. Это растения, у которых снижена густота кроны на 30% вследствие мертвых или усыхающих ветвей, в том числе и в верхней трети ствола растения, и наблюдается выключение из ассимиляционной деятельности $\approx 30\%$ листовой поверхности.

Прогноз — выпадение коллекции можжевельника виргинского на территории дендрария Донецкого ботанического сада в течение 10 лет без возможности самовосстановления фитоценоза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При высокой положительной температуре в летний период снижение модуля упругости приводит к медленным изгибам скелетных ветвей, что, в свою очередь, отражается на площади проекции кроны, а также на ее светопроницаемости и, как следствие, на температуре и влажности под пологом. В первую очередь она будет сказываться на механической устойчивости деревьев, которые характеризуются критическим отношением диаметра ствола к его длине (коэффициент $d/l \leq 0.009$) и наименьшим запасом прочности ствола ($RRB < 1500$, $EI < 2010$ ГН м², $m_{cr} < 50$ кг).

2. Согласно разработанной схеме механической устойчивости можжевельника виргинского,

вследствие появления разрывов и в целом изменения архитектоники кроны, происходит неравномерный прогрев ствола, который приводит к нарушению его однородности по физико-механическим свойствам тканей. Выявлены необратимые деформации и многочисленные обломы растений на высоте в среднем 1.5 ± 0.5 м и в зоне корневой шейки. В результате в изученных степных лесонасаждениях нарушается световой режим (увеличивается на 50–65%), влияющий на повышение температуры воздуха внутри древостоев (на 10°C), что ведет к нарушению влажности и температуры почвы.

3. Изменение фитолимата под пологом в сторону повышенной освещенности из-за изменения архитектоники приводит к снижению устойчивости и, как следствие, неспособности древесных растений сопротивляться натиску агрессивной травянистой и древесно-кустарниковой растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Бельгард А.Л. Степное лесоведение. М.: Лесная промышленность, 1971. 336 с.
- Иванько И.А. Экологическая роль световой структуры в формировании лесных культурбиогеоценозов в степи (средообразование, сylvатизация, устойчивость): дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Днепропетровск: Днепропетров. нац. ун-т, 2002. 239 с.
- Козловский Б.Л., Огородникова Т.К., Куропятников М.В., Федоринова О.И. Ассортимент древесных растений для зеленого строительства в Ростовской области. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2009. 416 с.
- Корниенко В.О., Калаев В.Н. Экологическое значение биомеханических свойств древесных растений на примере *Juniperus virginiana* L. // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 1. С. 97–103.
- Корниенко В.О., Калаев В.Н. Влияние природно-климатических факторов на механическую устойчивость и аварийность деревьев березы повислой в г. Донецке // Лесоведение. 2022. № 3. С. 321–334.
- Корниенко В.О., Калаев В.Н., Елизаров А.О. Влияние температуры на биомеханические свойства древесных растений в условиях закрытого и открытого грунта // Сибирский лесной журнал. 2018. № 6. С. 91–102.
- Нецветов М.В. Влияние ветра на освещенность подпологового пространства *Acer saccharinum* L. и *Acer pseudoplatanus* L. // Украинский ботанический журнал. 2012. Т. 69. № 1. С. 46–53.
- Нецветов М.В., Сулова Е.П. Механическая устойчивость деревьев и кустарников к вибрационным нагрузкам // Промышленная ботаника. 2009. Вып. 9. С. 60–67.
- Dahle G.A., Grabosky J.C. Variation in modulus of elasticity (E) along *Acer platanoides* L. (Aceraceae) branches // Urban Forestry & Urban Greening. 2010. V. 9. P. 227–233.
- Dahle G.A., James K.R., Kane B., Grabosky J.C., Detter A. A review of factors that affect the static loadbearing capacity of urban trees // Arboriculture & Urban Forestry. 2017. V. 43. № 3. P. 89–106.
- James K.R., Dahle G.A., Grabosky J., Kane B., Detter A. Tree biomechanics literature review: dynamics // Arboriculture & Urban Forestry. 2014. V. 40. № 1. P. 1–15.
- James K.R., Haritos N., Ades P.K. Mechanical stability of trees under dynamic loads // American Journal of Botany. 2006. V. 93. № 10. P. 1522–1530.
- Jelonek T., Tomczak A., Karaszewski Z., Jakubowski M., Arasimowicz-Jelonek M., Grzywiński W., Kopaczek J., Klimek K. The biomechanical formation of trees // Drewno. 2019. V. 62. № 204. P. 5–22.
- Niklas K.J., Spatz H.C. Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density // American Journal of Botany. 2010. V. 97. № 10. P. 1587–1594.
- Nock C.A., Lecigne B., Taugourdeau O., Greene D.F., Dauzat J., Delagrangé S., Messier Ch. Linking ice accretion and crown structure: towards a model of the effect of freezing rain on tree canopies // Annals of Botany. 2016. V. 117. № 7. P. 1163–1173.
- Tropical Tree Physiology. Adaptations and Responses in a Changing Environment / G. Goldstein, L.S. Santiago (Eds.). Springer, 2016. V. 6. 467 p.

Mechanical Stability of Virginian Juniper Trees in Steppe Zone of the Eastern-European Plain

V. O. Kornienko¹*, V. N. Kalaev²

¹Donetsk State University, Universitetskaya st., 24, Donetsk, 83001, Russian Federation.

²Voronezh State University, Universitetskaya sq. 1, Voronezh, 394018 Russian Federation.

*E-mail: kornienkovo@mail.ru

The paper establishes a relationship between the temperature factor, a physico-mechanical parameter — the modulus of elasticity of the Virginian juniper (*Juniperus virginiana* L.) wood tissues and its crown architectonics. Thus, with high positive temperatures in summer, a decrease in the elastic modulus leads to slow bending of the skeletal branches, which, in turn, affects the crown projection area, as well as its light permeability and, as a result, the temperature and humidity under the canopy. First of all, the

temperature will affect the mechanical stability of trees, which is characterised by a critical ratio of the trunk diameter to its length (coefficient $d/l \leq 0.009$) and the lowest range of the trunk's resilience. The article developed a scheme for the mechanical stability of the Virginian juniper — due to the appearance of gaps and, in general, changes in the architectonics of the crown, uneven heating of the trunk occurs, which leads to a disruption of its uniformity in terms of the physico-mechanical properties of tissues. Irreversible deformations and numerous trunk breakages were revealed at an average height of 1.5 ± 0.5 m and in the root collar zone. As a result, the light regime of the forest stand is disturbed, which affects the phytoclimatic and bioecological features of the forest steppe plantations. A change in the phytoclimate under the canopy towards increased illumination due to a change in architectonics leads to a decrease in stability and, as a result, the inability of woody plants to resist the pressure of aggressive herbaceous and tree-shrub vegetation.

Keywords: Virginian juniper, forest stands, temperature, mechanical stability, vitality, damage.

Acknowledgements: The study has been carried out within the framework of a youth laboratory project “Diagnostics and adaptation mechanisms of natural and anthropogenically transformed ecosystems of Donbas” (No. 1023110700153-4-1.6.19;1.6.11;1.6.12)

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.
- Bel'gard A.L., *Stepnoe lesovedenie* (Steppe forestry), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1971, 336 p.
- Dahle G.A., Grabosky J.C., Variation in modulus of elasticity (E) along *Acer platanoides* L. (Aceraceae) branches, *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, Vol. 9, pp. 227–233.
- Dahle G.A., James K.R., Kane B., Grabosky J.C., Detter A., A review of factors that affect the static loadbearing capacity of urban trees, *Arboriculture & Urban Forestry*, 2017, Vol. 43, No. 3, pp. 89–106.
- Ivan'ko I.A., *Ekologicheskaya rol' svetovoi struktury v formirovaniy lesnykh kul'turbiogeotsenozov v stepi (sredopreobrazovanie, sil'vatizatsiya, ustoichivost')*. Diss. kand. biol. nauk (The ecological role of light structure in the formation of forest cultures of biogeocenoses in the steppe (environment transformation, sylvatization, stability). Candidate's biol. sci. thesis), Dnepropetrovsk: Dnepropetrov. nats. un-t, 2002, 239 p.
- James K.R., Dahle G.A., Grabosky J., Kane B., Detter A., Tree biomechanics literature review: dynamics, *Arboriculture & Urban Forestry*, 2014, Vol. 40, No. 1, pp. 1–15.
- James K.R., Haritos N., Ades P.K., Mechanical stability of trees under dynamic loads, *American Journal of Botany*, 2006, Vol. 93, No. 10, pp. 1522–1530.
- Jelonek T., Tomczak A., Karaszewski Z., Jakubowski M., Arasimowicz-Jelonek M., Grzywiński W., Kopaczyk J., Klimek K., The biomechanical formation of trees, *Drewno*, 2019, Vol. 62, No. 204, pp. 5–22.
- Kornienko V.O., Kalaev V.N., Ekologicheskoe znachenie biomekhanicheskikh svoystv drevesnykh rastenii na primere *Juniperus virginiana* L. (The ecological significance of the biomechanical properties of woody plants on the example of *Juniperus virginiana* L.), *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2018, No. 1, pp. 97–103.
- Kornienko V.O., Kalaev V.N., Elizarov A.O., Vliyanie temperatury na biomekhanicheskie svoystva drevesnykh rastenii v usloviyakh zakrytogo i otkrytogo grunta (The influence of temperature on biomechanical properties of woody plants in the conditions of protected and open grounds), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2018, No. 6, pp. 91–102.
- Kornienko V.O., Kalaev V.N., Vliyanie prirodno-klimaticheskikh faktorov na mekhanicheskuyu ustoichivost' i avariynost' derev'ev berezy povisloi v g. Donetske (The impact of natural climatic factors on a mechanical stability and accident proneness of the silver birch trees in Donetsk city), *Lesovedenie*, 2022, No. 3, pp. 321–334.
- Kozlovskii B.L., Ogorodnikova T.K., Kuropyatnikov M.V., Fedorinova O.I., *Assortiment drevesnykh rastenii dlya zelenogo stroitel'stva v Rostovskoi oblasti* (Assortment of woody plants for green construction in the Rostov region), Rostov-na-Donu: YuFU, 2009, 416 p.
- Netsvetov M.V., Suslova E.P., Mekhanicheskaya ustoichivost' derev'ev i kustarnikov k vibratsionnym nagruzkam (Mechanical stability of trees and shrubs under vibration loads), *Promyshlennaya botanika*, 2009, No. 9, pp. 60–67.
- Netsvetov M.V., Vliyanie vetra na osveshchennost' podpologovogo prostranstva *Acer saccharinum* L. i *Acer pseudoplatanus* L. (Influence of wind on the illumination of the subsoil space of *Acer saccharinum* L. and *Acer pseudoplatanus* L.), *Ukrainskii botanicheskii zhurnal*, 2012, Vol. 69, No. 1, pp. 46–53.
- Niklas K.J., Spatz H.C., Worldwide correlations of mechanical properties and green wood density, *American Journal of Botany*, 2010, Vol. 97, No. 10, pp. 1587–1594.
- Nock C.A., Lecigne B., Taugourdeau O., Greene D.F., Dauzat J., Delagrance S., Messier Ch., Linking ice accretion and crown structure: towards a model of the effect of freezing rain on tree canopies, *Annals of Botany*, 2016, Vol. 117, No. 7, pp. 1163–1173.
- Tropical Tree Physiology. Adaptations and Responses in a Changing Environment*, Springer, 2016, Vol. 6. 467 p.

POPULATION STRUCTURE AND PHENOLOGICAL PATTERNS OF *MILICIA EXCELSA* IN MOIST EVERGREEN AFROMONTANE FORESTS OF SOUTHWESTERN ETHIOPIA

© 2024 г. М. Nigatu¹, *

¹Central Ethiopia Environment and Forest Research Centre,
P.O. Box 24536, Addis Ababa 1000, Ethiopia

*E-mail: marshetnigatu@gmail.com

Received April 24, 2023;

Revised July 17, 2023;

Accepted May 30, 2023

Knowledge of population structure and phenological patterns is basic to understanding the biological process, impact of disturbance, and forest successional trend. The main objective of this paper is to investigate the population structure and phenology of *Milicia excelsa* for seed production area. This study was conducted in Yayu and Bebeke natural forests, South West Ethiopia. Systematic sampling method was used to collect the data. Ten line transects were laid down along the gradient at each 100 m interval. Sample plots of 20 × 20 m for trees and saplings and 5 × 5 m for seedlings were laid down along transects at 50 m interval. Within the main plots, sub-plots for seedlings were laid out at the four corners and centre. A total of 60 quadrats were sampled at the Kebereta (Bebeka) and Dawe (Yayu) sites. DBH and height of trees were measured from each main plot. Data on phenology study was collected from both primary and secondary sources. The results of the distribution of the population of *M. excelsa* exhibited almost irregular pattern across the selected natural forests. The regeneration status of *M. excelsa* is 'fair' at the Bebeke site and 'none' at the Yayu site. *M. excelsa* has the highest proportion of individuals in natural forest at the Kebereta site than at the Dawe site; thus, it is more favourable to establish a seed production area there.

Keyword: flower, fruit, regeneration, seed production.

DOI: 10.31857/S0024114824010094, EDN: SLKGGT

Tropical forests are one of the richest ecosystems supporting a variety of life forms, and they have a tremendous intrinsic ability for self-maintenance. There are different indigenous timber tree species, and one of the most important one found in tropical forests is *Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg, which comes from the genus *Milicia* of the family Moraceae. It contains two species, which are closely related: *Milicia excelsa* and *Milicia regia* (A. Chev.) C.C. Berg. Both are among the most useful indigenous tropical rain forest tree species. It has great socioeconomic and cultural importance in the timber industry with a natural distribution that ranges across most parts of Sub-Saharan Africa (West, Central, and East Africa) (Bizoux *et al.*, 2009). It is commonly spread in tropical Africa (Guinea-Bissau east to Ethiopia and south to Angola, Zimbabwe and Mozambique) (Sabu *et al.*, 2018).

M. excelsa is also traded under the names *African teak*, *kambala*, *mvule*, and *iroko* and it is the most valuable commercial timber species (Ouinsavi and Sokpon, 2010). It belongs to the most valuable timber trees due to its attractive appearance, durability, stability, and good working properties. It is covering both the dry semi-deciduous forests and the rain forest zones in

Africa (Ouinsavi *et al.*, 2005). *M. excelsa* also found in the south-western part of Ethiopia in the natural range of the Moist and Wet Kolla agro-climatic zones of Gambella, Illubabor and Bench-Maji zones (Azene, 2007; field observation). Population structure is the individuals' distribution of each species arbitrarily to provide the overall regeneration profile of the area based on the tree density, frequency, and diameter at breast height, height, basal area and species importance value (Tesfaye *et al.*, 2002, Shibr, Balcha, 2004). Knowledge of phenological patterns is basic to understanding the biological processes of *M. excelsa*.

Understanding the phenological calendars of tree species in response to climate change is therefore important for predicting the amount of carbon stored in forest (Piao *et al.*, 2019), so it's very important to develop mitigation and adaptation strategies. Knowing the phenological calendar of the tree species is also essential for conservation of the ultimate remaining forests in Ethiopia. The information on the reproductive phenology of the tree species gives good indication of the impact of climate change on vegetation structure, terrestrial ecosystems, and human life (Richardson *et al.*, 2013). The arrangement of species within a

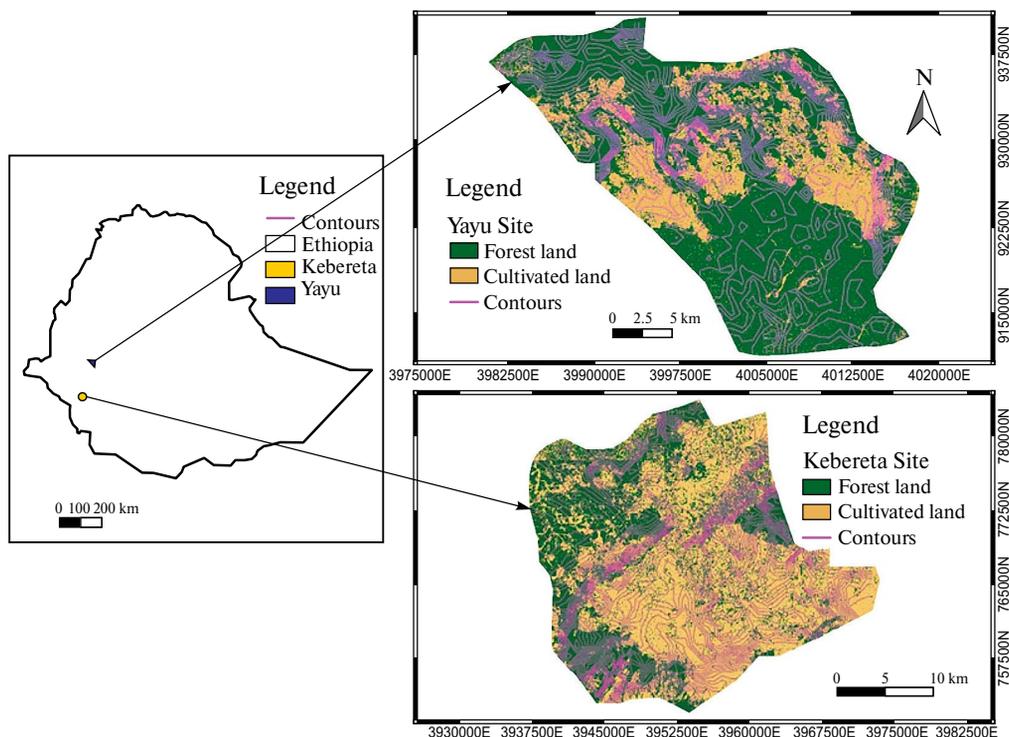


Fig. 1. Map of the study area.

community (community structure) plays a vital role in carbon assessments because it has an impact on the amount of carbon stored in the forests.

According to Ebert's (2004) findings in East Africa, populations of *M. excelsa* have two flowering and fruiting phases per year that correspond to the commencement of the two local rainfall seasons. Seasonal duration or variation of flowering and fruiting mainly determine the phenological behaviour of trees. Studying the phenology of tree species is very important to know the effects of weather and climate on plant life stages, including flowering, fruiting, leafing and defoliation. According to Agroforestry Database 4.0 (Orwa *et al.*, 2009), the date of flowering varies widely according on location, with different regions experiencing flowering at different times of the year. For example, flowering occurs on Kenya's north coast in January or February, while it occurs on the south coast from January through March. Flowering occurs in western Kenya from October to December, as well as in January and February. Individuals of *M. excelsa* flower and produce fruits during the beginning (May–June) and end (September–November) of the dry season in the Southern Democratic Republic of the Congo, where there is a single dry season that lasts 4–5 months (Couralet, 2010). Especially in Ethiopia, knowledge of the seasonal manifestation of the biological phenomenon of leafing, flowering, and fruiting can contribute effectively to the development of strategies for the use and sustainable management of this species because there is illegal logging and deforestation at the selected site. The main objective of this study is to investigate the

population structure and phenology of *M. excelsa* in the south-western part of Ethiopia.

