

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# Лесной журнал

**Научный рецензируемый журнал**

Основан в 1833 г.  
Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.  
Выходит 6 раз в год

2

2026

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**МЕЛЕХОВ В.И.** – гл. редактор, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**БАБИЧ Н.А.** – зам. гл. редактора, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**БОГОЛИЦЫН К.Г.** – зам. гл. редактора, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**АНГЕЛЬСТАМ П.** – зам. гл. редактора по европейскому направлению, д-р наук, проф. (Швеция, Скиннскаттеберг)  
**КОМАРОВА А.М.** – отв. секретарь, канд. с.-х. наук (Россия, Архангельск)

**Бессчетнов В.П.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)  
**Буй Тэ Дой**, д-р наук, науч. сотр. (Вьетнам, Ханой)  
**Ван Хайнинген А.**, д-р наук, проф. (США, Ороно)  
**Воронин А.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Гаврилова О.И.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Ефремова С.В.**, д-р техн. наук, проф. (Республика Казахстан, Алматы)  
**Залесов С.В.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**Казаков Я.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Кожухов Н.И.**, д-р экон. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)  
**Коновалов В.Ф.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Уфа)  
**Корчагов С.А.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Вологда)  
**Куров В.С.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Лупашку Т.Г.**, д-р хим. наук, проф., акад. АНМ (Республика Молдова, Кишинев)  
**Матвеева Р.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)  
**Мерзленко М.Д.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Наквасина Е.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Нимц П.**, д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)  
**Обливин А.Н.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Онегин В.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Памфилов Е.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)  
**Посыпанов С.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Сакса Т.**, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)  
**Санаев В.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Сёренсен У.Я.**, д-р наук, проф. (Норвегия, Стейнхьер)  
**Сигурдссон Б.Д.**, д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)  
**Усольцев В.А.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**Хабаров Ю.Г.**, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Хакимова Ф.Х.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)  
**Хоанг Ван Сэм**, д-р наук, науч. сотр. (Вьетнам, Ханой)  
**Холуша О.**, д-р наук, проф. (Чехия, Брно)  
**Царев А.П.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Воронеж)  
**Черных В.Л.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Щекалев Р.В.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Энгельманн Х.-Д.**, д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

# Lesnoy Zhurnal

## (Russian Forestry Journal)

**Scientific peer-reviewed journal**

Established in 1833  
Issued as part of the  
“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958  
Published bi-monthly

2

2026

## EDITORIAL BOARD:

**MELEKHOV V.I.** – Editor-in-Chief, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**BABICH N.A.** – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**BOGOLITSYN K.G.** – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**ANGELSTAM P.** – Deputy Editor-in-Chief of the European Department, PhD, Prof. (Sweden, Skinnskatteberg)  
**KOMAROVA A.M.** – Executive Secretary, Candidate of Agriculture (Russia, Arkhangelsk)

**Besschetnov V.P.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)  
**Bui The Doi**, PhD, Senior Researcher (Vietnam, Hanoi)  
**Van Heiningen A.**, PhD, Prof. (USA, Orono)  
**Voronin A.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Gavrilova O.I.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Efremova S.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Republic of Kazakhstan, Almaty)  
**Zalesov S.V.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)  
**Kazakov Ya.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Kozhukhov N.I.**, Doctor of Economics, Prof., Academician of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)  
**Konovalov V.F.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Ufa)  
**Korchagov S.A.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Vologda)  
**Kurov V.S.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Lupascu T.G.**, Doctor of Chemistry, Prof., Academician of the Academy of Sciences of Moldova (Republic of Moldova, Chisinau)  
**Matveeva R.N.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)  
**Merzlenko M.D.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)  
**Nakvasina E.N.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Niemz P.**, PhD, Prof. (Switzerland, Zurich)  
**Oblivin A.N.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Onegin V.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Pamfilov E.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)  
**Posypanov S.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Saksa T.**, Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)  
**Sanaev V.G.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Sørensen O.J.**, PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)  
**Sigurðsson B.D.**, PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)  
**Usol'tsev V.A.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)  
**Khabarov Yu.G.**, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Khakimova F.Kh.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)  
**Hoang Van Sam**, PhD, Senior Researcher (Vietnam, Hanoi)  
**Holuša O.**, PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)  
**Tsarev A.P.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Voronezh)  
**Chernykh V.L.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shchekalev R.V.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Engelmann H.-D.**, Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>I.G. Febryano, N. Wibowo, S.P. Harianto, B.S. Dewi. Management of Repong Damar Agroforestry in Lampung Province (Indonesia).....</i>	9
<i>Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, Н.А. Бабич, А.С. Вилков. Пигментный состав хвои можжевельника при интродукции в Нижегородское Поволжье.....</i>	28
<i>Д.А. Данилов, А.А. Яковлев, И.А. Крылов, С.А. Суворов. Формирование надземной фитомассы сосны и ели в лесонасаждениях на постагроденных землях.....</i>	44
<i>Е.А. Баницикова, Т.В. Желибо, Н.В. Помазкова. Приживаемость сеянцев с закрытой корневой системой в лесостепных районах Забайкалья....</i>	59
<i>С.М. Зайцева, Е.Л. Болотина, Е.А. Калашикова, Р.Н. Киракосян. Технология клонального микроразмножения реликтовых голосеменных растений <i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.....</i>	73
<i>Е.А. Копосова, Н.П. Чернобровкина, К.Г. Нелаева, Е.В. Робонен, А.В. Егорова. Стимуляторы роста для контейнерных сеянцев <i>Pinus sylvestris</i> L. второй ротации.....</i>	88
<i>Т.В. Сухих, А.А. Ибе, М.А. Шеллер, Н.В. Моксина, Н.П. Братилова. Генетическая паспортизация сортов яблони (<i>Malus domestica</i> Borkh.) из Ботанического сада им. В.М. Крутовского.....</i>	101