OBJECTS AND METHODS

Study area. The study was conducted in the Bebek and Yayu natural forests in south-western Ethiopia. Bebek Forest is found in Bench Sheko Zone of Southern Nations, Nationalities and Peoples' Regional States (SNNPRS), and Yayu Forest is located in Illubabor Zone of Oromia National Regional State (Fig. 1). Geographically, Bebek Forest lies between 07°16' N and 36°15' E longitude (Mihreiu, 2004), whereas Yayu Forest is located between 8°21'–8°26' N latitude and 35°45'–36°3' E longitude (Woldegeorgis and Wube 2012). The altitudinal range of Bebek and Yayu natural forests is 1,000–1,350 m a.s.l. and 1,200–2,000 m a.s.l., respectively.

Yayu Forest has a mean annual rainfall of 1,900 mm with a minimum and maximum temperature of 7.6°C and 34.7°C (Woldemariam, 2003). As for Bebek natural forest, the mean annual rainfall is 2,200 mm and the mean annual temperature is about 25°C.

The dominant soil type in Yayu Forest is Nitosols. These types of soils are deep, reddish-brown and clayey, with relatively high organic matter content. Nitosols have a crumb and/or sub-angular structure and are well drained (Arbestain *et al.*, 2008).

Data collection. Data collection was conducted from January to February 2020. For the purpose of this study, the terms 'seedling', 'sapling', and 'tree' were defined.

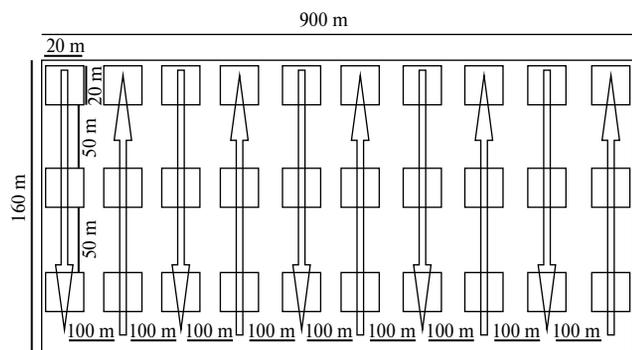


Fig. 2. Sample size of transects and quadrats.

A seedling has a diameter of <3.5 cm and a height of <50 cm; a sapling has a diameter of $3.5\text{--}10$ cm and a height of >0.5 m <2 m; and tree has diameter of >10 cm and a height of ≥ 2 m (Dhaulkhanda *et al.*, 2008, Bharali *et al.*, 2012, Gebrehiwot, Hundera, 2014). The study forests were selected by conducting reconnaissance survey based on the area where the target species were found. A systematic sampling method was used to collect the data, and ten line transects were laid down along the gradient at each 100 m interval (Morton *et al.*, 2000) non-systematic sampling in hill country can result in high coefficients of variation (CV 18–55% (Fig. 2). Sample plots were of 20×20 m for trees and saplings, and 5×5 m for seedlings. Only *M. excelsa* trees were measured on the study plots. There are many tree species found in the areas; other tree species growing on the study plots were not measured. Measuring all tree species would have provided more complete data, but focusing only on *M. excelsa* was appropriate given the aims of this particular study. The sample plots were laid down along transects at 50 m interval. Within the main plots, sub-plots for seedlings of *M. excelsa* were laid out at the four corners and centre. A total of 60 quadrats were sampled at the Kebereta (Bebeka) and Dawe (Yayu) sites. DBH and total height were measured in plots for trees with minimum size of DBH >10 cm and a height of >2 m (Dhaulkhanda *et al.*, 2008, Bharali *et al.*, 2012, Gebrehiwot, Hundera, 2014).

Kebeles (Ethiopian municipalities), which are proximate to the sampled natural forest, were purposively selected for the survey. The selection was made through discussion with experts of Woreda Environmental Protection, Forest and Climate Change Control Office (Woreda EFCC), kebele administrators of respective sites, as well as with the help of field observation by researchers. Data on phenology study was collected from both primary and secondary sources. The primary data were collected through a questionnaire survey at the household level using key informant interview and focus group discussions, while secondary data was collected from reports in government offices of Environment, Forest, and Climate Change Commission (Woreda EFCCC).

In this study, key informants (KI) mean knowledgeable farmers and experts who have deeper knowledge about

representative forests and have lived in the area for many years. The key informants were selected with the help of the kebele administrators. Five key informants from each kebele were used for selection of households (HHs). A total of 10 KIs were selected from Achibo Kebele (Yayu Woreda) and 5 from Abeyi (Bebeka). The information taken from key informants was used for the selection and triangulation of HHs surveyed data.

Household Survey. A total of 60 elders (a minimum of 30 elders from each study site) who had lived in the area for many years and knew more about the forest and tree species found in the representative forests were selected for household interview by the help of key informants. The number of HHs selected for the interview is limited to 30 from each study site, because the number of people living within the proximity of selected forests is low. The household interview was conducted to assess the indigenous knowledge of the local community on the phenology of flowers and fruit of *M. excelsa* in each natural forest. The developed questionnaires were presented to the selected households in the local language.

For focus group discussions (FGDs), individuals with a deeper knowledge about representative forests were purposefully selected from the households. Based on the objective of the research, two FGD groups of 7–8 members each were selected from each kebele that is proximate to the selected natural forest. During the focus group meeting, flowering and fruiting season (months) were mainly discussed.

Population structure. All data for *M. excelsa* were entered, organised, and summarised in Microsoft Excel spread sheets and SPSS software.

Diameter at breast height (DBH): the structural data of *M. excelsa* DBH were analysed based on nine DBH classes (i.e., <10 cm, $10.1\text{--}20$ cm, $20.1\text{--}30$ cm, $30.1\text{--}40$ cm, $40.1\text{--}50$ cm, $50.1\text{--}60$ cm, $60.1\text{--}70$ cm, $70.1\text{--}80$ cm, and >80 cm).

The basal area was calculated in $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$.

Density was calculated per hectare (Kent and Coker 1992).

Height: individual trees having a height of more than 2 m and DBH of ≥ 10 cm within sampling plots were collected and analysed with disaggregation by seven classes ($2\text{--}10$ m, $10.1\text{--}19$ m, $19.1\text{--}28$ m, $28.1\text{--}37$ m, $37.1\text{--}46$ m, $46.1\text{--}55$ m, and >55 m). Population structure was summarised using histograms of diameter size classes. ANOVA was used to test for difference in basal area, DBH, height and number of trees among different natural forest. Finally, both sampled natural forests were compared in terms of their population structure and then the best sample natural forest was recommended for seed production area establishment.

The regeneration status of *M. excelsa* in Kebereta (Bebeka) and Dawe (Yayu) forest habitats were analysed by comparing the population density of seedlings, saplings, and mature trees (Dhaulkhanda

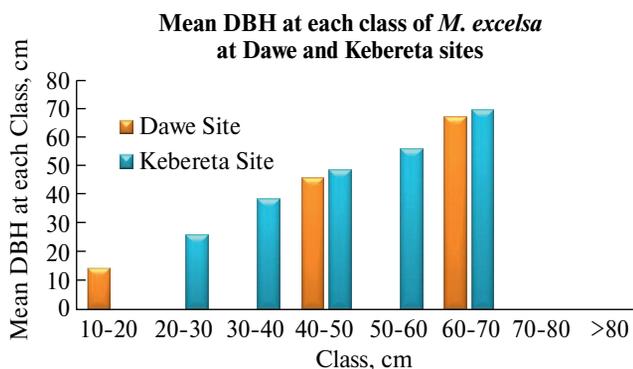


Fig. 3. Mean DBH of *M. excelsa* in the Dawe and Kebereta site natural forests.

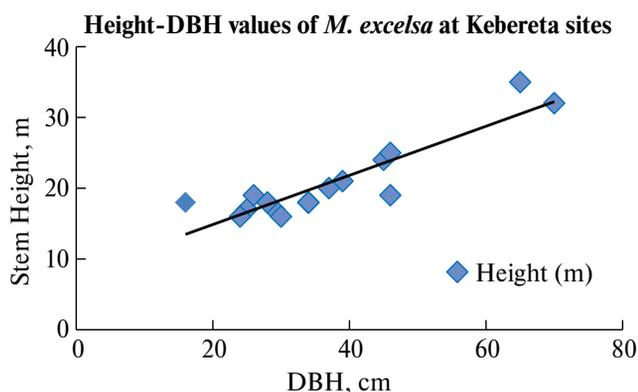


Fig. 4. Population structure of *M. excelsa* in the Dawe and Kebereta site natural forests.

et al., 2008, Gebrehiwot, Hundera, 2014) as follows: 1) ‘good’ regeneration, if population density of seedlings > saplings > mature trees; 2) ‘fair’ regeneration, if population density of seedlings > saplings < mature trees; 3) ‘poor’ regeneration, if a target species survives only in the sapling stage, but not as seedlings; 4) ‘none’, if a species is absent both in the sapling and seedling stages, but presents as a mature tree; and 5) ‘new’, if a species is presented only by the sapling and/or seedling stages but not by the mature trees. Both selected sampled natural forests were compared in terms of their regeneration status, and then the best site was recommended for seed production area establishment.

Phenology data collected from primary sources were checked, coded, encoded on a computer, and analysed using descriptive statistics.

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 20 individuals of *M. excelsa* trees were observed in 6 plots out of 30 plots in Kebereta natural forests. In the Dawe (Yayu) site natural forest, 6 trees of *M. excelsa* were observed from 4 plots out of 30 plots. The density and DBH of *M. excelsa* trees were significantly higher in the Kebereta (Bebeka) natural forest than in the Dawe (Yayu) site natural forest (Table 1). In Dawe (Yayu) site natural forest, the highest frequency of overall distribution of *M. excelsa* by diameter class was at 10.1–20 cm (Fig. 3), while in Kebereta (Bebeka) natural forest, the highest frequency of *M. excelsa* was at 30.1–40 cm (Fig. 4).

As for the DBH-class distribution, *Milicia excelsa* in the Dawe and Kebereta site natural forests were dispersed differently in almost all classes. Some DBH classes had a large number of individuals while other DBH classes had a small number of individuals; some were even missed, probably due to selective cutting by the local people for construction and firewood. The population structure in the DBH class of *Prunus africana* in Adela site natural forest showed a bell-shape distribution pattern (Fig. 3); this pattern is a type of frequency distribution in which the numbers of individuals are low in the lower and higher diameter classes and high in the middle diameter classes. The closed forest canopy limits germination of the species, thus there is a low number of individuals in the lower DBH classes. In the higher DBH classes, the low number of individuals is due to past harvesting that targets mature trees leaving few reproducing individuals, which leads to a decline in the overall density.

M. excelsa DBH-class were dispersed irregularly in the Dawe and Kebereta site natural forests (since they are distributed differently in almost all classes). Some DBH classes had a large number of individuals while other DBH classes had a small number of individuals and even some were missed (Fig. 4), probably due to selective cutting by the local people for construction and firewood.

Mean DBH, mean density, and basal area of *M. excelsa* at the two sites were found to be significantly different ($p < 0.05$). Stem/ha, mean DBH, and basal area of *M. excelsa* species at the Kebereta (Bebeka) site were greater than those at the Dawe (Yayu) site ($p < 0.05$) (Table 1).

The height distribution patterns of *M. excelsa* in the Dawe site natural forest were characterised by high individuals at the middle stage and lower ones at the lower

Table 1. Density, DBH, height, and basal area of *M. excelsa* among sampled natural forests

Natural forests	Density, ha ⁻¹ (Mean)	DBH, cm (Mean)	Height, m (Mean)	Basal area, m ² ha ⁻¹
Dawe ($n = 30$)	37.5	37.55	21.58	23.36
Kebereta ($n = 30$)	83.3	44.83	24.39	59.26
p value	0	0.04	0.046	0.033

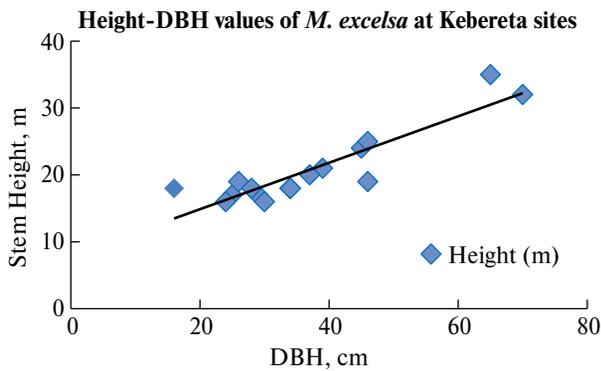


Fig. 5. The linear trend line of height-DBH values of *M. excelsa* at the Kebereta site.

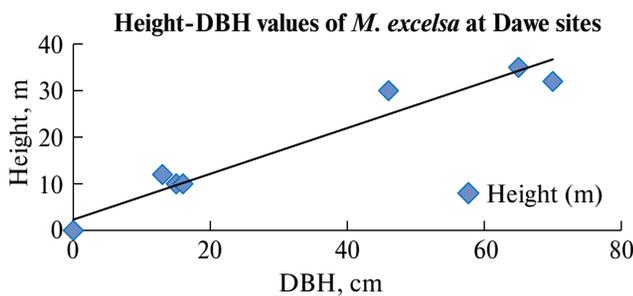


Fig. 6. The linear trend line of height-DBH values of *M. excelsa* at the Dawe site.

stage and among mature populations (Fig. 6). In Kebereta site natural forest, *M. excelsa* were also characterised by individuals higher at the middle stage than those among the young and mature populations (Fig. 5).

The density values of mature trees, saplings, and seedlings of *M. excelsa* trees were varied among all selected natural forests. The density of all age classes was higher in the Kebereta site natural forest than in the Dawe site natural forest. Seedlings and saplings were missing in Yayu sampled natural forest (Fig. 7). Thus, the present study showed that regeneration status of *M. excelsa* at the Kebereta site was at a ‘fair’ regeneration level because the density of seedlings > saplings < mature trees, while the regeneration status of *M. excelsa* in the Dawe site natural forest is ‘none’ since both the sapling and seedling stages are absent.

In the Kebereta site natural forest, the number of individuals is as follows: seedlings > saplings < tree/shrub state. This pattern shows ‘fair’-type regeneration, namely, poor reproduction and hampered regeneration (Dhaulkhandi *et al.*, 2008). The target species individuals (*M. excelsa*) in the Dawe site natural forest were absent in the seedling and sapling stages, but relatively many individuals were presented in the mature tree stage. It corresponds to the result of the study where it was concluded that it is ‘none’-type regeneration.

M. excelsa population structure has the highest proportion of individuals and a fair regeneration status

in the Kebereta site natural forest, as compared to the Dawe site natural forest. It is more favourable for seed production area establishment for *M. excelsa* than the existing sampled natural forest. In the Dawe site natural forest, however, number of individuals of *M. excelsa* is low and seedlings and saplings were missing when compared to the Kebereta site natural forest.

Flowering time is fairly short in *M. excelsa*; it takes place at a range of different times but often occurs in January and February (Fig. 8). Fruiting time of *M. excelsa* most of the time ranges from February to March (Fig. 9). Rainfall, moisture, temperature, and photoperiod are the factors that may influence the timing of flowering and fruiting (Gunter *et al.*, 2008), taking into account the data with ranges stated by the respondents. It seems that the pattern of fruiting and flowering in this study may coincide with seasonality due to fluctuations in rainfall, temperature, and moisture. Trees grow when the environmental conditions allow for this. These phenological stages are highly influenced by environmental conditions. The exact duration of flowering and fruiting could be site-specific (Anderson *et al.*, 2005).

Most respondents mentioned February as the month for flower initiation and expansion of *M. excelsa* in both selected sampled natural forest areas. Out of 60 interviewed households, 56.7% from Yayu and 50% from Bebek respectively named February, 20% and 23.3% of the interviewed HHs from Yayu and Bebek respectively confirmed January, and the remaining 23.3% of elders from Yayu and 26.7% of elders from Bebek stated December. The most popular answer in the HH questionnaires showed that the exact fruiting duration of *M. excelsa* was during February since 56.7% and 60% respondents from Yayu and Bebek respectively confirmed that the event occurred in this month. The other 20% / 23.3% and 23.3% / 16.7% from Yayu / Bebek stated January and March, respectively.

The respondents from all selected sites in southwestern Ethiopia stated almost the same duration (months) for flowering and fruiting. It seems that the pattern of fruiting and flowering in this study may

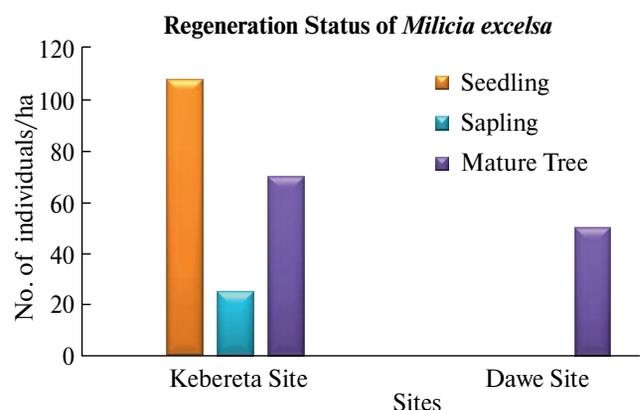


Fig. 7. Regeneration status of *M. excelsa* in the Dawe and Kebereta site natural forest.

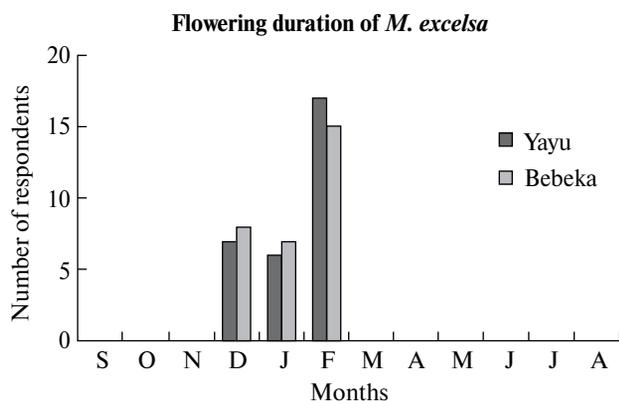


Fig. 8. Flowering duration of *M. excelsa* in the Yayu and Bebek natural forests as stated by respondents.

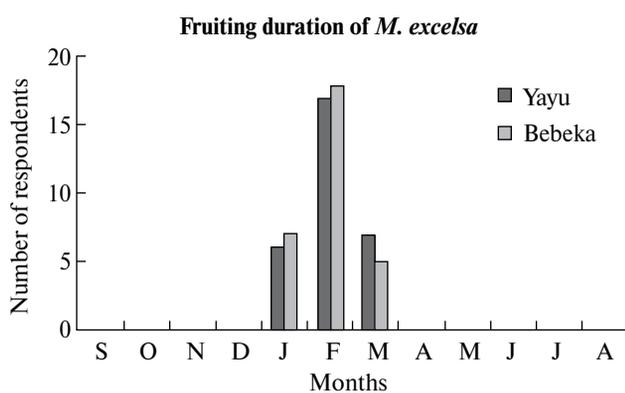


Fig. 9. Fruiting duration *M. excelsa* in the Yayu and Bebek natural forests as stated by respondents.

coincide with seasonality. Many similarities were recorded in the flowering and fruiting duration of target species among the sampled natural forests.

CONCLUSIONS

Knowledge of tree population structure and phenology is very important for understanding the conditions of recruitment, the impact of disturbance, forest successional trends, and the regeneration of the species. This study assessed the population structure and phenological duration of *M. excelsa* in different natural forests in south-western Ethiopia. The result of these findings also indicates that the population of *M. excelsa* relatively low in both sampled natural forests. Its DBH-class distribution in the Dawe and Kebereta site natural forests was irregular since they are distributed differently in almost all classes.

M. excelsa represented by 'fair'-type regeneration at the Kebereta (Bebeka) site and by 'none'-type regeneration at the Dawe (Yayu) site. 'None' regeneration pattern indicates that the tree species growth, survival, and reproduction potential are at risk in the future, therefore, it needs urgent management and in-situ conservation. Flowering time is fairly short

in *M. excelsa*, it takes place at a range of different times but often occurs in January and February. Fruiting time of *M. excelsa* most of the time ranges from February to March. There is a slight variation in phenology among sites and, in some cases, similarity across the inventoried forest sites. The results of the distribution of the population of *M. excelsa* exhibited almost irregular pattern across the selected natural forests. The regeneration status of *M. excelsa* is 'fair' in Bebek and 'none' in Yayu site. *M. excelsa* has the highest proportion of individuals at the Kebereta site compared to the Dawe site natural forest, thus the Kebereta site is favourable for seed production area establishment.

Acknowledgements. I am extremely thankful to Dr. Yigardu Mulatu, Mr. Hirko Dibaba, Dr. Debissa Lemessa, Mr. Hailu Belay, Mr. Mohammed Adefa and Mr. Getinet Seid for their unreserved guidance and professional comment on this paper. I also extend my appreciation and thanks to the United Nations Development Program (UNDP) and the Ethiopian Environment and Forest Research Institute (EEFRI) for the financial assistance, material support, and genuine cooperation during data collection.

REFERENCES

- Arbestain M.C., Macías F., Chesworth W., Chesworth W., Spaargaren O. Nitisols // Chesworth W. (Eds). Encyclopedia of Soil Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht: 2008. P. 490–491.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9_379
- Anderson D.P., Nordheim E.V., Moermond T.C., Gone Bi Z.B., Boesch C. Factors influencing tree phenology in Taï national park, Côte d'Ivoire // Biotropica: The Journal of Biology and Conservation. 2005. V. 37(4). P. 631–640 (in Pakistani).
- Azene B. Useful trees and shrubs of Ethiopia: identification, propagation and management for 17 agroclimatic zones. RELMA in ICRAF Project, Nairobi. 2007. 552 p.
- Bharali S., Paul A., Latif Khan M., Bihari Singha L. Impact of altitude on population structure and regeneration status of two rhododendron species in a temperate broad leaved forest of Arunachal Pradesh, India // International Journal of Ecosystem. 2012. V. 2(1). P. 19–27.
 DOI: 10.5923/j.ije.20120201.04
- Bizoux J.P., Daïnou K., Bourland N., Hardy O.J., Heuertz M., Mahy G., Doucet J.-L. Spatial genetic structure in *Milicia excelsa* (Moraceae) indicates extensive gene dispersal in a low-density wind-pollinated tropical tree // Molecular Ecology. 2009. V. 18(21). P. 4398–4408.
 DOI: 10.1111/j.1365-294X.2009.04365.x
- Courellet C. Community dynamics, phenology and growth of tropical trees in the rain forest Reserve of Luki, Democratic Republic of Congo. Ph.D. dissertation. University of Gent, Gent, Belgium, 2010. 173 p.
 DOI: 294X.2009.04365
- Dhaulkhanda M., Dobhal, A., Bhatt, S., Kumar M. Community structure and regeneration potential of natural forest site in Gangotri, India // Journal of Basic and Applied Sciences. 2008. V. 4(1). P. 49–52.
<https://www.researchgate.net/publication/237732681>
- Ebert T.S.J. Silvicultural potential of *Milicia excelsa*. I-TOO Working Paper no. 18. I-TOO, Freiburg, Germany. 2004.

- Gebrehiwot K., Hundera K.* Species composition, plant community structure and natural regeneration status of Belete moist evergreen montane forest, Oromia regional state, South Western Ethiopia // *Momona Ethiopian Journal of Science*. 2014. V. 6(1). P. 97–101.
DOI: 10.4314/mejs.v6i1.102417
- Günter S., Stimm B., Cabrera M., Diaz M. L., Lojan M., Ordóñez E., Richter M., Weber M.* Tree phenology in montane forests of southern Ecuador can be explained by precipitation, radiation and photoperiodic control // *Journal of Tropical Ecology*. 2008. V. 24(3). P. 247–258.
DOI: 10.1017/S0266467408005063
- Kent M., Coker P.* Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach. SRP Ltd, Exeter, 1992.
- Mihretu M.* Growth Performance of Some Indigenous and Exotic Tree Species in Southwestern Ethiopia. 2004.
- Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Anthony S.* *Averrhoa bilimbi* // *Agroforestry Database*. 2009. V. 4. P. 1–5.
- Ouinsavi C., Sokpon N.* Morphological variation and ecological structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. C. C. Berg) populations across different biogeographical zones in Benin // *International Journal of Forestry Research*. 2010. Paper 658396. 10 p.
<https://doi.org/10.1155/2010/658396>
- Ouinsavi C., Sokpon N., Bada O.* 2005. Utilization and traditional strategies of in situ conservation of iroko (*Milicia excelsa* Welw. C. C. Berg) in Benin // *Forest Ecology and Management*. 2005. V. 207(3). P. 341–350.
DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.069
- Piao S., Liu Q., Chen A., Janssens I.A., Fu Y., Dai J., Liu L., Lian X.U., Shen M., Zhu X.* 2019. Plant phenology and global climate change: current progresses and challenges // *Global Change Biology*. 2019. V. 25(6). P. 1922–1940.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14619>
- Richardson A.D., Keenan T.F., Migliavacca M., Ryu Y., Sonnentag O., Toomey M.* Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. V. 169. P. 156–173.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012>
- Sabu T., Vikraman R.R., Shameer P.S., Mohanan N.* On the occurrence of ‘African Teak’, *Milicia excelsa* (Moraceae) in India // *Rheedea*. 2018. V. 28(2). P. 114–117.
DOI: 10.22244/rheedea.2018.28.2.24
- Shibru S., Balcha G.* Composition, structure and regeneration status of woody plant species in Dindin natural forest, Southeast Ethiopia: An implication for conservation // *Ethiopian Journal of Biological Science*. 2004. V. 3(1). P. 15–55.
<https://www.researchgate.net/publication/285483400>
- Tesfaye G., Teketay D., Fetene M.* 2002. Regeneration of fourteen tree species in Harena forest, southeastern Ethiopia // *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2002. V. 197(6). P. 461–474.
<https://doi.org/10.1078/0367-2530-1210063>
- Woldemariam T.* 2003. Vegetation of the Yayu forest in Southwest Ethiopia: Impacts of human use and Implications for In situ conservation of wild *Coffea arabica* L. populations // *Ecology and Development Series*. 2003. No. 10. 171 p.
- Woldegeorgis G., Wube T.* A survey on mammals of the Yayu Forest in South west Ethiopia // *SINET: Ethiopian Journal of Science*. 2012. V. 35(2). P. 135–138.

СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ И ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ *MILICIA EXCELSA* ВО ВЛАЖНЫХ ВЕЧНОЗЕЛЕННЫХ АФРОМОНТАННЫХ ЛЕСАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЭФИОПИИ

Нигату М.^{1,*}

¹Эфиопский центр развития лесного хозяйства,
а/я 24536, Аддис-Абеба 1000, Эфиопия
*E-mail: marshetnigatu@gmail.com

Знание структуры популяций и фенологических закономерностей является основным для понимания биологических процессов, влияния нарушений и сукцессионных тенденций в лесу. Основная цель данной работы — изучить структуру популяции и фенологию *Milicia excelsa* для целей семеноводства. Исследование проводилось в природных лесах Яю и Бебека на юго-западе Эфиопии. Для сбора данных использовался метод систематической выборки. Десять линейных трансект были проложены вдоль градиента с интервалом 100 м. Вдоль трансекты с интервалом 50 м были заложены пробные площади размером 20 × 20 м для деревьев и саженцев и 5 × 5 м для саженцев. В пределах основных участков по четырем углам и в центре были заложены подпосевные участки для саженцев. Всего было отобрано 60 квадратов на участках Кеберета (Бебека) и Дау (Яю). На каждой основной делянке измеряли ДВН и высоту деревьев. Данные по изучению фенологии собирались как из первичных, так и из вторичных источников. Результаты распределения популяции *M. excelsa* по выбранным природным лесам оказались практически неравномерными. Состояние возобновления *M. excelsa* является “удовлетворительным” на участке Бебека и “никаким” на участке Яю. Доля особей *M. excelsa* в естественном лесу на участке Кеберета выше, чем на участке Дау, поэтому здесь благоприятнее организовать семеноводческий участок.

Ключевые слова: цветок, плод, регенерация, семеноводство.

ОБЗОР МЕТОДОЛОГИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

© 2024 г. Т. А. Невзорова^{а, *}

^аУральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
ул. Мира, д. 19, Екатеринбург, 620002 Россия

*E-mail: tanyanevzorova@mail.ru

Поступила в редакцию 11.05.2023 г.

После доработки 21.07.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

По разным оценкам, в России существует от нескольких сотен до тысячи инициатив по охране, посадке и воспроизведению лесов с заявленным экологическим эффектом. Россия обладает огромным потенциалом получения углеродных единиц в рамках лесоклиматических проектов. Однако данная возможность практически не используется. Одна из причин такого низкого развития заключается в отсутствии методологической базы для лесоклиматических проектов. В связи с этим целью данного исследования является анализ основных методологий, используемых для расчета, верификации и сертификации лесных проектов, направленных на сокращение выбросов парниковых газов и увеличение углеродного поглощения. В данной статье были проанализированы лесные проекты, которые получили сертификацию в рамках стандарта Verified Carbon Standard компании Verra, ведущей в мире программы добровольных углеродных рынков.

Классификация методологий осуществлялась по видам деятельности лесных проектов:

- 1) лесоразведение, лесовосстановление и облесение;
- 2) улучшенное управление лесами;
- 3) сокращение эмиссий от обезлесения и деградации лесов.

Данный анализ послужил детальному анализу методологий, используемых для расчетов лесоклиматических проектов в мире и выявления релевантных методологий, которые могут быть использованы для расчета углеродных единиц лесоклиматических проектов в России. Также были даны универсальные рекомендации к отчетности лесоклиматических проектов.

Ключевые слова: рынок углеродных единиц, лесное хозяйство, лесоклиматический проект, углеродные единицы, улучшенное управление лесами, сокращение выбросов, верифицированные углеродные единицы.

DOI: 10.31857/S0024114824010107, EDN: SLJKWW

ВВЕДЕНИЕ

Рынок углеродных единиц (carbon market) становится все более популярным механизмом в свете растущей тревоги по поводу климатического изменения. Зарегистрированные климатические проекты могут предложить компаниям и государствам возможность компенсации своих выбросов и создания прибыли от продажи единиц на выбросы, так называемых углеродных единиц (carbon credits). Глобальный спрос на углеродные единицы к 2050 году может вырасти в 25 с лишним раз, до сотен миллиардов долларов (Carbon Offset..., 2022). На данный момент спрос на углеродную компенсацию составляет 127 млн тонн CO₂-эквивалента, а предложение — 250 млн тонн. К 2050 году спрос может составить 3.4–5 млрд тонн, а предложение — 6.8 млрд тонн. С 2019 года российские компании приобрели на зарубежных рынках около 700 тысяч

углеродных единиц (Галицкий, 2022). На данный момент около 15% компаний в России, представляющих разные сектора, рассматривают возможность приобретения углеродных единиц в ближайшие годы (Климатические проекты..., 2022).

С 1 сентября 2022 года в России заработал реестр углеродных единиц, и в том же месяце был дан старт углеродному рынку: в реестре зарегистрировали первые углеродные единицы, которые ушли с торгов по 1000 рублей за штуку (Парфененкова, 2023а). Российский реестр углеродных единиц принял первые методологии климатических проектов (сайт реестра: <https://carbonreg.ru/ru/>). В первый набор вошли методологии:

1) извлечения газа из нефтяных скважин, который в ином случае отводился в атмосферу или сжигался на факельных установках, и его утилизации

для генерации тепло- и/или электроэнергии на месте;

2) сокращения сжигания на факелах (или стравливания) попутного нефтяного газа из нефтяных скважин и использования его в качестве сырья;

3) изменения запасов органического углерода в почве на пахотных землях;

4) перевода промышленных установок с угля / нефтяного топлива на газообразное топливо;

5) мер по повышению энергоэффективности и переходу на другое топливо для зданий (маломасштабные проекты);

6) перехода на энергоэффективные технологии и/или низкоуглеродные виды топлива в новых и существующих зданиях;

7) руководства по обоснованию дополнительной проектной деятельности (Реестр углеродных единиц, 2022).

Однако единой методологии для расчета углеродных единиц для лесных климатических проектов предложено не было. В России существует огромный потенциал получения углеродных единиц в рамках лесоклиматических проектов. К сожалению, данная возможность практически не используется. Хотя механизмы лесовосстановления и эффективного управления экосистемами пользуются популярностью в России, всего четыре лесоклиматических проекта было зарегистрировано (Парфененкова, 2023b). По разным оценкам, в России существует от нескольких сотен до тысячи инициатив по охране, посадке и воспроизведению лесов с заявленным экологическим эффектом (Парфененкова, 2023b). Одна из причин такого низкого развития заключается в отсутствии методологической базы лесоклиматических проектов (Климатические проекты..., 2022). Поэтому целью данного исследования является анализ основных методологий, используемых для расчетов лесоклиматических проектов в мире и выявление релевантных методологий, которые могут быть использованы для расчета углеродных единиц лесоклиматических проектов в России.

РАЗВИТИЕ РЫНКОВ УГЛЕРОДНЫХ ЕДИНИЦ В РОССИИ И МИРЕ

Механизмы выпуска углеродных единиц в мире

Рынок углеродных единиц начал развиваться с 1992 г., когда была подписана Рамочная конвенция ООН об изменении климата (Рамочная конвенция..., 1992). Данный рынок работает по принципу купли-продажи прав на выброс вредных газов: компания, сокращающая выбросы, может продать свои углеродные единицы другим компаниям, которые не могут самостоятельно сократить свои выбросы. Эксперты Всемирного банка выделяют три

основные группы механизмов выпуска углеродных единиц (Климатические проекты..., 2022):

– независимые механизмы (стандарты) — это такие механизмы, которые не привязаны к конкретным климатическим соглашениям или протоколам, а функционируют независимо от них, и их администрирование осуществляют частные и независимые организации. К ним относятся: Verified Carbon Standard (VCS), Climate Action Reserve (CAR), Gold Standard и др.;

– международные механизмы, функционирующие согласно международным соглашениям по климату, их администрированием обычно занимается международные организации. К ним относится Механизм чистого развития (Clean Development Mechanism) — система, разработанная в рамках Киотского протокола для сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу и поощрения устойчивого развития в развивающихся странах (Механизм чистого развития, 2023a). CDM регистрирует лесные проекты в развивающихся странах и позволяет компаниям и государствам заграничного происхождения получать единицы на выбросы.

– национальные механизмы (региональные, национальные и субнациональные), разработанные и применяемые на уровне отдельных стран или регионов и поэтому регулируемые законодательством соответствующей юрисдикции, их администрирование осуществляют государственные органы данных стран. К ним относятся: California Compliance Offset Program, Australia Emissions Reduction Fund и др.

Вопрос о том, какой механизм выпуска углеродных единиц лучше, не имеет однозначного ответа, так как у каждого из них свои преимущества и ограничения. Выбор механизма зависит от конкретных обстоятельств и приоритетов. Важно принять во внимание факторы, такие как международное признание, гибкость, степень контроля, адаптацию к условиям и доступность финансирования. Некоторые страны могут предпочитать комбинированный подход, вовлекая в работу различные механизмы в зависимости от специфики проектов и целей.

Развитие углеродного законодательства в России

На данный момент уже принят ряд законов и нормативных актов, которые регулируют рынок углеродных единиц в России. Вот некоторые из основных законодательных актов, которые оказывают влияние на регулирование этого рынка:

1. Федеральный закон от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ “Об ограничении выбросов парниковых газов” утверждает принципы ограничения выбросов парниковых газов и меры по их ограничению, предусматривает ведение государственного учета выбросов парниковых газов и создание соответствующего реестра, принципы обращения и зачета углеродных единиц, а также вводит обязанность “регулируемых организаций” представлять

ежегодные отчеты о выбросах парниковых газов. Закон также вводит основные понятия, такие как “поглощение парниковых газов”, “климатический проект”, “углеродная единица”, “углеродный след”, “верификация результатов реализации климатического проекта” и т.д.

2. Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2021 г. № 1587 утверждает критерии проектов устойчивого развития и требования к системе верификации данных проектов.

3. Распоряжение Правительства РФ 29 октября 2021 г. № 3052-р утверждает стратегию социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.

4. Постановление Правительства РФ от 24 марта 2022 года № 449 утверждает правила оценки достижения целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов.

5. Постановление Правительства РФ от 24 марта 2022 года № 455 утверждает правила верификации углеродных единиц.

6. Постановление Правительства РФ от 30 марта 2022 года № 518 утверждает порядок определения платы за услуги оператора реестра углеродных единиц.

7. Постановление Правительства РФ от 20 апреля 2022 года № 707 утверждает формы, правила представления и проверки отчетов о выбросах парниковых газов, а также правила создания и ведения реестра выбросов парниковых газов.

8. Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2022 года № 790 утверждает правила создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в данном реестре.

9. Постановление Правительства РФ от 20 мая 2022 г. № 905 утверждает формы типового договора на оказание оператором услуг по проведению операций в реестре углеродных единиц.

10. Приказ Минэкономразвития РФ от 11 мая 2022 г. № 248 утверждает критерии, порядок и формы отчетности об реализации климатических проектов.

Что немаловажно, Распоряжение Правительства РФ 29 октября 2021 г. № 3052-р отводит важное значение мероприятиям по управлению лесами при реализации Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. К примеру, предполагается создание новых технологий, направленных на сокращение выбросов парниковых газов и увеличение поглощающей способности лесов, а также реализация дополнительных мер по лесовосстановлению и лесоразведению, охране лесов от пожаров, защите от вредных организмов и т.д. Поэтому лесные климатические проекты могут стать одними из основных механизмов участия в рынке углеродных

единиц. В некоторых случаях цена на углеродные единицы, полученные в рамках лесных проектов, может стать выше, чем на другие виды углеродных единиц, из-за сопутствующих выгод, связанных с сохранением или восстановлением лесов, и может включать в себя устойчивость к изменению климата, увеличение биоразнообразия и положительное воздействие на местные сообщества.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа основных методологий, используемых для расчетов лесоклиматических проектов в мире, были взяты лесные проекты из базы данных компании Verra (<https://registry.verra.org/app/search/VCS>). Данная организация занимается сертификацией проектов по снижению выбросов парниковых газов и получению единиц на основе этих сокращений, т.е. верифицированных углеродных единиц (verified carbon credits) и их управлением. Компания Verra была основана в 2007 г. экологическими лидерами и бизнес-лидерами, которые увидели необходимость в большей гарантии качества на добровольных углеродных рынках (Who We Are, 2023a). В настоящее время Verra управляет ведущей в мире программой добровольных углеродных рынков — Verified Carbon Standard (VCS), а также набором других программ экологической и социальной значимости. Всего компания уже выпустила более 1153 300000 углеродных единиц и зарегистрировала более 2000 проектов.