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.Ф. Уразова, Э.Ф. Герц. Математическое моделирование технологических характеристик полноповоротной лесозаготовительной машины.....</i>	113
<i>М.Н. Лысыч, Л.Д. Бухтояров, М.А. Гнусов, Е.В. Мартыновский. DEM-моделирование центробежной системы высева семян древесных пород с беспилотного летательного аппарата.....</i>	124
<i>В.Н. Ермолин, М.А. Баяндин, Н.В. Смертин. Применение биодegradированной древесины для получения плит без связующих.....</i>	139

*ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ  
И ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ*

- А.А. Красикова, М.А. Гусакова, Ю.В. Севастьянова, М.А. Пустынная, А.А. Слобода, К.Г. Боголицын.* Влияние некондиционной древесины осины при варке бисульфитным способом на характеристики и выход целлюлозы ..... 152

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- А.А. Ковригина, Е.Н. Наквасина, С.В. Третьяков.* Влияние выборочных рубок на ресурсный потенциал черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. в Приморском районе Архангельской области ..... 163
- Л.В. Хархота, С.П. Жуков, О.А. Гридько.* Видовое разнообразие и состояние дендрофлоры парка г. Донецка ..... 175
- Д.Н. Клевцов, А.С. Алимов, Т.А. Паринова, И.Б. Амосова, А.А. Копытов.* Оценка пулов углерода в древесно-кустарниковом ярусе постагрогенных лесных фитоценозов Кенозерского национального парка .... 189
- В.В. Гревцова, О.С. Залывская.* Биогруппы дуба черешчатого как фактор повышения устойчивости дубрав на урбанизированных территориях ..... 203





## CONTENTS

## FORESTRY

- I.G. Febryano, N. Wibowo, S.P. Harianto, B.S. Dewi.* Management of Repong Damar Agroforestry in Lampung Province (Indonesia)..... 9
- N.N. Besschetnova, [V.P. Besschetnov], N.A. Babich, A.S. Vilcov.* Pigment Composition of Juniper Needles During Introduction to the Nizhny Novgorod Volga Region ..... 28
- D.A. Danilov, A.A. Yakovlev, I.A. Krylov, S.A. Suvorov.* Formation of Aboveground Phytomass of Pine and Spruce in Forest Plantations on Post-Agricultural Lands..... 44
- E.A. Banshchikova, T.V. Zhelibo, N.V. Pomazkova.* Survival Rate of Seedlings with Closed Root System in Forest-Steppe Regions of Transbaikalia ..... 59
- S.M. Zaytseva, E.L. Bolotina, E.A. Kalashnikova, R.N. Kirakosyan.* Clonal Micropropagation Technology of Relict Gymnosperms *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl..... 73
- E.A. Kuposova, N.P. Chernobrovkina, K.G. Nelaeva, E.V. Robonen, A.V. Egorova.* Growth Stimulators for Container Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the Second Rotation..... 88
- T.V. Sukhikh, A.A. Ibe, M.A. Sheller, N.V. Moksina, N.P. Bratilova.* Genetic Certification of Apple Varieties (*Malus domestica* Borkh.) from the Kru-tovsky Botanical Garden ..... 101

TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT  
IN FOREST MANAGEMENT AND WOOD PROCESSING

- A.F. Urazova, E.F. Gerts.* On the Rational Parameters of the Operation of a Full-Rotation Timber Harvesting Machine..... 113
- M.N. Lysych, L.D. Bukhtoyarov, M.A. Gnusov, E.V. Martynovsky.* DEM-Modeling of a Centrifugal Sowing System for Wood Species Seeds from an Unmanned Aerial Vehicle ..... 124
- V.N. Ermolin, M.A. Bayandin, N.V. Smertin.* Using Biodegraded Wood to Produce Boards Without Binders ..... 139