На первом этапе были проанализированы 292 проекта в сфере “Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другое землепользование”. Так как цель данного исследования — рассмотреть только лесные проекты, все проекты, не связанные с лесным хозяйством, были исключены. Финальная база составила 247 проектов.

По видам деятельности лесные проекты классифицировались с помощью следующих механизмов:

1) лесоразведение, лесовосстановление и облесение (afforestation, reforestation and revegetation (ARR));

2) улучшенное управление лесами (improved forest management (IFM));

3) сокращение эмиссий от обезлесения и деградации лесов (reduced emissions from deforestation and forest degradation (REDD)).

Самыми активными регионами по зарегистрированным лесным проектам стали регионы Латинской Америки, Азии и Африки (рис. 1), а наиболее часто применяемыми механизмами оказались механизмы ARR и REDD (рис. 2). Детальное распределение зарегистрированных лесных проектов рассмотрено в Приложении.

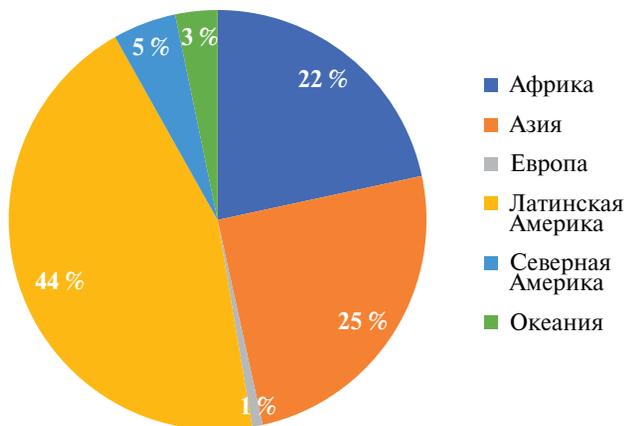


Рис. 1. Распределение зарегистрированных лесных проектов по регионам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологии для расчета проектов по лесоразведению, лесовосстановлению и облесению

Лесоразведение — это процесс создания новых лесных насаждений на землях, где ранее не было леса или лес был сильно вырублен в целях предотвращения эрозии почв и других связанных с повышением потенциала лесов целях (Лесной кодекс..., 2023, стр. 63). Лесовосстановление представляет собой деятельность, связанную с выращиванием лесных насаждений после вырубки леса или других форм антропогенного воздействия, таких как пожары, болезни или насаждения инвазивных видов растений в целях восстановления вырубленных, погибших, поврежденных лесов, а также сохранения полезных функций лесов, их биологического разнообразия (Лесной кодекс..., 2023, стр. 62). Облесение относится к процессу восстановления растительного покрова в любых типах экосистем, включая леса, луга, тундру, пустыни и др. Восстановление растительности может охватывать не только деревья, но и кустарники, травы, мхи и другие растения в зависимости от типа экосистемы. Целью данных мероприятий является улучшение биоразнообразия, борьба с эрозией почвы, сохранение почвы,

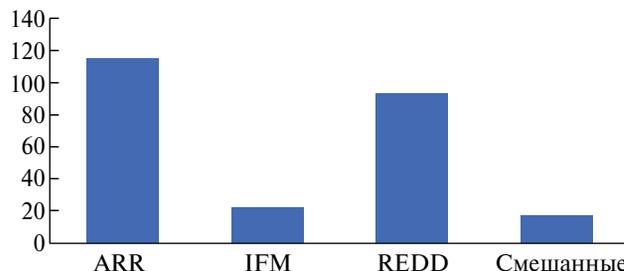


Рис. 2. Распределение зарегистрированных лесных проектов по видам деятельности.

Примечание. ARR — лесоразведение, лесовосстановление и облесение;

IFM — улучшенное управление лесами;

REDD — сокращение эмиссий от обезлесения и деградации лесов.

повышение качества воды и увеличение общей площади лесов на планете, что способствует борьбе с изменением климата и защите биоразнообразия.

Согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Киотскому протоколу и Парижскому соглашению (РКИК ООН), на данный момент активны три методологии, которые могут быть использованы для расчетов проектов по лесоразведению, лесовосстановлению и облесению: AR-ACM0003 и AR-AM0014 предназначены для крупномасштабных проектов, а AR-AMS0007 — для малых проектов (Методологии механизма..., 2023b). Данные методологии были также использованы в проектах типа ARR, зарегистрированных в реестре Verra (табл. 1).

Все три методологии (AR-ACM0003, AR-AM0014 и AR-AMS0007) используют одинаковую формулу расчета базового уровня чистой абсорбции парниковых газов поглотителями (baseline net greenhouse gas removals by sinks), которая выглядит следующим образом (AR-ACM0003: Afforestation and reforestation..., 2023d; AR-AM0014: Afforestation and reforestation..., 2023c; AR-AMS0007: Afforestation and reforestation..., 2023e):

$$\Delta C_{BSL,t} = \Delta C_{TREE_BSL,t} + \Delta C_{SHRUB_BSL,t} + \Delta C_{DW_BSL,t} + \Delta C_{LI_BSL,t}, \quad (1)$$

где

$\Delta C_{BSL,t}$ = базовый уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями в год t , т CO_2 -экв.;

$\Delta C_{TREE_BSL,t}$ = изменение запаса углерода в исходной биомассе деревьев в пределах границ проекта в году t , т CO_2 -экв.;

$\Delta C_{SHRUB_BSL,t}$ = изменение запаса углерода в исходной биомассе кустарников в пределах границ проекта в году t , т CO_2 -экв.;

$\Delta C_{DW_BSL,t}$ = изменение запаса углерода в исходной биомассе валежной древесины в пределах границ проекта в году t , т CO_2 -экв.;

$\Delta C_{LI_BSL,t}$ = изменение запаса углерода в исходной биомассе подстилки в пределах границ проекта в году t , т CO_2 -экв.

Таблица 1. Статус методологий, использованных в зарегистрированных лесных проектах типа ARR

Методология	Название	Статус	Комментарий
AR-ACM0003	Лесоразведение и лесовосстановление на землях, кроме водно-болотных угодий	активна	
AR-ACM0001	Лесоразведение и лесовосстановление на деградированных землях	не активна	заменен на AR-ACM0003
AR-AM0003	Лесоразведение и лесовосстановление деградированных земель с помощью посадки деревьев, содействия естественному восстановлению и контроля пастбищного животноводства	не активна	заменен на AR-ACM0001
AR-ACM0002	Лесоразведение или лесовосстановление на деградированных землях без перемещения предпроектных активностей	не активна	заменен на AR-ACM0003
AR-AM0002	Восстановление деградированных земель путем лесоразведения/лесовосстановления	не активна	заменен на AR-ACM0003
AR-AM0005	Лесоразведение и лесовосстановление для промышленных и/или коммерческих целей	не активна	заменен на AR-ACM0003
AR-AM0007	Лесоразведение и лесовосстановление на землях, в настоящее время используемых в сельском хозяйстве или как пастбища	не активна	заменен на AR-ACM0003
AR-AM0014	Лесоразведение и лесовосстановление деградировавших мангровых зарослей	активна	
AR-AMS0001	Упрощенные методологии базовой линии и мониторинга для мелкомасштабных проектов лесоразведения/лесовосстановления, реализуемых на пастбищах или пахотных землях с ограниченным перемещением предпроектных активностей	не активна	заменен на AR-AMS0007
AR-AMS0002	Упрощенные методологии базовой линии и мониторинга для мелкомасштабных проектов лесоразведения и лесовосстановления в рамках CDM, реализуемых в поселениях	не активна	заменен на AR-AMS0007
AR-AMS0004	Упрощенная методология базовой линии и мониторинга для мелкомасштабного агролесоводства — проектов лесоразведения и лесовосстановления в рамках механизма чистого развития	не активна	заменен на AR-AMS0007
AR-AMS0005	Упрощенная методология базовой линии и мониторинга для мелкомасштабных проектов лесоразведения и лесовосстановления в рамках механизма чистого развития, реализуемых на землях с низким природным потенциалом для поддержки живой биомассы	не активна	заменен на AR-AMS0007
AR-AMS0006	Упрощенная методология базовой линии и мониторинга для мелкомасштабного агролесоводства — проектов лесоразведения и лесовосстановления в рамках механизма чистого развития	не активна	заменен на AR-AMS0007
AR-AMS0007	Деятельность по проектам лесоразведения и лесовосстановления, реализуемым на землях, за исключением водно-болотных угодий	активна	

Расчет фактического уровня чистой абсорбции парниковых газов поглотителями (actual net greenhouse gas removals by sinks) выглядит следующим образом:

$$\Delta C_{ACTUAL,t} = \Delta C_{P,t} - GHG_{E,t}, \quad (2)$$

где

$\Delta C_{ACTUAL,t}$ = фактический уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями в году t , т CO_2 -экв.;

$\Delta C_{P,t}$ = изменение запасов углерода в проекте, происходящее в выбранных карбоновых пулах в году t , т CO_2 -экв.;

$GHG_{E,t}$ = увеличение выбросов парниковых газов, отличных от CO_2 в границах проекта как результате реализации проектной деятельности в году t , т CO_2 -экв.

Данный показатель не включает выбросы парниковых газов в результате удаления травянистой растительности, сжигания ископаемого топлива, внесения удобрений, использования древесины, разложения подстилки и тонких корней азотфиксирующих деревьев, строительства подъездных дорог в пределах границ проекта и транспорта.

Изменение запасов углерода в проекте в выбранных карбоновых пулах в году t ($\Delta C_{P,t}$) рассчитывается по формуле:

$$\Delta C_{P,t} = \Delta C_{TREE_PROJ,t} + \Delta C_{SHRUB_PROJ,t} + \Delta C_{DW_PROJ,t} + \Delta C_{LI_PROJ,t} + \Delta SOC_{AL,t}, \quad (3)$$

где

- $\Delta C_{TREE_PROJ,t}$ = изменение запаса углерода в биомассе деревьев в пределах границ проекта в году t , т CO₂-экв.;
- $\Delta C_{SHRUB_PROJ,t}$ = изменение запаса углерода в биомассе кустарников в пределах границ проекта в году t , т CO₂-экв.;
- $\Delta C_{DW_PROJ,t}$ = изменение запаса углерода в биомассе валежной древесины в пределах границ проекта в году t , т CO₂-экв.;
- $\Delta C_{LI_PROJ,t}$ = изменение запаса углерода в биомассе подстилки в пределах границ проекта в году t , т CO₂-экв.;
- $\Delta SOC_{AL,t}$ = изменение запаса органического углерода в почве в пределах границ проекта в году t , т CO₂-экв.

Расчет антропогенного уровня чистой абсорбции парниковых газов поглотителями (net anthropogenic greenhouse gas removals by sinks) выглядит следующим образом:

$$\Delta C_{AR-CDM,t} = \Delta C_{ACTUAL,t} - \Delta C_{BSL,t} - LK_t, \quad (4)$$

где

- $\Delta C_{AR-CDM,t}$ = антропогенный уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями в году t , т CO₂-экв.;
- $\Delta C_{ACTUAL,t}$ = фактический уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями в году t , т CO₂-экв.;
- $\Delta C_{BSL,t}$ = базовый уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями в году t , т CO₂-экв.;
- LK_t = выбросы парниковых газов из-за утечек в году t , т CO₂-экв.

Расчет сертифицированных временных и долгосрочных показателей сокращения выбросов за период верификации ($T = t_2 - t_1$) производится по следующим формулам:

$$tCER_{t_2} = \sum_1^{t_2} \Delta C_{AR-CDM,t}, \quad (5)$$

$$ICER_{t_2} = \sum_{t_1+1}^{t_2} \Delta C_{AR-CDM,t}, \quad (6)$$

где

- $tCER_{t_2}$ = количество единиц сертифицированных временных показателей сокращений выбросов (temporary Certified Emission Reductions), выпускаемых в год t_2 ;
- $ICER_{t_2}$ = количество единиц сертифицированных долгосрочных показателей сокращений выбросов (Certified Emission Reductions), выпускаемых в год t_2 ;
- $\Delta C_{AR-CDM,t}$ = антропогенный уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями в году t , т CO₂-экв.;
- t_1, t_2 = годы начала и окончания периода верификации.

Таблица 2. Методологии, использованные в зарегистрированных лесных проектах типа IFM (Одобрённые методологии..., 2023с)

Методология	Название	Применимость	
		Регион	Вид леса
VM0003	Улучшенное лесоправление через продление возраста севооборота	Нет ограничений	– Не включает управляемый торфяной лес
VM0005	Преобразование низкопродуктивного леса в высокопродуктивный	Тропический	– Вечнозеленые тропические леса – Без учета торфяников (или выбросы, связанные с торфяниками, незначительны)
VM0010	Улучшенное лесоправление: преобразование вырубленных лесов в охраняемые	Нет ограничений	– Не включает водно-болотные угодья или торфяники
VM0012	Улучшенное лесоправление в умеренных и бореальных лесах	Умеренный и бореальный	– Недвижимость в частной собственности – Не включает управляемый торфяной лес

Методологии для расчета проектов по улучшению управления лесами

Улучшенное управление лесами относится к реализации стратегий и методов, способствующих устойчивому использованию и сохранению лесных ресурсов. Оно предполагает ответственное управление лесами, в том числе сохранение их экологической, экономической и социальной ценности. Некоторые способы улучшения управления лесами включают ответственную заготовку деревьев для сведения к минимуму ущерба лесной экосистемы и сохранения ее биоразнообразия; регулярный мониторинг лесов на наличие признаков деградации, незаконных рубок и посягательств, а также принятие мер по предотвращению и решению этих проблем; создание охраняемых

территорий и коридоров дикой природы для сохранения биоразнообразия и т.д. Всего четыре методологии использовались для расчетов проектов по улучшению управления лесами, зарегистрированных в реестре Verra (табл. 2).

Больше всего зарегистрированных проектов использовали методологию VM0010 (База данных..., 2023d). Знание расчетов уровня выбросов парниковых газов для базового сценария, сценария проекта и утечки позволяет провести предварительную оценку уровня чистых сокращений выбросов парниковых газов в конце каждого года в течение периода кредитования проекта с момента реализации проекта. Рассчитывается она следующим образом (VM0010 Methodology for Improved..., 2023e):

$$GHG_{CREDITS, LiPF, t^*} = GHG_{NET, BSL, t^*} - GHG_{NET, PRJ, t^*} - GHG_{LK, LiPF, t^*}, \quad (10)$$

где

$GHG_{CREDITS, LiPF, t^*}$ = проектные единицы на выбросы парниковых газов, связанные с реализацией мероприятия по улучшению управления лесом в году t^* с момента начала проекта, т CO_2 -экв.;

GHG_{NET, BSL, t^*} = чистые выбросы парниковых газов в базовом сценарии в году t^* с момента начала проекта, т CO_2 -экв.;

GHG_{NET, PRJ, t^*} = чистые выбросы парниковых газов в проектном сценарии в году t^* с момента начала проекта, т CO_2 -экв.;

$GHG_{LK, LiPF, t^*}$ = суммарные выбросы парниковых газов за счет утечек, возникших за пределами границ проекта в результате реализации мероприятий по улучшению управления лесом в году t^* с начала проекта, т CO_2 -экв.

Расчетные выбросы парниковых газов и сокращения выбросов в результате мероприятий по улучшению управления лесами имеют неопределенности, связанные с параметрами и коэффициентами, включая оценки площади, накопления углерода, коэффициенты повторного роста и расширения. Они рассчитываются по формуле:

$$Credits_{total, LiPF} = GHG_{credits, LiPF} \Delta \cdot (1 - U_{total, LiPF}), \quad (11)$$

где

$Credits_{total, LiPF}$ = общие единицы на выбросы парниковых газов, скорректированные с учетом неопределенности за каждый год t в период кредитования проекта;

$GHG_{credits, LiPF}$ = чистые выбросы парниковых газов в базовом сценарии в году t^* с момента начала проекта; проектные единицы на выбросы парниковых газов, связанные с реализацией мероприятий по улучшению управления лесом в сценарии проекта, т CO_2 -экв. *год⁻¹;

$U_{total, LiPF}$ = общая неопределенность проекта, безразмерная.

Количество верифицированных углеродных единиц (Verified Carbon Units,) за каждый год t периода кредитования проекта представляет собой сокращение выбросов и удаление парниковых газов с поправкой на неопределенность и риск и рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} VCU_{net, LiPF} &= \\ &= (Credits_{total, t2, LiPF} - Credits_{total, t1, LiPF}) - \\ &\quad - Bu_{IFM} - VCS, \end{aligned} \quad (12)$$

где

$VCU_{net, LiPF}$ = количество верифицированных углеродных единиц, безразмерное;

$Credits_{total, t1, LiPF}$ = антропогенный уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями, по оценке для $t^* = t1$ в т CO_2 -экв.;

Таблица 3. Методологии, использованные в за зарегистрированных лесных проектах типа REDD (VM0017 Adoption of Sustainable..., 2023b)

Методология	Название	Применимость	
		Регион	Вид леса
VM0004	Методология предотвращения планируемого преобразования земельного использования в заболоченных торфяных лесах	Тропический Юго-Восточная Азия	– Тропические торфяно-болотные леса – Не включает населенные пункты
VM0006	Учет углерода для проектов типа REDD мозаичного и ландшафтного масштаба	Нет ограничений	Нет ограничений
VM0007	Методология REDD+ ¹	Нет ограничений	Нет ограничений
VM0009	Методология предотвращения преобразования экосистем	(Если выбран пул почвенного углерода) тропический или полузасушливый тропический	– Не включает органическую или торфяную почву – Исключая леса, предназначенные для санкционированных законом лесозаготовок.
VM0011	Методология расчета выгод в снижении выбросов парниковых газов из-за предотвращения планируемой деградации	Тропический	– Применимо к ранее вырубленным или малонарушенным тропическим лесам, где в отсутствие углеродного финансирования велись бы выборочные рубки.
VM0015	Методология предотвращения незапланированной вырубке лесов	Нет ограничений	– Без учета лесных болот, произрастающих на торфе
VM0017	*Verra деактивировала методологию 31 марта 2023 г. Никаких дальнейших пересмотров методологии не планируется (VM0017 Adoption of Sustainable..., 2023b).		

¹REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) – это инициатива, направленная на сокращение выбросов парниковых газов путем уменьшения вырубке лесов и деградации лесных угодий, а также повышение углеродного поглощения через лесовосстановление и улучшенное лесопользование.