*TECHNOLOGY OF CHEMICAL WOOD PROCESSING AND PRODUCTION  
OF WOOD-POLYMER COMPOSITES*

- A.A. Krasikova, M.A. Gusakova, Yu.V. Sevastyanova, M.A. Pustynnaya, A.A. Sloboda, K.G. Bogolitsyn.* Effect of Substandard Aspen Wood Addition During Bisulfite Cooking on Pulp Characteristics and Yield..... 152

*BRIF SUMMARIES AND EXPERIENCE EXCHANGE*

- A.A. Kovrigina, E.N. Nakvasina, S.V. Tretyakov.* The Effect of Selective Logging on the Resource Potential of Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region..... 163
- L.V. Kharkhota, S.P. Zhukov, O.A. Hrydko.* Species Diversity and Condition of the Dendroflora of the Donetsk City Park ..... 175
- D.N. Klevtsov, A.S. Alimov, T.A. Parinova, I.B. Amosova, A.A. Kopytov.* Assessment of Carbon Pools in the Tree and Shrub Layer of Postagrogenic Forest Phytocenoses of Kenozersky National Park ..... 189
- V.V. Grevtsova, O.S. Zalyvskaya.* English Oak Biogroups as a Factor for Enhancing the Sustainability of Oak Forests in Urban Areas..... 203



Review article

УДК 630\*2

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-9-27

## Management of *Repong Damar* Agroforestry in Lampung Province (Indonesia)

**Indra Gumay Febryano**<sup>✉</sup>, PhD, Prof.; ResearcherID: [AAW-4454-2021](https://orcid.org/0000-0001-7242-656X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7242-656X>

**Novita Wibowo**, Research Scientist; ResearcherID: [OGP-1201-2025](https://orcid.org/0009-0000-1036-8798),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1036-8798>

**Sugeng Prayitno Harianto**, PhD, Prof.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-3880>

**Bainah Sari Dewi**, PhD, Assoc. Prof.; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0638-1138>

Universitas Lampung, Department of Forestry, Bandar Lampung, Indonesia, 35145; [indra.gumay@fp.unila.ac.id](mailto:indra.gumay@fp.unila.ac.id)<sup>✉</sup>, [wibowonovita2002@gmail.com](mailto:wibowonovita2002@gmail.com), [sugeng.prayitno@fp.unila.ac.id](mailto:sugeng.prayitno@fp.unila.ac.id), [bainah.saridewi@fp.unila.ac.id](mailto:bainah.saridewi@fp.unila.ac.id)

Received on July 7, 2025 / Approved after reviewing on September 28, 2025 / Accepted on October 1, 2025

**Abstract.** Community culture in land management plays a vital role in sustainable development and the preservation of traditional agroforestry systems. This study aims to analyze the role of community culture in the management of *Repong Damar* agroforestry within the framework of Community-Based Forest Management in Lampung Province, Indonesia. A qualitative research approach was adopted, utilizing data obtained through participatory observations, in-depth interviews with key stakeholders, and comprehensive documentation studies. The results demonstrate that while Community-Based Forest Management programs aim to provide socio-economic benefits, their success is inextricably linked to the evolving cultural identity and traditional practices of the local community. Current government policies at both central and regional levels are perceived as ineffective in ensuring the long-term preservation of *Repong Damar* agroforestry systems. Consequently, the study suggests that the Regency Government of Pesisir Barat should implement dedicated cultural preservation policies, including the promotion of cultural tourism, to safeguard these unique landscapes. Integrating traditional legal principles, norms, and indigenous institutions into formal regulations is essential for developing a truly sustainable and equitable management model. Such integration ensures that cultural identity remains preserved for future generations while maintaining the ecological balance of the forest. This study concludes that the cultural values of the community are indispensable for the resilience of agroforestry systems. Future research should focus on the intersection of cultural conservation policies and climate change challenges in agroforestry management.

**Keywords:** agroforestry, forest management, community-based forest management, community forest management, environment, sustainable development, *Repong Damar*

**For citation:** Febryano I.G., Wibowo N., Harianto S.P., Dewi B.S. Management of *Repong Damar* Agroforestry in Lampung Province (Indonesia). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 9–27. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-9-27>



Обзорная статья

## Управление агролесоводством Репонг Дамар в провинции Лампунг (Индонезия)

*Индра Гумай Февриано*<sup>✉</sup>, *д-р наук, проф.*; ResearcherID: [AAW-4454-2021](https://orcid.org/0000-0001-7242-656X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7242-656X>

*Новита Вибово*, *науч. сотр.*; ResearcherID: [OGP-1201-2025](https://orcid.org/0009-0000-1036-8798),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1036-8798>

*Сугенг Прайитно Харьянто*, *д-р наук, проф.*;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-3880>

*Байна Сари Деви*, *д-р наук, доц.*; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0638-1138>

Университет Лампунга, факультет лесного хозяйства, г. Бандар-Лампунг, провинция Лампунг, Индонезия, 35145; [indra.gumay@fp.unila.ac.id](mailto:indra.gumay@fp.unila.ac.id)<sup>✉</sup>, [wibowonovita2002@gmail.com](mailto:wibowonovita2002@gmail.com), [sugeng.prayitno@fp.unila.ac.id](mailto:sugeng.prayitno@fp.unila.ac.id), [bainah.saridewi@fp.unila.ac.id](mailto:bainah.saridewi@fp.unila.ac.id)

---

Поступила в редакцию 07.07.25 / Одобрена после рецензирования 28.09.25 / Принята к печати 01.10.25

---

**Аннотация.** Управление земельными и лесными ресурсами играет важную роль в устойчивом развитии провинций Индонезии. Целью исследования является анализ управления лесами на уровне общин – агролесомелиоративная система Репонг Дамар. В основе работы лежат данные, полученные путем визуальных наблюдений, углубленных опросов и анкетирования, а также изучения документации и архивных материалов. Собранные материалы проанализированы для определения роли сообщества в управлении лесами в соответствии с принципами агролесоводства по системе Репонг Дамар. Результаты показывают, что Репонг Дамар – это программа, направленная на обеспечение социально-экономических выгод для вовлеченных в управление сообществ. Государственная политика, как на центральном, так и на региональном уровнях, считается неэффективной в плане сохранения агролесомелиорации Репонг Дамар. Кроме того, сбросить агролесомелиорацию Репонг Дамар также можно путем превращения местности в объект культурного туризма. Культурные ценности следует интегрировать в законы и нормативные акты путем принятия соответствующих правовых принципов, норм и институтов, которые важны для достижения устойчивости и справедливости контроля лесов общинами. Это гарантирует сохранение культурной самобытности сообщества и передачу ее будущим поколениям. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение политики сохранения культурных ценностей при управлении агролесомелиорацией Репонг Дамар в связи с проблемой изменения климата.

**Ключевые слова:** агролесомелиорация, агролесомелиоративная система, управление лесами, общинное лесопользование, окружающая среда, устойчивое развитие, Репонг Дамар

**Для цитирования:** Февриано И.Г., Вибово Н., Харьянто С.П., Деви Б.С. Управление агролесоводством Репонг Дамар в провинции Лампунг (Индонезия) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 9–27. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-9-27>

---

*Introduction*

Culture is derived from the Sanskrit word *buddhayah*, the plural form of *budhi* meaning mind or intellect, and is universally composed of language, knowledge systems, social organizations, living tools and technologies, livelihood systems, religious systems, and art [33]. As a complex system that encompasses norms, rules, and customs that develop over the centuries [3], culture is formed from spiritual and material impulses that are essential to the social life of a community [59], and involves the development of a way of life and the cultivation of values as the foundation of society [65]. These values live in the minds of citizens as the highest code of behavior that includes rules, laws, and norms guided by cultural value systems [22], and have a close relationship with beliefs because they reflect values, beliefs, and practices inherited from generation to generation [10, 60, 61].

One of the cultures in land management by the community is agroforestry. The system includes community livelihood activities, which access various sources of income from a single plot of land, such as timber species, as well as other non-timber forest products [48]. This practice is not merely a way to meet food needs; it is an integral part of the cultural heritage that governs the relationship between humans and nature [57]. Such culture can manifest as prohibitions in land management [9]. For example, community members may be prohibited from cutting down sacred trees or opening new land without traditional ceremonies. These restrictions are believed to maintain the ecological balance and prevent potential disasters [40].

Agroforestry is a type of land use by mixing forestry crops (woody plants) with plantation, agricultural or livestock crops [17]. Its role is to maintain the sustainability of natural resources in an area that has benefits for ecological, economic and social aspects [13, 26]. Agroforestry planting patterns are part of Community-Based Forest Management (CBFM). The concept of CBFM places the community as the main actor, while the government and the private sector function as supporters [23]. The government provides necessary regulations and policies while increasing community capacity to strengthen social capital [4, 25]. Meanwhile, the private sector contributes through financial support and technical expertise [44].

CBFM has become a key policy for addressing forest area problems in developing countries [18]. Community involvement not only promotes environmental sustainability but also creates livelihood opportunities [21]. CBFM aims to promote the empowerment of sustainable communities, ecological balance, and recognition of indigenous peoples' rights to their ancestral territories [11]. Forest management must remain within the framework of sustainable principles: economic, social, and environmental functions [37]. CBFM policies have been widely discussed and developed by various parties [8]. CBFM policies empower local communities to manage forest resources and provide tenure rights [66].

One example of CBFM applying traditional agroforestry patterns is *Repong Damar*. The community in Pesisir Barat Regency, Lampung Province, Indonesia, has practiced this system since the 19th century. The term *Repong Damar* refers to dry land overgrown with various productive plants, dominated by *damar* (*Shorea javanica*) from the *Dipterocarpaceae* family. In addition to fruit and timber species of high economic value, various wild plants are preserved within the system. *Damar* trees produce resin that is exported globally [15].