$Credits_{total,t2,LiPF}$ = антропогенный уровень чистой абсорбции парниковых газов поглотителями, по оценке для $t^* = t2$ в т CO₂-экв.;

$Bu_{IFM-VCS}$ = общее количество единиц, удерживаемых на буферном счете верифицированных углеродных единиц (VCS).

Методологии для расчета проектов по сокращению эмиссий от обезлесения и деградации лесов

Сокращение эмиссий от обезлесения и деградации лесов (REDD) включает в себя несколько действий, в том числе оценку и мониторинг лесных покровов, разработку стратегий по сохранению и восстановлению лесов, а также управление лесными ресурсами. Методологии, которые были использованы для расчетов лесных проектов типа REDD, представлены в табл. 3. Наиболее часто применяемые методологии — это VM0007 и VM0015.

Расчет по методологии VM0015 включает базовую оценку сценария, по которому можно измерить сокращение выбросов, т.е. оценку исторических темпов обезлесения в проектной зоне и выявление движущих сил обезлесения (расширение

сельскохозяйственных угодий, лесозаготовки, добыча полезных ископаемых). Базовый сценарий должен представлять собой обычную ситуацию, предполагающую отсутствие вмешательства со стороны проекта. Вычисление предварительной (ex-ante) оценки общего чистого сокращения выбросов парниковых газов выглядит следующим образом:

$$\Delta REDD_t = (\Delta CBSLPA_t + EBBBSLPA_t) - (\Delta CPSPA_t + EBBPSLPA_t) - (\Delta CLK_t + ELK_t), \quad (13)$$

где

$\Delta REDD_t$ = предварительный (ex-ante) расчет чистого сокращения антропогенных выбросов парниковых газов, связанный с проектной деятельностью в году t , т CO₂-экв.;

$\Delta CBSLPA_t$ = сумма базовых изменений запасов углерода в рамках проекта в году t , т CO₂-экв.;

$EBBBSLPA_t$ = сумма базовых выбросов от сжигания биомассы углерода в рамках проекта в году t , т CO₂-экв.;

$\Delta CPSPA_t$ = сумма предварительных (ex-ante) фактических изменений запасов углерода в рамках проекта в году t , т CO₂-экв.;

$EBBPSLPA_t$ = сумма предварительных (ex-ante) фактических выбросов от сжигания биомассы в рамках проекта в году t , т CO_2 -экв.;

ΔCLK_t = сумма предварительных (ex-ante) изменений накопления углерода в результате утечек в году t , т CO_2 -экв.;

ELK_t = сумма предварительных (ex-ante) выбросов утечек в году t , т CO_2 -экв.;

$t = 1, 2, 3 \dots t^*$ лет, прошедших с начала проектной деятельности, безразмерный.

Количество верифицированных углеродных единиц (Verified Carbon Units, VCU), которое должно быть получено в результате предлагаемой проектной деятельности в год t , включает в себя сравнение сценария проекта с базовым сценарием и учет любых утечек (выбросы, которые перемещаются за пределы границ проекта) и рассчитывается следующим образом:

$$VCU_t = \Delta REDD_t - VBC_t, \quad (14)$$

$$VBC_t = (\Delta CBSLPA_t - \Delta CPSPA_t) \Delta \cdot RF_t, \quad (15)$$

где

VCU_t = количество верифицированных углеродных единиц (VCUs), которые можно продать в момент времени t , т CO_2 -экв.;

$\Delta REDD_t$ = предварительный (ex-ante) расчет чистого сокращения антропогенных выбросов парниковых газов, связанный с проектной деятельностью в году t , т CO_2 -экв.;

VBC_t = количество буферных единиц, депонированных в буфере VCS в момент времени t , т CO_2 -экв.;

$\Delta CBSLPA_t$ = сумма базовых изменений запасов углерода в рамках проекта в году t , т CO_2 -экв.;

$\Delta CPSPA_t$ = сумма предварительных (ex-ante) фактических изменений накопления углерода в рамках проекта в году t , т CO_2 -экв. $га^{-1}$;

RF_t = фактор риска, используемый для расчета буферных единиц VCS, %;

$t = 1, 2, 3 \dots t^*$ лет, прошедших с начала проектной деятельности, безразмерный.

Методология VM0007 была в основном использована для лесных проектов в странах Латинской Америки и Африки. Суть расчета по данной методологии заключается в следующем:

$$NER_{REDD+} = NER_{REDD} + NGR_{ARR} + NER_{WRC}, \quad (16)$$

где

NER_{REDD+} = общее чистое сокращение выбросов парниковых газов, связанное с проектной деятельностью в году t , т CO_2 -экв.;

NER_{REDD} = общее чистое сокращение эмиссий парниковых газов от обезлесения и деградации лесов, связанное с проектной деятельностью в году t , т CO_2 -экв.;

NGR_{ARR} = общее чистое сокращение выбросов парниковых газов в результате лесоразведения и лесовосстановления, связанное с проектной деятельностью в году t , т CO_2 -экв.;

NER_{WRC} = общее чистое сокращение выбросов парниковых газов в результате восстановления и сохранения водно-болотных угодий, связанное с проектной деятельностью в году t , т CO_2 -экв.

Количество верифицированных углеродных единиц (Verified Carbon Units, VCU), которое должно быть получено в результате предлагаемой проектной деятельности, рассчитывается следующим образом:

$$VCU_t = (Adjusted_NER_{REDD+,t2} - Adjusted_NER_{REDD+,t1}) - Buffer_{Total}, \quad (17)$$

где

VCU_t = количество верифицированных углеродных единиц (VCUs), которые можно продать в момент времени $t = t2 - t1$;

$Adjusted_NER_{REDD+,t2}$ = общее чистое сокращение эмиссий парниковых газов от обезлесения и деградации лесов, связанное с проектной деятельностью до года $t2$ и скорректированное с учетом неопределенности, т CO_2 -экв.;

$Adjusted_NER_{REDD+,t1}$ = общее чистое сокращение эмиссий парниковых газов от обезлесения и деградации лесов, связанное с проектной деятельностью до года $t1$ и скорректированное с учетом неопределенности, т CO_2 -экв.;

$Buffer_{Total}$ = общее удержание буфера постоянного риска, т CO_2 -экв.

Основные требования к разработке лесоклиматического проекта

Методологии расчета лесных проектов варьируются в зависимости от конкретных целей и задач проекта, а также имеющихся данных и ресурсов. Тем не менее на основании анализа отчетов, зарегистрированных в реестре Verra, можно выделить основные требования к отчетности лесоклиматических проектов, которые являются универсальными для всех видов деятельности ARR, IFM и REDD:

1. Детали проекта: краткое описание проекта, задачи проекта, отраслевой охват и тип проекта, инициатор проекта, другие организации, участвующие в проекте, дата начала проекта, период действия проекта, масштаб проекта и предполагаемое сокращение или удаление выбросов парниковых газов, описание проектной деятельности, местонахождение проекта, определение исходного базового уровня (условия до начала проекта), т.е. определение количества углерода, которое было бы выброшено, если бы проект реализовали, соответствие законам, уставам и другим нормативным актам, право собственности и участие в других аналогичных программах, а также дополнительная информация, относящаяся к проекту.

2. Применяемая методология: название и ссылка на методологию, применимость методологии, границы проекта, базовый сценарий, дополнительность² и методологические отклонения.

3. Количественная оценка сокращений выбросов и абсорбции парниковых газов: базовый уровень выбросов, выбросы по проекту, утечки и сводная информация о сокращении выбросов и абсорбции парниковых газов.

4. Мониторинг: данные и параметры, доступные при валидации, контролируемые данные и параметры для мониторинга, а также описание плана мониторинга и установление протоколов мониторинга, чтобы гарантировать, что проект достигает своих целей по поглощению углерода.

5. Воздействие на окружающую среду.

6. Дополнительные комментарии заинтересованных сторон.

В описании проекта должны быть указаны конкретные мероприятия, которые будут предприняты для предотвращения обезлесения, такие как сохранение лесов, восстановление или методы устойчивого землепользования. Проект должен продемонстрировать, что его деятельность выходит за рамки того, что произошло бы в отсутствие

проекта, и должен включать в себя оценку финансовых, правовых и технических барьеров, препятствующих реализации проектной деятельности без самого проекта. В целом методология расчета лесного проекта должна быть научно обоснованной, экономически осуществимой и социально приемлемой для всех заинтересованных сторон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесоклиматические проекты в России представляют собой перспективное направление для устойчивого развития страны, содействия борьбе с изменением климата и использования природных ресурсов эффективным образом. Россия является одной из стран с самой большой площадью лесов в мире. Ее лесные ресурсы обладают огромным потенциалом для снижения выбросов парниковых газов и увеличения поглощения углерода из атмосферы. Это, в свою очередь, может помочь России выполнить свои обязательства по сокращению выбросов парниковых газов в рамках международных климатических соглашений, а также способствовать развитию экономики на основе экологических принципов и привлечению инвестиций в лесохозяйственный сектор. Реализация лесоклиматических проектов может помочь сохранить биоразнообразие и защитить экосистему лесов, что является важным аспектом устойчивого развития.

В последние годы Россия проявляет все больший интерес к развитию рынка углеродных единиц. Правительство страны принимает меры для стимулирования устойчивого лесопользования. Например, Распоряжение Правительства РФ 29 октября 2021 г. № 3052-р отводит важное значение мероприятиям по управлению лесами при реализации Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Российский реестр углеродных единиц принял первые методологии климатических проектов. Однако единой методологии для расчета углеродных единиц для лесных климатических проектов в этом списке не было. Данное исследование способствовало анализу методологий, используемых для расчетов лесоклиматических проектов в рамках Verified Carbon Standards компании Verra, ведущей в мире программы добровольных углеродных рынков, было выявлено несколько методологий, позволяющих зарегистрировать лесные проекты и получить единицы на выбросы CO₂ и других газов, замещаемых путем лесоразвития. Выбор методологии будет зависеть от типа

² Лесоклиматический проект можно признать дополнительным, если есть возможность доказать, что деятельность в рамках проекта приводит к сокращению выбросов или увеличению абсорбции парниковых газов, превышающих уровень, который был достигнут в базовом сценарии, а также, что деятельность не была бы осуществлена без финансовых или других стимулов, обеспечиваемых генерацией углеродных кредитов (Лесоклиматический стандарт "Создание углерод-депонирующих насаждений на нелесных землях", Лесоклиматический стандарт "Организация охраны от пожаров неуправляемых лесных земель").

и масштаба проекта, а также вида леса и мероприятий, направленных на улучшение лесопользования. Одним из направлений будущих исследований представляется применение рассмотренных методологий в рамках лесоклиматических проектов в России, а также для проектов в рамках карбоновых полигонов, территорий с разнообразной экосистемой, созданных для реализации мер контроля климатических активных газов природных экосистем (официальный сайт по карбоновым полигонам в России: <https://carbon-polygons.ru/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

База данных Verified Carbon Standard [Электронный ресурс] // Verra. 2023d. URL: [Verra Search Page](https://verra.org/search) (дата обращения: 26.04.2023).

Галицкий Х. Запуск рынка углеродных единиц — один из шагов на пути к углеродной нейтральности [Электронный ресурс] // Известия. 2022.

URL: <https://iz.ru/1388343/khariton-galitskii/zapusk-rynka-uglerodnykh-edinitc-odin-iz-shagov-na-puti-k-uglerodnoi-neitralnosti> (дата обращения: 30.04.2023).

Климатические проекты: Риски и возможности для бизнеса [Электронный ресурс] // Деловые Решения и Технологии (АО ДРТ), Global Climate Initiative for Boards. 2022.

URL: climate-project_research_drt.pdf (дата обращения: 25.04.2023).

Лесной кодекс РФ [Электронный ресурс]. 2023.

URL: <https://leskod.ru/#lkrf> (дата обращения: 14.07.2023).

Лесоклиматический стандарт “Создание углерод-депонирующих насаждений на нелесных землях” [Электронный ресурс] // Салпама.

URL: <https://drive.google.com/file/d/1CtrSJLjdB7plvUu8r75qOjUtAXUp-89T/view?pli=1> (дата обращения: 14.07.2023).

Лесоклиматический стандарт “Организация охраны от пожаров неуправляемых лесных земель” [Электронный ресурс] // Салпама.

URL: https://drive.google.com/file/d/16zT0_AMmXv_feTTI2ygmzRcrC01eKvR/view (дата обращения: 14.07.2023).

Методологии механизма чистого развития [Электронный ресурс] // UNFCCC. 2023b.

URL: [CDM: Methodologies \(unfccc.int\)](https://unfccc.int/methodologies) (дата обращения: 15.03.2023).

Механизм чистого развития (Clean Development Mechanism (CDM)) [Электронный ресурс] // UNFCCC. 2023a.

URL: [CDM-Home \(unfccc.int\)](https://unfccc.int/cdm-home) (дата обращения: 15.03.2023).

Одобрённые методологии для верифицированных углеродных единиц (VCS Methodologies) [Электронный ресурс] // Verra. 2023c.

URL: [Methodologies — Verra](https://verra.org/methodologies) (дата обращения: 16.03.2023).

Парфененкова М. Миллиарды долларов из чистого воздуха [Электронный ресурс] // Ведомости. 2023а.

URL: [Миллиарды долларов из чистого воздуха — Ведомости \(vedomosti.ru\)](https://vedomosti.ru) (дата обращения: 28.04.2023).

Парфененкова М. Под угрозой авторитет международной системы углеродных кредитов VERRA [Электронный ресурс] // Ведомости. 2023б.

URL: [Под угрозой авторитет международной системы углеродных кредитов VERRA — Ведомости. Устойчивое развитие \(vedomosti.ru\)](https://vedomosti.ru) (дата обращения: 28.04.2023).

Постановление Правительства РФ от 24 марта 2022 года № 455 “Об утверждении Правил верификации результатов реализации климатических проектов” [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403655546/> (дата обращения: 14.07.2023).

Постановление Правительства РФ от 24 марта 2022 года № 449 “Об утверждении Правил оценки достижения целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов и о внесении изменения в подпункт “а” подпункта 9 пункта 5 Положения о Правительственной комиссии по экономическому развитию и интеграции” [Электронный ресурс].

URL: [Постановление Правительства Российской Федерации от 24.03.2022 № 449 Официальное опубликование правовых актов \(pravo.gov.ru\)](https://pravo.gov.ru) (дата обращения: 14.07.2023).

Постановление Правительства РФ от 30 марта 2022 года № 518 “О порядке определения платы за оказание оператором услуг по проведению операций в реестре углеродных единиц” [Электронный ресурс].

URL: <https://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203310042?index=1> (дата обращения: 14.07.2023).

Постановление Правительства РФ от 20 апреля 2022 года № 707 “Об утверждении Правил представления и проверки отчетов о выбросах парниковых газов, формы отчета о выбросах парниковых газов, Правил создания и ведения реестра выбросов парниковых газов и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации” [Электронный ресурс].

URL: <http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204210009> (дата обращения: 15.07.2023).

Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2022 года № 790

“Об утверждении Правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц” [Электронный ресурс].

URL: [Постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2022 № 790 Официальное опубликование правовых актов \(pravo.gov.ru\)](https://pravo.gov.ru) (дата обращения: 15.07.2023).

Постановление Правительства РФ от 20 мая 2022 г. № 905 “О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 28 мая 2021 г. № 815” [Электронный ресурс].

URL: <http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205240002> (дата обращения: 16.07.2023).

Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2021 г. № 1587 “Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации” [Электронный ресурс].

URL: <http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109240043> (дата обращения: 16.07.2023).

Приказ Минэкономразвития РФ от 11 мая 2022 г. № 248 “Об утверждении критериев и порядка отнесения проектов, реализуемых юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями или физическими лицами, к климатическим проектам, формы и порядка представления отчета о реализации климатического проекта” [Электронный ресурс].

URL: [http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205270034](https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205270034) (дата обращения: 11.07.2023).

Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс] // ООН. 1992. 9 мая.

URL: Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата — Конвенции и соглашения — Декларации, конвенции, соглашения и другие правовые материалы (un.org) (дата обращения: 11.03.2023).

Распоряжение Правительства РФ 29 октября 2021 г. № 3052-р. [Электронный ресурс].

URL: [http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022](https://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111010022) (дата обращения: 12.07.2023).

Реестр углеродных единиц. Методологии климатических проектов [Электронный ресурс]. 2022.

URL: Реестр углеродных единиц (carbonreg.ru) (дата обращения: 18.07.2023).

Федеральный закон от 2 июля 2021 года № 296-ФЗ “Об ограничении выбросов парниковых газов” [Электронный ресурс].

URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020031> (дата обращения: 15.07.2023).

AR-AM0014: Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats [Электронный ресурс] // UNFCCC. 2023c.

URL: CDM: Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats — Version 3.0 (unfccc.int) (дата обращения: 26.03.2023).

AR-ACM0003: Afforestation and reforestation of lands except wetlands — Version 2.0 [Электронный ресурс] // UNFCCC. 2023d.

URL: CDM: Afforestation and reforestation of lands except wetlands — Version 2.0 (unfccc.int) (дата обращения: 26.03.2023).

AR-AMS0007: Afforestation and reforestation project activities implemented on lands other than wetlands — Version 3.1 [Электронный ресурс] // UNFCCC. 2023e.

URL: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/J6ZHLX1C3AEMSZ52PWIII6D2AOJZUB> (дата обращения: 27.03.2023).

Carbon Offset Prices Could Increase Fifty-Fold by 2050 [Электронный ресурс] // BloombergNEF. 2022.

URL: Carbon Offset Prices Could Increase Fifty-Fold by 2050 | BloombergNEF (bnef.com) (дата обращения: 03.04.2023).

VM0017 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management, v1.0 [Электронный ресурс] // Verra. 2023b. URL: VM0017 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management, v1.0 — Verra (дата обращения: 30.03.2023).

VM0010 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest [Электронный ресурс] // Verra. 2023e.

URL: <https://verra.org/methodologies/vm0010-methodology-for-improved-forest-management-conversion-from-logged-to-protected-forest-v1-3/> (дата обращения: 30.03.2023).

Who We Are — Verra [Электронный ресурс] // Verra. 2023a. URL: Who We Are — Verra (дата обращения: 13.03.2023).

Methodologies of the Forest Climatic Projects Realisation: a Review

T. A. Nevzorova^{1, *}

¹*Yeltsin's Ural Federal University,
Mira st. 19, Yekaterinburg, 620002 Russian Federation
E-mail: tanyanevzorova@mail.ru

According to various estimates, there are anywhere from several hundred to a thousand initiatives for the protection, planting and reproduction of forests in Russia with a declared environmental effect. Russia has enormous potential for generating carbon units through forest climate projects. However, this opportunity is practically unused. One of the reasons for such low development is the lack of a methodological basis for forest climatic projects. In this regard, the purpose of this study is to analyse the main methodologies used for the calculation, verification and certification of forest management projects aimed at reducing greenhouse gas emissions and increasing carbon sequestration. This article examined forest management projects that have achieved certification under Verra's Verified Carbon Standard, the world's leading voluntary carbon markets program.