The *Repong Damar* agroforestry system is considered one of the successful sustainable forest management models, because its management pays attention to the sustainability and sustainability of forest resources. This system is participatory and pays more attention to the proportional role of the community around the forest. Its preservation is closely related to the culture of the community in land management, especially in supporting the existence of CBFM. The preservation of community culture in the management of *Repong Damar* agroforestry is very important in sustainable development. Therefore, this study aims to analyze the role of community culture in the management of *Repong Damar* agroforestry within the CBFM framework.

### *Objects and Methods of Research*

*Study Area.* This research was carried out from March to October 2024 in Pahmungan Village, Pesisir Tengah District, Pesisir Barat Regency, Lampung Province, Indonesia (Fig. 1).

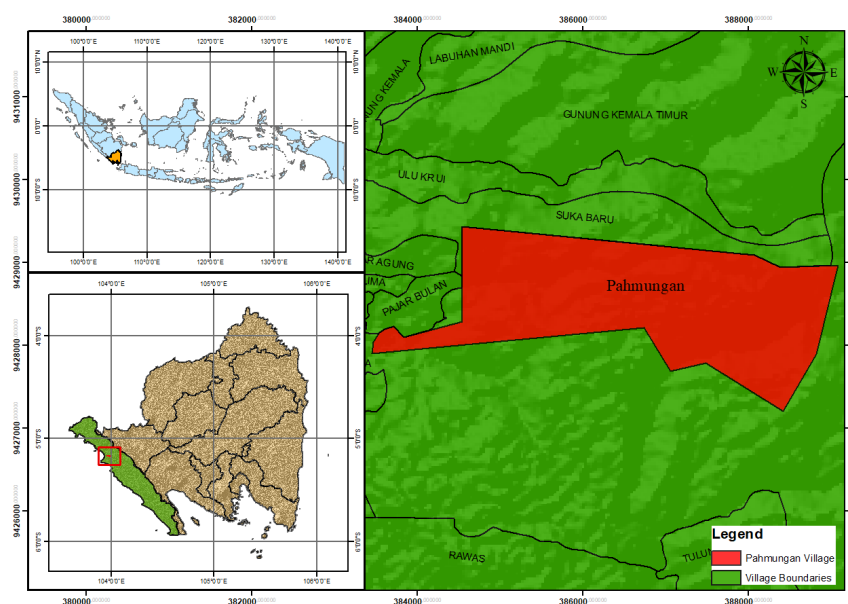


Fig. 1. Map of the research location

*Research Approach.* The study utilized a qualitative approach, as the research object is specific to the case and unique, focusing on the community-based management of *Repong Damar* agroforestry. These management practices are deeply intertwined with community culture that has persisted for generations. A qualitative framework allows for a profound understanding of the motivations and mechanisms through which communities maintain these agroforestry systems.

*Data Collection.* Primary data was collected through in-depth interviews and engaged observations, while secondary data was obtained through documentation studies. In-depth interviews were conducted with key informants from local villages to gather factual data regarding the management of *Repong Damar* agroforestry in the village. Participant observation was carried out with the direct involvement of researchers during *Repong Damar* management activities carried out by the local community. Documentation studies included gathering village profile data, activity reports, and information from various media sources (scientific journals, books, and

regulations) to establish a theoretical overview of the research area and its socio-cultural conditions. This method is used to collect data and information related to theory which includes an overview of the research area, population and socio-cultural conditions of the community, as well as data on the farming system at the research site.

*Sampling.* The selection of sample/key informant in this in-depth interview was performed using purposive sampling, based on their knowledge, experience, and involvement in *Repong Damar* management. Informants included the village head (1 person), community leaders (1 person), and farmers (7 people). The village head provided insights into general conditions and policies, while community leaders represented socio-cultural views. The farmers were selected as direct stakeholders who own and manage *Repong Damar*. These informants are considered representative, because of their involvement in the direct management of the *Repong Damar* land, providing comprehensive information on management practices and practical challenges.

*Data Analysis.* Data were analyzed qualitatively to explain the cultural elements of *Repong Damar* management based on the framework including language, knowledge systems, social organizations, technology, livelihoods, and religious systems [33]. The analysis process followed several stages:

- a. Collection of raw data from interviews, observations, and documents;
- b. Data transcription of interview recordings;
- c. Coding to identify key thematic elements;
- d. Data categorization to simplify and conceptualize findings;
- e. Drawing temporary conclusions;
- f. Triangulation to verify data validity and obtain objective results;
- g. Final conclusion through qualitative descriptive inference.

*Research Limitations.* The research focused on a single village with a specific group of key informants. As a qualitative study, it prioritizes in-depth case analysis over broad statistical generalization. Generalizations are made by identifying similarities with related studies rather than through sample-to-population inference. While potential subjectivity may exist in data interpretation, triangulation efforts were implemented to enhance the validity of the findings and strengthen the resulting conclusions.