The methodologies classification was carried out according to the types of activities involved in the projects:

- 1) reforestation and afforestation;
- 2) forest management improvements;
- 3) reducing the emissions from deforestation and forest degradation.

This paper contributes to a detailed analysis of the methodologies used for calculating the forest climatic projects in the world and identifying the relevant methodologies that can be used to calculate the carbon units for forest climatic projects in Russia. Also presented are the universal recommendations for reporting forest climate projects.

Keywords: carbon market, forest management, forest climatic project, carbon units, forest management improvements, emissions reduction, verified carbon units.

REFERENCES

AR-ACM0003: Afforestation and reforestation of lands except wetlands — Version 2.0, UNFCCC. 2023d, available at: CDM: Afforestation and reforestation of lands except wetlands — Version 2.0 (unfccc.int) (March 26, 2023).

AR-AM0014: Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats, UNFCCC. 2023c, available at: CDM: Afforestation and reforestation of degraded mangrove habitats — Version 3.0 (unfccc.int) (March 26, 2023).

AR-AMS0007: Afforestation and reforestation project activities implemented on lands other than wetlands — Version 3.1, UNFCCC. 2023e, available at:

<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/J6ZHLX1C3AEMSZ52PWIII6D2AOJZUB> (March 26, 2023).

Baza dannykh Verified Carbon Standard (Verified Carbon Standard Database), Verra. 2023d, available at: Verra Search Page (April 26, 2023).

Carbon Offset Prices Could Increase Fifty-Fold by 2050, BloombergNEF, 2022, available at: Carbon Offset Prices Could

- Increase Fifty-Fold by 2050 | BloombergNEF (bnf.com) (April 03, 2023).
- Federal'nyi zakon (Federal Law), July 2, 2021, No. 296, available at:
<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020031> (July 15, 2023).
- Galitskii Kh, available at:
<https://iz.ru/1388343/khariton-galitskii/zapusk-rynka-uglerodnykh-edinitc-odin-iz-shagov-na-puti-k-uglerodnoi-neitralnosti> (April 30, 2023).
- Klimaticheskie proekty: Riski i vozmozhnosti dlya biznesa* (Climate projects: Risks and opportunities for business), available at: climate-project_research_drt.pdf (April 25, 2023).
- Lesnoi kodeks RF* (Forest code of Russian Federation), available at: <https://leskod.ru/#lkrf> (July 14, 2023).
- Lesoklimaticheskii standart* (Forest climate standard “Creation of carbon-storing plantations on non-forest lands”), available at: <https://drive.google.com/file/d/1CtrSJLjdB7plvUu8r75qOjUtAXUp-89T/view?pli=1> (July 14, 2023).
- Lesoklimaticheskii standart* (Forest climate standard “Organization of fire protection of unmanaged forest lands”), available at:
https://drive.google.com/file/d/16zT0_AMmXv_feTT12ygmzRcrC01eKvR_/view (July 14, 2023).
- Mekhanizm chistogo razvitiya* (Clean Development Mechanism (CDM)), UNFCCC, 2023a, available at: [CDM: CDM-Home \(unfccc.int\)](https://cdm.unfccc.int) (March 15, 2023).
- Metodologii mekhanizma chistogo razvitiya* (Clean development mechanism), UNFCCC, 2023b, available at: [CDM: Methodologies \(unfccc.int\)](https://cdm.unfccc.int) (March 15, 2023).
- Odobrennye metodologii dlya verifitsirovannykh uglerodnykh edinits* (VCS Methodologies), Verra, 2023c, available at: [Methodologies — Verra](https://www.verra.org/methodologies) (March 16, 2023).
- Parfenenkova M., available at:
<https://www.vedomosti.ru/esg/climate/articles/2023/03/20/967229-milliardi-dollarov-iz-chistogo-vozduha> (April 28, 2023).
- Parfenenkova M., available at:
<https://www.vedomosti.ru/esg/regulation/articles/2023/02/20/963711-pod-ugrozoi-avtoritet-mezhdunarodnoi-sistemi-uglerodnih-kreditov-verra> (April 28, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), March 24, 2022, No. 55, available at:
<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403655546/> (July 14, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), March 24, 2022, No. 449, available at: pravo.gov.ru (July 14, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), March 30, 2022, No. 518, available at:
<http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202203310042?index=1> (July 14, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), April 20, No. 707, available at:
<http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202204210009> (July 15, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), April 30, 2022, No. 790, available at: pravo.gov.ru (July 15, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), May 20, 2022, No. 905, available at:
<http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205240002> (July 16, 2023).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF* (Decree of the Russian Federation Government), September 21, 2021, No. 1587 available at:
<http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202109240043> (July 16, 2023).
- Prikaz Minekonomrazvitiya RF* (Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation), May 11, 2022, No. 248, available at:
<http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205270034> (July 11, 2023).
- Ramochnaya konventsiya* (Framework Convention on Climate Change), UN FCCC1992, May, 9 available at: [un.org](https://unfccc.int) (March 11, 2023).
- Rasporyazhenie Pravitel'stva RF* (Order of the Russian Federation Government), October 29, 2021, No. 3052-r, available at:
<http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/000120211010022> (July 12, 2023).
- Reestr uglerodnykh edinitc, Metodologii klimaticheskikh proektov (Accepted methodologies of climate projects), 2022, available at: carbonreg.ru (July 18, 2023).
- VM0010 Methodology for Improved Forest Management: Conversion from Logged to Protected Forest, Verra, 2023e, available at:
<https://verra.org/methodologies/vm0010-methodology-for-improved-forest-management-conversion-from-logged-to-protected-forest-v1-3/> (March 30, 2023).
- VM0017 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management, v1.0, Verra, 2023b, available at: [VM0017 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management, v1.0 — Verra](https://verra.org/methodologies/vm0017-adoption-of-sustainable-agricultural-land-management-v1-0) (March 30, 2023).
- Who We Are — Verra, Verra, 2023a, available at: [Who We Are — Verra](https://www.verra.org/who-we-are) (March 13, 2023).

Приложение

Детальное распределение зарегистрированных лесных проектов в реестре Verified Carbon Standard

Страна/регион	Вид деятельности	Тип методологии	Количество проектов
Албания	ARR	AR-ACM0003	1
Аргентина	ARR	AR-ACM0003	1
Австралия	REDD; IFM; REDD+IFM	VM0010	4
Белиз	REDD	VM0007	4
Боливия	REDD	VM0007	1
Бразилия	ARR; REDD; REDD+IFM	VM0007 VM0011 VM0015 AR-AMS0001 AR-AMS0006 AR-AMS0007 AR-ACM0003	31
Камбоджа	REDD	VM0006 VM0009 VM0015	4
Канада	IFM; ARR+IFM	VM0010 VM0012 VM0034	3
Чили	ARR; REDD	AR-ACM0001 AR-ACM0003 VM0007	3
Китай	ARR; REDD; IFM; REDD+IFM; ARR+IFM+REDD	AR-ACM0003 AR-AM0014 VM0010	43
Колумбия	ARR; REDD; REDD+IFM	AR-AM0005 AR-ACM0003 VM0007 VM0006	23
Конго	REDD	VM0006 VM0009 VM0015	3
Эфиопия	REDD	VM0015	1
Гана	ARR	AR-ACM0003 AR-AM0003	2
Гватемала	ARR; REDD	AR-ACM0001 AR-ACM0003 VM0015	6
Гвинея-Бисау	REDD	VM0007	1
Индия	ARR; REDD	AR-ACM0001 AR-AMS0005 VM0017 AR-ACM0002 AR-ACM0003 AR-AM0014	8
Индонезия	ARR; REDD ARR+WRC ARR+REDD+WRC	AR-AM0014 VM0004 VM0007	4
Кения	ARR; REDD	AR-AMS0001 AR-ACM0001 AR-AMS0007 VM0009	11
Лао	ARR; REDD	VM0015 AR-ACM0003	2
Мадагаскар	ARR; REDD	AR-ACM0003 VM0015 VM0007	4

Приложение. Окончание

Страна/регион	Вид деятельности	Тип методологии	Количество проектов
Малави	ARR; REDD	AR-ACM0002 VM0006	2
Малайзия	IFM	VM0005	1
Мали	ARR	AR-AMS0004	1
Мексика	ARR	AR-ACM0003 AR-AM0007	3
Мозамбик	ARR; REDD	AR-ACM0003 VM0007	2
Мьянма	ARR+WRC	AR-AM0014	1
Никарагуа	ARR	AR-ACM0001 AR-ACM0003	3
Нигер	ARR	AR-ACM0003	1
Пакистан	ARR+WRC	VM0033	1
Панама	ARR	AR-ACM0003	1
Папуа — Новая Гвинея	REDD IFM+REDD	VM0009 VM0007+VM0010	2
Парагвай	ARR; REDD	AR-ACM0003 VM0007	5
Перу	ARR; REDD	VM0006 VM0007 VM0010 VM0015 AR-ACM0001 AR-ACM0003 AR-AM0003 AR-AMS0001	21
Филиппины	ARR	AR-ACM0003	1
Румыния	IFM	VM0012	1
Сенегал	ARR	AR-ACM0003 AR-AM0014	2
Сьерра-Леоне	ARR; REDD	AR-AM0003 VM0007	2
ЮАР	ARR	AR-AMS0007 AR-AMS0002 AR-ACM0003 AR-AM0002	4
Танзания	ARR; REDD	VM0007 AR-AM0005 VM0015	4
Уганда	ARR	AR-AMS0007 AR-ACM0001 AR-AMS0001	9
США	IFM; ARR ARR+IFM+REDD	AR-ACM0001 VM0012 VM0003	8
Уругвай	ARR; REDD	AR-ACM0001 AR-ACM0003	8
Замбия	REDD	VM0009 VM0015+VM0017	3
Зимбабве	ARR+REDD	VM0009	1

Примечание.

ARR — лесоразведение, лесовосстановление и облесение;

IFM — улучшенное управление лесами;

REDD — сокращение эмиссий от обезлесения и деградации лесов;

WRC — восстановление и сохранение водно-болотных угодий.

REDD+ (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) — это инициатива, направленная на сокращение выбросов парниковых газов путем уменьшения вырубки лесов и деградации лесных угодий, а также повышение углеродного поглощения через лесовосстановление и улучшенное лесопользование.

УДК 630*443.3

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ ДУБОВОГО И ЛОЖНОГО ДУБОВОГО ТРУТОВИКОВ В ПОРОСЛЕВЫХ ДУБОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. Б. П. Чураков^{а, *}, Р. А. Чураков^а

^аУльяновский государственный университет, ул. Л. Толстого, д. 42, Ульяновск, 432017 Россия

*E-mail: churakovbp@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.11.2021 г.

После доработки 28.06.2023 г.

Принята к публикации 10.10.2023 г.

Целью данной работы является изучение встречаемости ложного дубового (*Phellinus robustus* (Karst.) Bourd. et Galz.) (ЛДТ) и дубового (*Inonotus dryophilus* (Berk.) Murr.) (ДТ) трутовиков в порослевых дубовых древостоях с различными таксационными показателями. Актуальность данной темы заключается в том, что площадь дубовых лесов на всем протяжении ареала дуба катастрофически сокращается вследствие деградации и распада порослевых древостоев, одной из причин которых является зараженность дуба стволовыми гнилями. Исследования проводились на площади 194,9 га спелых и перестойных порослевых древостоев в Славкинском участковом лесничестве Николаевского района Ульяновской области. Встречаемость трутовиков определялась путем закладки 6 безразмерных пробных площадей (ПП) по 100 деревьев в каждом исследуемом выделе. На пробах проводился учет деревьев с плодовыми телами трутовиков.

Наиболее высокая встречаемость ложного дубового трутовика выявлена в злаково-мелкотравном дубняке (ЗМТР) — 14%, несколько ниже в снытьево-ясенниковом типе (СНЯС) — 13% и мелкотравном (МТР) — 12%. Встречаемость дубового трутовика значительно ниже по сравнению с ложным дубовым трутовиком и характеризуется следующими показателями в МТР и ЗМТР — 7% и СНЯС — 6%. В среднем по всем обследованным типам леса встречаемость ложного дубового трутовика составила 13%, дубового трутовика 7%.

Во всех обследованных типах леса наибольшая встречаемость ложного дубового трутовика наблюдается в чистых дубовых древостоях (10ДН). В типе леса МТР по мере уменьшения доли участия дуба в составе древостоя снижается встречаемость ложного дубового трутовика. В остальных типах леса определенной зависимости встречаемости ложного дубового трутовика, а дубового трутовика во всех типах леса от доли участия дуба в составе древостоя не выявлено. Наибольшая встречаемость трутовиков наблюдается в основном в древостоях старшего возраста. По мере увеличения полноты повышается встречаемость обоих трутовиков во всех типах дубняков.

Ключевые слова: состав древостоя, полнота, возраст, бонитет, встречаемость трутовиков, дубовые древостои.

DOI: 10.31857/S0024114824010113, EDN: SLADUA

Средой обитания для дереворазрушающих грибов является древесина живых и отмерших деревьев. Для успешного развития этих грибов в древесине должны быть подходящие условия влажности, температуры и т.д. На поддержание таких условий в древесине питающих деревьев существенное влияние оказывают лесорастительные свойства местообитаний, которые формируют лесотаксационные характеристики лесных насаждений. Поэтому очень актуальным становится вопрос о влиянии основных таксационных показателей на жизнеспособность и устойчивость древостоев к неблагоприятным факторам окружающей среды, в т.ч. к дереворазрушающим грибам (Сарек, 1981; Звягинцев, 2003; Жидких, 2004; Oszako, 2004; Гниненко, 2005;

Тузov, 2005; Селочник, 2008, 2015; Богомолова, 2015; Дунаев, 2017; Стороженко, 2018).

По данным исследований Н.Н. Селочник (1999), В.В. Царалунга и др. (2005), С.В. Кулагиной (2006), М.А. Сафонова (2006), Н.А. Харченко и др. (2010) и др., одной из причин деградации и распада дубрав является распространение в них стволовых гнилей. Н.Н. Селочник отмечает, что на депрессивное состояние дубрав сильное влияние оказывает снижение бонитета и морфометрических показателей дуба в результате антропогенных нагрузок. На остепнение дубрав в экстремальных условиях Нижегородской области в результате снижения полноты древостоя указывают А.К. Ибрагимов и др. (1998). М.Г. Романовский (2002) среди

первопричин усыхания дубрав отмечает влияние ведения хозяйства на выращивание чистых дубовых насаждений, что, в свою очередь, помимо прочего, приводит к концентрации вредителей и болезней.

О влиянии типов леса на усыхание дуба в Хоперском заповеднике сообщает А.В. Жидких (2004). По данным В.Д. Выводцева (2005), усыхание дуба в Курской области было выражено слабее в смешанных по составу и сложных по форме насаждениях не только из-за меньшей доли его участия в составе насаждения, но и в связи со значительно более жизнеспособным и устойчивым общим состоянием смешанных насаждений. А. Ragazzi et al. (1998), Т. Oszako (2004), F.M. Thomas et al. (2006) сообщают о влиянии абиотических и биотических

факторов на деградацию дубрав в Европе. В.Б. Звягинцев (2003) указывает на влияние таксационных показателей насаждений на вредоносность и распространенность грибов комплекса *Armillaria* в лесах Беларуси. О влиянии типов леса и возраста на распространенность гнилевых болезней древесных пород Западной Сибири сообщают В.А. Мухин (1993), С.П. Арефьев (2018).

Влияние структурного строения микоценоза на устойчивость растительного сообщества отмечают В.Г. Стороженко (2018), Р. А. Seifert et al. (2013). На существенную роль таксационных характеристик насаждений в патологической деградации лесных экосистем указывают М. Petrescu (1974), М. Сапек (1981), С. Delatour (1983), А. Alexe (1986), Н.Н. Селочник (1999, 2008), Н.Н. Харченко и др.

Таблица 1. Таксационная характеристика порослевых дубовых насаждений

№ кв.	№ выд.	Площ., га	Состав	Возраст	Н _{ср.}	Д _{ср.}	Бонитет	Тип леса	Полнота	Запас, м ³
5	8	13.1	10ДН	80	15	24	4	МТР	0.4	820
2	31	5.4	10ДН	80	15	28	4	МТР	0.5	440
3	20	4.5	10ДН	85	17	24	4	МТР	0.6	380
Итого		23.0								1640
5	28	7.7	9ДН 1Кл	90 40	16 12	24 18	4	МТР	0.4	560 60
77	13	27.0	9ДН 1Ос	80 70	16 19	20 20	4	МТР	0.5	1430 270
8	1	18.3	9ДН 1С	85 80	18 21	28 24	4	МТР	0.6	1140 240
Итого		53.0								3700
34	5	6.3	8ДН 2Б	85 80	18 20	24 24	4	МТР	0.4	210 60
53	12	7.2	8ДН 2С	80 70	18 20	22 24	4	МТР	0.5	290 80
71	53	6.5	8ДН 2Ос	70 60	18 18	20 20	4	МТР	0.6	260 60
Итого		20.0								960
ΣМТР		96.0								6300
92	24	3.2	10ДН	85	16	18	4	ЗМТР	0.4	260
93	9	6.1	10ДН	85	18	22	4	ЗМТР	0.5	270
89	11	5.1	10ДН	80	18	20	4	ЗМТР	0.6	290
Итого		14.4								820
93	19	5.1	9ДН 1Б	85 70	16 19	20 22	4	ЗМТР	0.4	200 30
93	11	5.7	9ДН 1Б	85 70	16 19	20 22	4	ЗМТР	0.5	280 40
90	9	6.2	9ДН 1Б	80 70	17 19	20 22	4	ЗМТР	0.6	370 60
Итого		17.0								980

Таблица 1. Окончание

№ кв.	№ выд.	Площ., га	Состав	Возраст	Н _{ср.}	D _{ср.}	Бонитет	Тип леса	Полнота	Запас, м ³	
93	1	3.1	8ДН 2Ос	85 70	18 21	22 24	4	ЗМТР	0.4	290	
93	11	6.4	8ДН 1Б 1Ос	85 70 70	18 20 20	22 24 24	4	ЗМТР	0.5	560 70 70	
92	15	9.8	8ДН 1Б 1Ос	85 70 70	19 21 21	22 22 22	4	ЗМТР	0.6	1170 150 150	
Итого		19.3									2570
ΣЗМТР		50.7									4370
32	24	6.1	10ДН	80	18	20	4	СНЯС	0.4	310	
48	16	10.7	10ДН	85	20	24	4	СНЯС	0.5	610	
61	21	8.6	10ДН	80	20	24	4	СНЯС	0.6	460	
Итого		25.4									1380
36	23	2.6	9ДН 1Б	75 75	18 21	20 22	4	СНЯС	0.4	290 30	
38	16	5.0	9ДН 1Б	75 75	18 21	20 22	4	СНЯС	0.5	670 80	
36	26	3.6	9ДН 1Б	75 75	18 21	20 22	4	СНЯС	0.6	490 50	
		11.2									1610
47	11	3.8	8ДН 2Б	75 70	19 20	20 24	4	СНЯС	0.4	190 50	
12	9	5.1	8ДН 1Б 1Кл	80 70 70	19 20 29	22 24 24	4	СНЯС	0.5	220 30 30	
92	7	2.7	8ДН 1Б 1Ос	85 70 70	17 20 20	20 22 22	4	СНЯС	0.6	280 40 30	
Итого		11.6									870
ΣСНЯС		48.2									3860
Всего		194.9									14530

(2010). В.Г. Стороженко (2007), Н.Н. Селочник (2015) отмечают влияние на устойчивость насаждений таких таксационных показателей, как их возраст, породный состав, полнота, а также структура микоценоза и др.