### *Results and Discussion*

*Community Culture in the Management of Repong Damar Agroforestry.* The practice of Community-Based Forest Management (CBFM) in the *Repong Damar* agroforestry system reflects the local culture of Pahlungan Village. Its elements consist of knowledge systems, social organization, living tools and technology, livelihoods, and religious systems. According to Pearson et al. (2023), various local and indigenous communities manage their forests using methods passed down from generation to generation to maintain their culture without compromising resources for future generations [49].

*Repong Damar* agroforestry consists of *damar* (*Shorea javanica*), *duku* (*Lansium domesticum*), *durian* (*Durio zibethinus*), *petai* (*Parkia speciosa*), *jengkol* (*Archidendron pauciflorum*), *tangkil* (*Gnetum gnemon*), *nangka* (*Artocarpus heterophyllus*), etc. The dominant species is *damar*. These plants provide seasonal crops that are the main source of income for the community. The diversity of plant types allows the population to obtain products such as fruits, grains, and wood, enabling a single plot to provide multiple economic benefits. The outputs of this agroforestry system

contribute greatly to improving the welfare of the community. Income is earned sustainably because the harvest period of each type of crop is different, creating a continuous income stream throughout the year. All activities in society usually have aspects of binding values and norms [27, 56], which serve as guidelines for behavior and interaction with nature [45]. Culture is a complex whole comprising knowledge, beliefs, art, morals, and customary laws [72].

*The Knowledge System in the Management of Repong Damar Agroforestry.* The knowledge system in the management of *Repong Damar* agroforestry is fundamental to human life in small communities, especially where agriculture is the primary livelihood [34]. This system plays a key role in shaping the cultural characteristics of ethnic groups [30] and includes aspects such as understanding nature, traditional technology, and social rules [67]. Each ethnic group possesses distinct knowledge regarding the flora and fauna in its environment [14]. Local knowledge is acquired by the community through interaction with humans and natural resources and is often passed down from generation to generation [31, 41, 62]. This knowledge is a critical factor in natural resource management and ecosystem sustainability [19, 43, 70], often communicated through oral traditions and learning within families [35]. In the management of *Repong Damar* agroforestry, this system is applied during land clearing, nurseries, planting, maintenance, and the enforcement of prohibitions.

*The Formation Stages of Repong Damar Agroforestry.* Based on the knowledge of the local community, *Repong Damar* agroforestry was formed through several stages:

- *Darak phase* represents the initial stage in establishing a *damar* plantation. This phase begins with clearing the land of shrubs and bushes. During this stage, crop management activities are carried out to provide food supplies for farmers, particularly during the intensive maintenance required in the subsequent garden phase. During this stage, crop management activities, such as cultivating rice and other staple crops, are carried out. These activities not only support land preparation but also serve to provide food supplies for farmers, particularly during the intensive plant care required in the subsequent garden phase. *Rice* (*Oryza sativa*) and staple crops are generally planted only once or twice on the same land. Afterward, farmers shift their focus to managing commercial crops like *pepper* (*Piper nigrum*), *coffee* (*Coffea* sp.), or *cloves* (*Syzygium aromaticum*). The *darak phase* serves as a foundational buffer for the more productive stages that follow. Rooted in ancestral knowledge, local communities hold a strong belief that land in the *darak phase* retains high fertility, ensuring an abundant yield of sap in the future. This belief reflects deeply ingrained traditional values and continues to underpin the management of *Repong Damar* agroforestry systems.

- *Kebun phase* begins when *pepper* (*Piper nigrum*), *coffee* (*Coffea* sp.), or *cloves* (*Syzygium aromaticum*) have dominated the stands. This phase is conceptualized by farmers as a high-productivity phase, because they gain significant opportunities to improve their socio-economic well-being. *Kebun* products are usually not used for subsistence needs but are directed toward significant expenditures such as building houses, financing children's weddings, or buying additional agroforestry land. The community believes that if planting various types of plants on the sidelines of resin with a tight distance, it can increase resin fertility and produce quality sap.

- *Repong phase* is the final phase where the cleared forest land resembles a natural forest. Ecologically, this phase provides soil protection and improves the micro-

climate. This phase begins when the cleared forest land (both primary and secondary forests) will resemble natural forests. Ecologically, this phase has advantages such as soil protection, microclimate evolution, and so on. People begin to name their agricultural land with *repong* when the elements of diversity of perennial crops growing on it have been met; for example, *damar*, *duku*, *durian*, *petai*, *jengkol*, *melinjo*, *jack-fruit*, and so on. The community has the belief that the lush the existing vegetation, the more yield will be obtained, so that in its care, the community only cleans part of it and still leaves the main plant covered by shrubs.

*Nursery and Planting of Repong Damar Agroforestry.* *Damar* propagation can be done naturally or via the shoot cuttings technique. In natural nurseries, seeds that have reached optimal maturity are carefully selected. Some farmers choose the shoot cuttings method to achieve faster and more uniform results. Once the seeds have developed well, the seedlings are placed in the shade. According to Rivero et al., this shade is important to protect young seedlings from extreme temperature changes [54]. Additionally, shade helps maintain humidity and the microclimate around the seedlings [46]. Farmers adjust the planting distance according to the size of the canopy. Implementation of this system increases land productivity [55, 58], and planting distance is a key factor affecting plant production [74]. While spacing is not strictly fixed, the community believes that planting at a higher density will produce quality resin.

*Repong Damar Agroforestry Care and Prohibitions.* Maintenance involves weeding activities known as *Ngejukuk*, which is the cleaning of bushes around the *damar* trees. This knowledge comes from society's interaction with nature. After the seeds are planted, the next activity is maintenance. Usually, if the seeds planted are good, then within a week the seeds have begun to grow. This stage is also different from other agricultural systems, in other agricultural systems there are other treatments, such as fertilization and pesticide application. However, in this system, these activities are not carried out. If there is a pest attack, such as leafhopper pests, farmers usually know early because they always observe the growth of resin plants that have grown. The use of herbicides to eradicate weeds has been carried out since the beginning before planting, so that when the resin has grown, farmers usually carry out weeding activities or *Ngejukuk*. *Ngejukuk* is an activity involving cleaning the bushes around the *damar* trees. This knowledge comes from society which comes from interaction with nature [5]. Society has a clear and thorough conception of the characteristics of a plant and of the way in which these plants should be treated in agriculture.

There are strict prohibitions aimed at maintaining environmental balance:

- Prohibition of *Damar* Tree Felling

The community believes that cutting down trees indiscriminately brings misfortune. If a tree is cut accidentally, the owner must replace it by replanting at least ten trees on the same land.

- Prohibition of Selling *Damar* Plantations

A *damar* garden is an important heritage. It can only be sold under exceptional conditions, such as urgent health emergencies. Even then, customary rules stipulate that the original owner should buy the garden back in the future to maintain sustainability.

- Prohibition of Harvesting Immature *Damar* Resin

Tapping trees that have not reached productive age (under 15 years) is prohibited, as it damages the tree trunks and makes them susceptible to disease.

*Equipment in Damar Resin Harvesting.* The process of harvesting damar resin begins by injuring the resin stem using an axe, then letting the resin come out and harden in a few days (Fig. 2). After the resin hardens, farmers begin to harvest it by dredging the resin notches. *Damar* plants have about 5–15 notches in one tree. Farmers can harvest the resin in small quantities or called *nyukuk*. *Nyukuk* is a resin harvesting activity by taking one to four notches in one tree. The goal is to meet daily needs in small quantities. Furthermore, the dredged resin can be placed into an existing basket or bucket.









Fig. 2. *Damar* resin harvesting

Picking up resin in the upper notch can be done using an *ambon* tool. *Ambon* is shaped like a belt formed from rattan with a length of about 6 meters. This tool functions to help resin farmers climb trees so that they can reach higher places. After the damar resin is collected, farmers can carry it with a *bebalang*. Its function is to accommodate resin as well as to transport damar resin. This is made of rattan of different sizes, ranging from 25 to 100 kg. Its size is adjusted based on the needs of farmers.

In *damar* resin harvesting activities, farmers use various traditional tools, such as: *kapak*, *bakul*, *ambon*, dan *bebalang* (see table). These tools have an important role in the harvesting process, as they help farmers work more efficiently and maintain the quality of *damar* resin. People in farming need technology and tools that can facilitate daily activities. According to [50], the tool in question can be interpreted as technology, namely all instruments used by humans or a society to be able to live. These instruments can be in the form of production tools, means of transportation, weapons, jewelry, and so on.

Equipment and technology are always found in people's lives in helping their daily activities. This results from the natural products of the surrounding environment and is related to the level of knowledge or insight of the creator and its users. According to [53], the wider the community's knowledge, the more complex the living and technological system will be, and the higher the cultural civilization [51] stated the tools and utensils of human life are also influenced by the natural conditions in which they live. This need requires humans to always be creative in creating the system, so that humans are used to cultivating nature by using various tools in daily life.

*Damar resin harvesting tools*

<i>Damar resin harvesting tools</i>	Appearance	Description
<i>Kapak</i>		<p><i>Kapak</i> is a <i>damar</i> resin harvesting tool that functions to injure resin stems. Its blade is made of metal such as iron or steel, while the handle is made of wood</p>
Basket/ <i>Bakul</i>	 	<p><i>Bakul</i> is a traditional container made of rattan weaving, which serves to hold <i>damar</i> resin that has been dredged from tree trunks. Most farmers have now replaced <i>bakul</i> with buckets for practical reasons</p>
<i>Ambon</i>	 	<p><i>Ambon</i> is a traditional climbing rope made of rattan and has a length of about 6 meters. It serves to help farmers climb <i>damar</i> trees</p>
<i>Bebalang</i>		<p><i>Bebalang</i> is a traditional tool made of rattan weaving, serving as a container to collect and store resin obtained in large quantities</p>

*Repong Damar Agroforestry Livelihood System.* The community generates income by harvesting and selling damar resin. Resin sales typically take place at garden-level collectors. The selling process includes weighing, quality checking, and payment. Collectors offer prices ranging from Rp 26,000 to Rp 30,000 (USD 1.61 to USD 1.86) per kilogram, depending on the type and quality of the resin. High-quality resin can be priced as high as Rp 30,000 (USD 1.61) per kilogram, whereas lower-quality resin is valued at approximately Rp 16,000 (USD 0.99). Agroforestry acts as a primary source of livelihood for the community, offering economic benefits through commodities produced from the integration of agricultural crops, trees, and livestock [20, 64, 69].