Целью данной работы является изучение встречаемости ложного дубового и дубового трутовиков в порослевых дубовых древостоях с различными таксационными показателями.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования влияния некоторых таксационных показателей порослевых дубовых древостоев

(тип леса, породный состав и полнота) на встречаемость дубового и ложного дубового трутовиков проводились в трех типах леса (мелкотравном — МТР, злаково-мелкотравном — ЗМТР, снытьево-ясенниковом — СНЯС) спелых и перестойных порослевых насаждений Славкинского участкового лесничества Николаевского района Ульяновской области. В табл. 1 приводится таксационная характеристика обследованных насаждений.

Из табл. 1 видно, что изучаемые насаждения характеризуются различными типами леса, породным составом, возрастом и полнотой. Изучение встречаемости трутовиков проводилось на площади 194.9 га в трех типах дубняков: мелкотравном, злаково-мелкотравном и снытьево-ясенниковом.

Таблица 2. Встречаемость плодовых тел дубового и ложного дубового трутовиков в различных типах леса

№ кв.	№ выд.	Состав	Полнота	Встречаемость грибов, %	
				ЛДТ	ДТ
Мелкотравный тип леса (МТР)					
5	8	10ДН	0.4	10 + 1.2	6 + 0.8
2	31	10ДН	0.5	17 + 1.2	8 + 0.7
3	20	10ДН	0.6	18 + 1.1	9 + 0.8
Среднее		10ДН	0.5	15	8
5	28	9ДН1Кл	0.4	9 + 1.4	4 + 0.9
77	13	9ДН1Ос	0.5	11 + 1.2	7 + 1.1
8	1	9ДН1С	0.6	16 + 1.3	9 + 1.0
Среднее		9ДН	0.5	12	7
34	5	8ДН2Б	0.4	8 + 0.9	4 + 1.0
53	12	8ДН2С	0.5	11 + 1.1	5 + 0.9
71	53	8ДН2Ос	0.6	12 + 1.2	9 + 1.1
Среднее		8ДН	0.5	10	6
Среднее по МТР		9ДН	0.5	12	7
Злаково-мелкотравный (ЗМТР)					
92	24	10ДН	0.4	12 + 1.2	6 + 1.1
93	9	10ДН	0.5	14 + 1.1	7 + 0.7
89	11	10ДН	0.6	19 + 1.2	9 + 0.9
Среднее		10ДН	0.5	15	6
78	2	9ДН1Ос	0.4	15 + 1.2	5 + 0.8
90	26	9ДН1Б	0.5	11 + 0.7	7 + 0.9
93	19	9ДН1Б	0.6	12 + 1,1	8 + 0.8
Среднее		9ДН	0.5	13	7
93	1	8Дн2Ос	0.4	10 + 1.1	8 + 1.1
93	11	8ДН1Б1Ос	0.5	14 + 1.3	6 + 1.2
92	15	8ДН1Б1Ос	0.6	14 + 1.2	6 + 0.7
Среднее		8ДН	0.5	13	7
Среднее по ЗМТР		9ДН	0.5	14	7
Снытьево-ясенниковый тип леса (СНЯС)					
32	24	10ДН	0.4	11 + 0.7	4 + 0.6
48	16	10ДН	0.5	15 + 0.9	5 + 0.7
61	21	10ДН	0.6	17 + 1.1	5 + 0.9
Среднее		10ДН	0.5	14	5
93	19	9ДН1Б	0.4	10 + 1.5	7 + 1.2
93	11	9ДН1Б	0.5	12 + 1.4	6 + 1.0
90	9	9ДН1Б	0.6	15 + 1.1	7 + 1.1
Среднее		9ДН	0.5	12	7
47	11	8ДН2Б	0.4	11 + 1.2	5 + 0.8
12	9	8ДН2Б	0.5	13 + 1.0	6 + 1.1
92	7	8ДН1Б1Ос	0.6	15 + 1.2	7 + 1.1
Среднее		8ДН	0.5	13	6
Среднее по СНЯС		9ДН	0.5	13	6
Среднее по всем типам леса		9ДН	0.5	13	7

Таблица 3. Зависимость встречаемости от полноты (для двух видов трутовиков)

Источник вариации	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P</i> Значение	<i>F</i> критическое
Строки	55.62963	8	6.953704	1.8775	0.134949	2.591096
Столбцы	98.07407	2	49.03704	13.24	0.000405	3.633723
Погрешность	59.25926	16	3.703704			
Итого	212.963	26				

В каждом таксационном выделе закладывалось по 6 безразмерных ПП по 100 деревьев в каждой. На каждой ПП проводился учет деревьев с плодовыми телами трутовиков.

Результаты учета обрабатывались с использованием компьютерной программы Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено изучение встречаемости двух трутовиков в древостоях дуба в разнополнотных типах леса с различной долей участия дуба в составе древостоя. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 показывают, что наиболее высокая встречаемость ложного дубового трутовика отмечена в типе леса ЗМТР — 14%, несколько ниже в типе леса СНЯС — 13% и МРТ — 12%. Встречаемость дубового трутовика значительно ниже по сравнению с ложным дубовым трутовиком и характеризуется следующими показателями в МТР и ЗМТР — 7% и СНЯС — 6%. В среднем по всем обследованным типам леса встречаемость ложного дубового трутовика составила 13%, дубового трутовика — 7%.

В типе леса МТР наблюдается постепенное снижение встречаемости обоих трутовиков по мере снижения участия дуба в составе древостоя. В остальных типах дубрав такой зависимости не выявлено. Наибольшая встречаемость трутовиков наблюдается в основном в древостоях старшего возраста.

Во всех типах леса по мере увеличения полноты насаждений встречаемость обоих трутовиков повышается. Это подтверждается результатами двухфакторного дисперсионного анализа: $F_{кр.} > P$ (табл. 3).

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что таксационные показатели (тип леса, состав древостоя и полнота) оказывают неоднозначное влияние на встречаемость дубового и ложного дубового трутовиков.

2. Средняя по всем типам леса встречаемость трутовиков составила: ЛДТ — 13%, ДТ — 7%.

3. Достоверной зависимости встречаемости трутовиков от типа леса и доли участия дуба в составе древостоя не обнаружено.

4. В обследованных древостоях наблюдается увеличение встречаемости обоих трутовиков по мере повышения полноты насаждений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арефьев С.П.* Гнилевые болезни древесных пород Западной Сибири // Грибные сообщества лесных экосистем. Т. 5. Москва-Петрозаводск, 2018. С. 6–15.
- Богомолова О.И.* Древоразрушающие грибы дубрав Оренбургского Предуралья: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01. Оренбург, 2015. 20 с.
- Выводцев В.Д.* Дубравы Курской области — пути повышения продуктивности и устойчивости // Повышение устойчивости и продуктивности дубрав. Опыт и перспективы выращивания насаждений лиственницы в европейской части России. Чебоксары–Казань, 2005. С. 141–145.
- Гниненко Ю.И.* Перспективы изменения состояния дубрав под воздействием новых ослабляющих факторов // Повышение устойчивости и продуктивности дубрав. Опыт и перспективы выращивания насаждений лиственницы в европейской части России. Чебоксары–Казань, 2005. С. 154–155.
- Дунаев А.В.* Структура сообществ патогенных трутовых грибов на дубе черешчатом в биоценозах нагорных дубрав юго-запада Среднерусской возвышенности. Белгород: БелГУ, 2017. 228 с.
- Жидких А.В.* Динамика состояния дубрав Хоперского государственного заповедника // Лесное образование и лесная наука в XXI в.: Мат. научно-практ. юбил. конф. Воронеж, 2004. С. 91–98.
- Звягинцев В.Б.* Распространенность, вредоносность грибов комплекса *Armillaria* в лесах Беларуси и обоснование лесозащитных мероприятий: автореф. дис. ... к.б.н.: 06.01.11. Прилуки, 2003. 23 с.
- Ибрагимов А.К., Воротников В.П., Полуяхтов К.К.* Дубравы Нижегородского Поволжья на рубеже веков // Дуб — порода третьего тысячелетия. Вып. 48. Гомель, 1998. С. 61–66.
- Кулагина С.В.* Экология грибных болезней дуба и их роль в деградации порослевых дубрав Белгородской области: автореф. дис. ... к.б.н.: 03.00.16, 03.00.05. Воронеж, 2006. 23 с.
- Мухин В.А.* Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Наука, 1993. 232 с.

- Романовский М.Г. Продуктивность, устойчивость и био-разнообразии равнинных лесов Европейской России. М.: МГУЛ, 2002. 91 с.
- Сафонов М.А. Ресурсное значение ксилотрофных грибов лесов Южного Приуралья: дис. ... д.б.н.: 03.00.32, 03.00.05. Оренбург, 2006. 468 с.
- Селочник Н.Н. Лесопатологическое состояние дубрав лесостепи // Лесоведение. 1999. № 1. С. 60–67.
- Селочник Н.Н. Факторы деградации лесных экосистем // Лесоведение. 2008. № 5. С. 52–60.
- Селочник Н.Н. Состояние дубрав среднерусской лесостепи и их грибные сообщества. М.: Ин-т лесоведения РАН, 2015. 216 с.
- Стороженко В.Г. Устойчивые лесные сообщества. Тула: Гриф и К, 2007. 192 с.
- Стороженко В.Г. Устойчивость лесов. Теория и практика биогеоценотических исследований. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 171 с.
- Тузов В.К. Анализ основных факторов, определяющих неудовлетворительное состояние дуба черешчатого // Повышение устойчивости и продуктивности дубрав. Чебоксары-Казань, 2005. С. 37–40.
- Харченко Н.А., Михно В.В., Харченко Н.Н. Деградация дубрав Центрального Черноземья. Воронеж: ВГЛТА, 2010. 604 с.
- Царалунга В.В. Деградация порослевых дубрав и их реабилитация с помощью санитарных рубок: дис. ... д.с.-х.н.: 06.03.03. Брянск, 2005. 393 с.
- Alexe A. Analiza systemică a fenomenului de uscare a cvercineelor si cauzele acestuia // Rev.Padurilor. — Ind. lemn. celuliza Hirtie. 1986. V. 101. № 3. P. 129–132.
- Delatour C. Le deperissements de chenes en Europe // Revue Forestiere Francaise. 1983. № 35. P. 265–282.
- Čapek M. Scodlive factory v dubinach SSR // Ved. Pr. Vyzk. ustavu lesn. hospod. Zvolene, 1981. № 31. P. 193–211.
- Oszako T. Protection of forest against pests insects and diseases: European oak decline study case. Forest Research Institute. Warsaw, 2004. 215 p.
- Petrescu M. Le deperissement du chene in Romania // Pathology of Trees and Shrubs, with Special Reference to Britain. V. 4. Oxford: Clarendon press, 1974. P. 222–227.
- Ragazzi A., Moricca S., Dellavalle I. Status of oak decline studies in Italy and some views of European situation // Paper presented at the IUFRO workshop. Working Party S7.02.06. Disease / environment interaction in forest decline. Viena, Austria, 1998. P. 43–51.
- Seifert R.A., de Beer Z.W., Wingfield M.Z. Utrecht, CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. CBS Biodiversity Series 12. 2013. P. 261–268.
- Thomas F.M., Blank R., Hartmann G. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europa // Forest Pathology. V. 32. Warsaw, 2006. P. 277–307.

Occurrence of *Inonotus Dryophilus* and *Phellinus Robustus* in Coppice Oak Stands of Ulyanovsk Region

B. P. Churakov¹, *, R. A. Churakov¹, *

¹Ulyanovsk State University, st. L. Tolstoy, 42, Ulyanovsk, 432017 Russia

*E-mail: churakovbp@yandex.ru

The purpose of this work is to study the occurrence of *Phellinus robustus* (Karst.) Bourd.et Galz.) and *Inonotus dryophilus* (Berk.) Murr. polypores in coppice oak stands with different inventory indicators. The relevance of this topic lies in the fact that the area of oak forests throughout their range has reduced catastrophically due to the degradation and collapse of coppice stands, one of the reasons for which is the infection of oak trees with stem rot. The research was carried out on an area of 194.9 hectares of mature and overmature coppice stands in the Slavkinsky district forestry of the Nikolaevsky district, Ulyanovsk region. The occurrence of polypores was determined by setting up 6 sample plots of unspecified area with 100 trees in each. The highest occurrence of *P. robustus* was found in the poaceous-small-grass (PSG) oak forests (14%), with slightly lower values in the masterwort-woodruff (MW) type (13%) and the small-grass (SG) type (12%). The occurrence of *I. dryophilus* is significantly lower compared to *P. robustus* and is characterized by the following occurrence values: 7% in SG and PSG and 6% in MW oak forest types. On average, for all surveyed forest types, the occurrence value of *P. robustus* was 13%, and the occurrence value of *I. dryophilus* was 7%.

In all surveyed forest types, the highest occurrence of *P. robustus* was observed in pure oak stands. In the SG forest type, as the proportion of oak in the forest stand decreases, so does the occurrence of *P. robustus*. In other types of forest, no definite dependence of *P. robustus* on the proportion of the oak in the stand's composition was revealed. The same goes for *I. dryophilus* in all studied forest types. The highest occurrence of polypores was observed for the most part in older forest stands. As the stand's density increases, the occurrence of both polypores in all types of oak forests increases as well.

Keywords: stand composition, stand density, age, wood quality, occurrence of polypores, oak stands.

REFERENCES

- Alexe A., Analiza systemică a fenomenului de uscare a cvercineelor și cauzele acestuia, *Rev. Padurilor. — Ind. lemn. celuloză Hirtie*, 1986, Vol. 101, No. 3, pp. 129–132.
- Aref'ev S.P., Gnilevye bolezni drevesnykh porod Zapadnoi Sibiri (Rot diseases of tree species in Western Siberia), In: *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* (Fungal communities of forest ecosystems), Moscow—Petrozavodsk: 2018, Vol. 5, pp. 6–15.
- Bogomolova O.I., *Drevorazrushayushchie griby dubrav Orenburgskogo Predural'ya. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* (Wood-destroying fungi of oak forests of the Orenburg Cis-Urals. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Orenburg: 2015, 20 p.
- Čapek M., Scodlive factory v dubinach SSR, *Ved. Pr. Vyzk. ustavu lesn. hospod. Zvolene*, 1981, No. 31, pp. 193–211.
- Delatour C., Le deperissements de chenes en Europe, *Revue Forestiere Francaise*, 1983, No. 35, pp. 265–282.
- Dunaev A.V., *Struktura soobshchestv patogennykh trutovykh gribov na dube chereschatom v biotsenozakh nagornykh dubrav yugo-zapada Srednerusskoi vozvyshennosti* (The structure of communities of pathogenic tinder fungi on pedunculate oak in the biocenoses of upland oak forests in the southwest of the Central Russian Upland), Belgorod: BelGU, 2017, 228 p.
- Gninenko Y.I., Perspektivy izmeneniya sostoyaniya dubrav pod vozdeistviem novykh oslablyayushchikh faktorov (Prospects for changes in the state of oak forests under the influence of new weakening factors), In: *Povyshenie ustoichivosti i produktivnosti dubrav. Opyt i perspektivy vyrashchivaniya nasazhdenii listvennitsy v evropeiskoi chasti Rossii* (Increasing the stability and productivity of oak forests. Experience and prospects for growing larch plantings in the European part of Russia), Cheboksary-Kazan: 2005, pp. 154–155.
- Ibragimov A.K., Vorotnikov V.P., Poluyakhtov K.K., Dubravy Nizhegorodskogo Povolzh'ya na rubezhe vekov (Oak forests of the Nizhny Novgorod Volga region at the turn of the century), *Dub — poroda tret'ego tysyacheletiya*, 1998, Vol. 48, pp. 61–66.
- Kharchenko N.A., Mikhno V.B., Kharchenko N.N., Tsaralunga V.V., Korchagin O.M., *Degradatsiya dubrav Tsentral'nogo Chernozem'ya* (Oak forests decline in Central Black Earth Region), Voronezh: VGLTA, 2010, 605 p.
- Kulagina S.V., *Ekologiya gribnykh boleznei duba i ikh rol' v degradatsii poroslevykh dubrav Belgorodskoi oblasti. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* (Ecology of oak fungal diseases and their role in the degradation of coppice oak forests in the Belgorod region. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Voronezh, 2006, 23 p.
- Mukhin V.A., *Biota ksilotrofnyykh bazidiomitsetov Zapadno-Sibirskoi ravniny* (Xylotrophic basidiomycetes biota in West Siberian Plain), Ekaterinburg: Nauka, 1993, 231 p.
- Oszako T., *Protection of forest against pests insects and diseases: European oak decline study case*, Warsaw: Forest Research Institute, 2004, 215 p.
- Petrescu M., Le deperissement du chene in Romania, In: *Pathology of Trees and Shrubs, with Special Reference to Britain*, Vol. 4, Oxford: Clarendon press, 1974, pp. 222–227.
- Ragazzi A., Moricca S., Dellavalle I., Status of oak decline studies in Italy and some views of European situation, Paper presented at the IUFRO workshop. Working Party S7.02.06. *Disease / environment interaction in forest decline*, Viena, Austria, 1998, pp. 43–51.
- Romanovskii M.G., *Produktivnost', ustoichivost' i bioraznoobraziye ravninnykh lesov evropeiskoi Rossii* (Productivity, tolerance and biodiversity of the plain forests in European part of Russia), Moscow: Izd-vo MGUL, 2002, 91 p.
- Safonov M.A., *Resursnoe znachenie ksilotrofnyykh gribov lesov Yuzhnogo Priural'ya. Diss. doct. biol. nauk* (Resource value of xylo-trophic fungi of the forests of the Southern Urals. Doctor's biol. sci. thesis), Orenburg: 2006, 468 p.
- Seifert R.A., de Beer Z.W., Wingfield M.Z., *Utrecht, CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, CBS Biodiversity Series 12*, 2013, pp. 261–268.
- Selochnik N.N., Faktory degradatsii lesnykh ekosistem (Factors of decline of forest ecosystems), *Lesovedenie*, 2008, No. 5, pp. 51–60.
- Selochnik N.N., Lesopatologicheskoe sostoyanie dubrav lesostepi (Forest-pathological state of forest-steppe oak stands), *Lesovedenie*, 1999, No. 1, pp. 60–67.
- Selochnik N.N., *Sostoyanie dubrav srednerusskoi lesostepi i ikh gribnye soobshchestva* (The state of oak forests of the Central Russian forest-steppe and their fungal communities), Moscow, St. Petersburg: Institut lesovedeniya RAN, 2015, 216 p.
- Storozhenko V.G., Bykov A.V., Bukhareva O.A., Petrov A.V., *Ustoichivost' lesov. Teoriya i praktika biogeotsenoticheskikh issledovaniy* (Sustainability of forests. Theory and practice of biogeocoenotic studies), Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2018, 171 p.
- Storozhenko V.G., *Ustoichivye lesnye soobshchestva: teoriya i eksperiment* (Sustainable forest communities: theory and experiment), Moscow: Grif i K, 2007, 190 p.
- Thomas F.M., Blank R., Hartmann G., Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europa, *Forest Pathology*, Vol. 32, Warsaw, 2006, pp. 277–307.
- Tsaralunga V.V., *Degradatsiya poroslevykh dubrav i ikh reabilitatsiya s pomoshch'yu sanitarnykh rubok. Diss. doct. s.-kh. nauk* (Degradation of coppice oak forests and their rehabilitation using sanitary felling. Doctor's agric. sci. thesis), Bryansk: 2005, 393 p.
- Tuzov V.K., Analiz osnovnykh faktorov, opredelyayushchikh neudovletvoritel'noe sostoyanie duba chereschatogo (Analysis of the main factors that determine the unsatisfactory state of the English oak), In: *Povyshenie ustoichivosti i produktivnosti dubrav. Opyt i perspektivy vyrashchivaniya nasazhdenii listvennitsy v evropeiskoi chasti Rossii* (Increasing the stability and productivity of oak forests. Experience and prospects of growing plantations of larch in the European part of Russia), Cheboksary, Kazan: 2005, pp. 37–40.
- Vyvodtsev V.D., Dubravy Kurskoi oblasti — puti povysheniya produktivnosti i ustoichivosti (Oak forests of the Kursk region — ways to increase productivity and sustainability), In: *Povyshenie ustoichivosti i produktivnosti dubrav. Opyt i perspektivy vyrashchivaniya nasazhdenii listvennitsy v evropeiskoi chasti Rossii* (Increasing the sustainability and productivity of oak forests. Experience and prospects for growing larch plantings in the European part of Russia), Cheboksary-Kazan, 2005, pp. 141–145.
- Zhidkikh A.V., Dinamika sostoyaniya dubrav Khoperskogo gosudarstvennogo zapovednika (Dynamics of the state of oak forests of the Khopersky State Reserve), *Lesnoe obrazovanie i lesnaya nauka v XXI v.* (Forest education and forest science in the 21st century), Voronezh, Proc. of sci.-pract. anniversary Conf., pp. 91–98.
- Zvyagintsev V.B., *Rasprostranennost', vredonosnost' gribov kompleksa Armillaria v lesakh Belarusi i obosnovanie lesozashchitnykh meropriyatii. Diss. kand. biol. nauk* (The prevalence, harmfulness of the fungi of the Armillaria complex in the forests of Belarus and the rationale for forest protection measures. Candidate's biol. sci. thesis), Priluki: Bel. in-t zashchity rastenii, 2003, 20 p.

Алфавитный указатель за 2023 год

Автор(ы), название	Номер	Стр.
Аврова А. Ф. См. Ефремова Т. Т. и др.	3	290–303
Агольцов А. Ю. См. Колычева А. А. и др.	5	513–525
Алексеев А. С. См. Селиховкин А. В. и др.	3	304–321
Артемякина Н. А. Взаимосвязи фенольных соединений, танинов, лигнина, азота и углерода в растениях ельников кустарничково-зеленомошных на Кольском полуострове	1	35–43
Афонин А. А. Динамика развития побегов ивы трехтычинковой при разном атмосферном увлажнении	1	44–51
Бабиков Б. В. См. Инишева Л. И. и др.	1	52–65
Баранова О. Ю. См. Семенюк О. В. и др.	4	339–352
Белоус О. Г. См. Бибин А. Р. и др.	6	655–662
Берим М. Н. Видовой состав тлей трех парков Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2021 году	5	543–548
Бибин А. Р., Белоус О. Г., Платонова Н. Б. Оценка негативного воздействия карантинного вредителя кружевницы дубовой на Западном Кавказе	6	655–662
Бисирова Э. М. См. Кривец С. А. и др.	2	116–131
Битюков Н. А. Геоэкологические исследования и принципы ведения хозяйства в горных лесах Северного Кавказа	3	322–336
Бобровский М. В. См. Ханина Л. Г. и др.	4	353–368
Богатырев Л. Г. См. Семенюк О. В. и др.	4	339–352
Борцов В. А. См. Кабанова С. А. и др.	4	434–441
Бушковский А. А. См. Копцева Е. М. и др.	1	22–34
Волкова Е. С. См. Кривец С. А. и др.	2	116–131
Воронин В. И. См. Суховольский В. Г. и др.	1	3–12
Габибова А. Р. См. Залибеков М. Д., Габибова А. Р.	5	549–556
Гераськина А. П. См. Шевченко Н. Е., Гераськина А. П.	6	637–654
Герлинг Н. В., Тарасов С. И. Рост и структурные особенности хвои пихты сибирской на северо-востоке Европейской части России	6	596–607
Глухова Т. В. См. Стороженко В. Г., Глухова Т. В.	6	577–586
Гниненко Ю. И. См. Селиховкин А. В., Гниненко Ю. И.	2	102–115
Головченко А. В. См. Инишева Л. И. и др.	1	52–65
Горшков В. В. См. Ставрова Н. И. и др.	5	471–485
Данченко М. А. См. Кабанова С. А. и др.	4	434–441
Демаков Ю. П. См. Исаев А. В., Демаков Ю. П.	1	66–76
Демаков Ю. П., Тишин Д. В., Демитрова И. П. Влияние колоний серой цапли на радиальный прирост деревьев в культурах сосны	3	66–76
Демитрова И. П. См. Демаков Ю. П. и др.	3	269–276
Данилин И. М. См. Целитан И. А., Данилин И. М.	4	398–411
Дык Б. Д. См. Зайцев Д. А. и др.	1	13–21
Ермолаев И. В., Зыкина Н. Г. Влияние тополевой моли-пестрянки на радиальный прирост кормового растения в г. Ижевске	1	85–90
Ефремов С. П. См. Ефремова Т. Т. и др.	3	290–303

Ефремова Т. Т., Ефремов С. П., Аврова А. Ф. Геохимические особенности морфометрических фракций торфянистых подстилок в южнотаежных болотных березняках Западной Сибири	3	290–303
Зайцев Д. А., Дык Б. Д., Селиховкин А. В. Воздействие температуры и осадков на радиальный прирост тополя берлинского и липы мелколистной в Санкт-Петербурге	1	13–21
Зайцева Е. М. См. Сазонов А. А. и др.	5	451–461
Залибеков М. Д., Габимова А. Р. Эколого-географическая изменчивость годовых побегов боярышников в Дагестане	5	549–556
Замолдчиков Д. Г. См. Каганов В. В. и др.	5	486–501
Звягинцев В. Б. См. Сазонов А. А. и др.	5	451–461
Зубкова Е. В. См. Стаменов М. Н. и др.	5	462–470
Зыкина Н. Г. См. Ермолаев И. В., Зыкина Н. Г.	1	85–90
Иванова Ю. Д. См. Суховольский В. Г. и др.	1	3–12
Иванова Ю. Д. См. Суховольский В. Г. и др.	2	174–189
Инишева Л. И., Сергеева М. А., Головченко А. В., Бабиков Б. В. Распределение диоксида углерода и метана в торфяной залежи олиготрофного лесного болота и их эмиссия в Западной Сибири	1	52–65
Исаев А. В., Демаков Ю. П. Особенности подстилок в пойменных лесах заповедника “Большая Кокшага”	1	66–76
Кабанов А. Н. См. Кабанова С. А. и др.	4	434–441
Кабанова С. А., Кабанов А. Н., Кочегаров И. С., Данченко М. А., Борцов В. А., Шахматов П. Ф. Использование стимуляторов для предпосевной обработки семян сосны обыкновенной	4	434–441
Каганов В. В., Замолдчиков Д. Г., Мостовая А. С. Влияние климата на запасы углерода фитомассы и подстилки в лесных насаждениях юга Европейской России	5	486–501
Карнаухов А. И. См. Орловский С. Н., Карнаухов А. И.	6	685–689
Карташова Н. П., Кулакова Е. Н. Ландшафтно-планировочная организация парка “Северный лес” г. Воронежа	6	675–684
Катютин П. Н. См. Ставрова Н. И. и др.	5	471–485
Керчев И. А. См. Кривец С. А. и др.	2	116–131
Киселева В. В. См. Колычева А. А. и др.	5	513–525
Коба В. П. Особенности восстановления жизненных функций сосны Палласа в постпирогенный период	4	388–397
Ковалев А. В. См. Суховольский В. Г. и др.	1	3–12
Ковалев А. В. См. Суховольский В. Г. и др.	2	174–189
Ковалев А. В., Цикалова П. Е. Предикторы повреждения насекомыми лесных насаждений по спутниковым данным на примере сибирского шелкопряда	2	150–160
Клобуков Г. И. См. Пономарев В. И. и др.	2	142–149
Ковалева Н. М., Собачкин Р. С. Восстановление растительности на залежах в лесостепи Красноярского края	5	502–512
Колычева А. А., Чумаченко С. И., Киселева В. В., Агольцов А. Ю. Анализ пространственного распределения и потенциала заготовки лесных ягод	5	513–525
Копцева Е. М., Кузьмина Ю. В., Сорокина И. А., Бушковский А. А. Влияние фитоценологических и биотопических условий на состояние культур ели европейской в фазе приживания на юго-востоке Ленинградской области	1	22–34
Кочегаров И. С. См. Кабанова С. А. и др.	4	434–441
Красноперова П. А. См. Тарасова О. В., Красноперова П. А.	2	161–173

Кривец С. А., Керчев И. А., Бисирова Э. М., Волкова Е. С., Мельник М. А., Смирнов Н. А., Пац Е. Н. Вспышка массового размножения и оценка риска распространения союзного короеда в кедровых лесах Томской области	2	116–131
Кузнецова Н. Ф. Генеративная сфера сосны обыкновенной как индикатор климатически детерминированной смены жизненных состояний популяций	3	244–254
Кузьмина Ю. В. См. Копцева Е. М. и др.	1	22–34
Кулакова Е. Н. См. Карташова Н. П., Кулакова Е. Н.	6	675–684
Кутявин И. Н. См. Манов А. В., Кутявин И. Н.	6	587–595
Лямцев Н. И. Динамика численности непарного шелкопряда и зеленой дубовой листовертки при совместном массовом размножении	2	132–141
Манаенков А. С. Подходы к улучшению состояния полезащитных лесных полос на Северном Кавказе	4	412–426
Мандельштам М. Ю. См. Селиховкин А. В. и др.	3	304–321
Манов А. В., Кутявин И. Н. Динамика структуры и состояния древесного яруса среднетаежных коренных ельников предгорий Северного Урала	6	587–595
Мельник М. А. См. Кривец С. А. и др.	2	116–131
Москалюк Т. А. Изменение парцеллярной структуры лиановых широколиственных лесов за 20 лет в Приморском крае	3	228–243
Мостовая А. С. См. Каганов В. В. и др.	5	486–501
Напалкова В. В. См. Пономарев В. И. и др.	2	142–149
Неверова Г. П., Фрисман Е. Я. Анализ и прогноз динамики численности серой лиственничной листовертки при помощи модели Морана-Рикера с запаздыванием	2	190–200
Некрасов С. А. Подходы к секвестрации углерода в климатических проектах	6	663–674
Орловский С. Н., Карнаухов А. И. Оценка усилий отрыва шишек лиственницы, сосны и кедра	6	685–689
Осипов А. Ф. Влияние лесорастительных условий на эмиссию CO ₂ с поверхности почвы среднетаежных сосняков Республики Коми	4	369–378
Осколков В. А. См. Суховольский В. Г. и др.	1	3–12
Пак М. Э. См. Третьякова И. Н., Пак М. Э.	5	526–536
Пац Е. Н. См. Кривец С. А. и др.	2	116–131
Платонова Н. Б. См. Бибин А. Р. и др.	6	655–662
Пономарев В. И., Клобуков Г. И., Напалкова В. В. Влияние внешних факторов на феромонный мониторинг непарного шелкопряда	2	142–149
Поповичев Б. Г. См. Селиховкин А. В. и др.	3	304–321
Рогозин М. В. Площадь питания и рост деревьев в средневозрастных культурах сосны	3	255–268
Рубцов В. В. См. Уткина И. А., Рубцов В. В.	2	201–214
Сазонов А. А., Звягинцев В. Б., Зайцева Е. М. Поражение дубрав Беларуси армилляриозной гнилью в период массового усыхания	5	451–461
Селиховкин А. В. См. Зайцев Д. А. и др.	1	13–21
Селиховкин А. В., Гниненко Ю. И. Вспышки массового размножения насекомых-филлофагов в лесах северо-запада Европейской части России	2	102–115
Селиховкин А. В., Поповичев Б. Г., Мандельштам М. Ю., Алексеев А. С. Роль стволовых вредителей в изменении состояния хвойных лесов на северо-западе Европейской части России	3	304–321
Семенюк О. В., Телеснина В. М., Богатырев Л. Г., Баранова О. Ю. Роль зеленых насаждений в адаптации урбоэкосистем к изменениям климата	4	339–352

Семериков Н. В. Разработка и применение двух мультиплексов ядерных микросателлитных локусов для анализа генетической изменчивости популяций сосны обыкновенной из разных частей ареала	4	427–433
Сергеева М. А. См. Инишева Л. И. и др.	1	52–65
Сири́н Андрей Артурович (1956–2023)	5	557–560
Смирнов В. Э. См. Ханина Л. Г. и др.	4	353–368
Смирнов Н. А. См. Кривец С. А. и др.	2	116–131
Смирнова А. В. См. Уланов А. Н. и др.	4	379–387
Собачкин Р. С. См. Ковалева Н. М., Собачкин Р. С.	5	502–512
Соколова Т. А. Синтаксономическое разнообразие и состояние защитных лесных насаждений Мясниковского района Ростовской области	6	617–636
Сорокина И. А. См. Копцева Е. М. и др.	1	22–34
Сорокина О. А. Влияние искусственных древесно-кустарниковых насаждений на биологическую активность почв в степях Хакасии	1	77–84
Ставрова Н. И., Горшков В. В., Катютин П. Н. Виталитетная структура древостоев в средневозрастных северотаежных сосновых лесах	5	471–485
Стаменов М. Н., Зубкова Е. В., Фролов П. В. Оценка перспектив развития подроста дуба черешчатого в лесных сообществах Московского региона на основе экологической морфологии растений	5	462–470
Стороженко В. Г., Глухова Т. В. Структура древостоев сосны на катене от бора до олиготрофного болота	6	577–586
Суховольский В. Г. Предисловие к спецвыпуску “Динамика численности лесных насекомых” журнала “Лесоведение”	2	99–101
Суховольский В. Г., Иванова Ю. Д., Ковалев А. В. Развитие очагов массового размножения лесных насекомых на разных пространственных масштабах	2	174–189
Суховольский В. Г., Ковалев А. В., Воронин В. И., Осколков В. А., Иванова Ю. Д. Связь радиального прироста деревьев хвойных пород и нормализованного разностного вегетационного индекса	1	3–12
Тарасов С. И. См. Герлинг Н. В., Тарасов С. И.	6	596–607
Тарасова О. В., Красноперова П. А. Пространственно-временная сопряженность многолетней динамики численности лесных насекомых-филлофагов на примере Краснотуранского бора	2	161–173
Телеснина В. М. См. Семенюк О. В. и др.	4	339–352
Тишин Д. В. См. Демаков Ю. П. и др.	3	269–276
Третьякова И. Н. Биологические свойства семян кедр сибирского	6	608–616
Третьякова И. Н., Пак М. Э. Размножение лиственницы сибирской с использованием биотехнологии соматического эмбриогенеза	5	526–536
Уланов А. Н., Смирнова А. В., Уланов Н. А. Формирование древостоев на выработанных торфяных болотах северо-востока Европейской части России	4	379–387
Уланов Н. А. См. Уланов А. Н. и др.	4	379–387
Усольцев В. А., Цепордей И. С. Плотность древесины и коры деревьев на климатических градиентах Евразии	3	217–227
Усольцев В. А., Цепордей И. С. Возрастные изменения в структуре надземной фитомассы лесообразующих видов Евразии	6	563–576
Уткина И. А., Рубцов В. В. Современные аспекты исследований роли насекомых-филлофагов в лесных сообществах	2	201–214
Фрисман Е. Я. См. Неверова Г. П., Фрисман Е. Я.	2	190–200

Фролов П. В. См. Стаменов М. Н. и др.	5	462–470
Ханина Л. Г., Смирнов В. Э., Бобровский М. В. Элементный состав валежа различных древесных пород и стадий разложения в широколиственном лесу заповедника “Калужские засеки”	4	353–368
Целитан И. А., Данилин И. М. Биологическая продуктивность послепожарных лиственничников в горных районах Красноярского края	4	398–411
Цельникер Юдифь Львовна (1921–2023)	6	697–698
Цепордей И. С. См. Усольцев В. А., Цепордей И. С.	3	217–227
Цепордей И. С. См. Усольцев В. А., Цепордей И. С.	6	563–576
Цикалова П. Е. См. Ковалев А. В., Цикалова П. Е.	2	150–160
Чумаченко С. И. См. Колычева А. А. и др.	5	513–525
Шахматов П. Ф. См. Кабанова С. А. и др.	4	434–441
Шевченко Н. Е., Гераськина А. П. Видовое и структурное разнообразие хвойно-широколиственных лесов бассейна реки Пшехи на Северо-Западном Кавказе	6	637–654
Шихова Н. С. Оценка функциональной эффективности древесно-кустарниковых видов в городском озеленении на примере Владивостока	3	277–289
Aryasov V. E. См. Polosukhina D. A. и др.	6	690–696
Kiseleva L. L., Parakhina E. A., Silaeva Zh. G. Important forest areas of the Orel region	4	442–448
Makhnykina A. V. См. Polosukhina D. A. и др.	6	690–696
Mulatu Y. См. Nigatu M. и др.	5	537–542
Nigatu M., Mulatu Y., Seid M. A. Reproductive phenology of <i>Milicia excelsa</i> , <i>Antiaris toxicaria</i> , and <i>Pouteria adolfi-friedericii</i> in south west Ethiopia	5	537–542
Parakhina E. A. См. Kiseleva L. L. и др.	4	442–448
Polosukhina D. A., Makhnykina A. V., Aryasov V. E., Trusov D. V., Prokushkin A. S. Photosynthesis of widespread lichen species in pine forests of Central Siberia	6	690–696
Prokushkin A. S. См. Polosukhina D. A. и др.	6	690–696
Seid M. A. См. Nigatu M. и др.	5	537–542
Silaeva Zh. G. См. Kiseleva L. L. и др.	4	442–448
Trusov D. V. См. Polosukhina D. A. и др.	6	690–696
Алфавитный указатель за 2022 г.	1	91–96

ИСПРАВЛЕНИЯ

к статье А.С. Манаенкова

“Подходы к улучшению состояния полезных лесных полос на Северном Кавказе” (Лесоведение. 2023. № 4 С. 412–426).

По просьбе автора даем правильную ссылку на источник финансирования исследований вместо указанного в статье на с. 412:

¹ГЗ № FNFE 2022-0001 “Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России”.