The resin that has been sold, will then be sorted out. This activity is carried out to separate the resin according to its quality and quality. The results of resin sorting in Pahmungan Village are known to have five qualities consisting of quality A, B, AB, AC and dust. Quality A, which is resin that has a clear yellow color and is large. Quality B, is a resin that is clear yellow in color and has a relatively small chunk size. AB quality, is a resin that is slightly blackish and has a small size. AC quality, which is resin that is black and in the form of small granules. The quality of dust is a resin that has turned into powder. According to Zas et al. [73], the quality of resin can be affected by the quality and way of tapping.

*Damar* resin harvesting has been proven to provide economic benefits to the community [38]. In addition, the existence of fruit trees, which account for almost a quarter of the entire tree community, also plays a role in contributing additional income, although it is not generated on a monthly basis. In order to increase the income of the surrounding communities who have dependence on forest resources, it is necessary to plan well and consider socio-economic factors and the condition of the forest [1, 47].

*Social Organizations in the Management of Repong Damar Agroforestry.* *Repong damar* agroforestry can continue to develop in the community, because its management is regulated by customary rules. The regulation stipulates that *Repong Damar* land is generally inherited by the eldest son, based on the belief that the eldest son is believed to have full responsibility for distributing and managing the results of *Repong Damar* to his younger brother and family. According to Brondizio et al. [7], if the right of inheritance is given to the daughter, later they will get married, have a family and follow the husband, where their husband will get the property from his family. To be fairer, the parents distribute their inheritance to the eldest son of the man who is believed to have full responsibility for his family and also his younger siblings. However, if a family does not have the eldest male child, it can be inherited to his grandchildren or the next descendants.

In addition, in its management activities, the community establishes strong social rules in the sale of *Repong Damar* through a kinship system. This rule states that resin must not be sold directly to collectors. In this process, farmers are required to offer their harvest first to nuclear family or close relatives, before making transactions with outside parties. The goal is to strengthen social bonds and ensure that the benefits of produce can be felt by those closest to them. In addition, another reason is that the sales process is easy and the price can be adjusted. This social rule is in line with the research of [39], which explains that the closest and most intimate people are those who belong to the kinship unit, namely nuclear family or close relatives. Thus, this rule not only helps to maintain solidarity in the community but also

strengthens the relationship between members and preserves the tradition of kinship in the community.

*Religious System in Repong Damar Agroforestry Management.* The community sees *damar* forests as a gift of nature that must be cared for responsibly. In the management of *Repong Damar* agroforestry, the community carries out various religious traditions, including making offerings, praying, and sharing a blessed meal of food [2]. The religious system has an important role in the management of *Repong Damar* agroforestry by the community. This system is related to nature which helps maintain a balance between resource utilization and environmental sustainability [29]. According to [6], in religious systems there is a belief that trees have guardians or spirits that must be respected. Therefore, before clearing forests or planting new ones, people usually perform traditional rituals or ceremonies. The activity aims to ask for permission and protection from ancestors or forest guard spirits.

Beliefs and traditions play a driving role in ecosystem management. This is because it contains values, beliefs, and norms embraced by the community. These values influence how people utilize goods and services from ecosystems, so they are more likely to take actions that take into account sustainability and environmental balance [24, 68]. This practice shows their respect for the forest, while maintaining a spiritual connection with nature [16]. These activities are outlined in the *ngababali* and *ngumbai* traditions as follows:

1. The *ngababali* tradition is a sacred tradition carried out by indigenous peoples before clearing agricultural land or forests. This tradition aims to drive away evil spirits that are believed to inhabit the land. In addition, it is also done to ask permission from the waiters or guardian spirits in the area. Through *ngababali*, the community also asks for protection from dangers, both physical and supernatural, that can arise during the process of land clearing or forest management. Rituals not only serve as a way to maintain safety, but also as a form of respect for nature and spiritual forces that are believed to play a role in maintaining the balance of the ecosystem around the forest. According to [12], each land has a waiter that must be respected so that land clearing can take place without interruption.

2. The *ngumbai* tradition is a traditional ceremony carried out by the community, especially in the context of forest land management such as *Repong Damar* agroforestry. This ritual aims to strengthen the spiritual connection between humans and nature and to ask for blessings from the spirits of forest guards and ancestors. *Ngumbai* is usually carried out before the harvest season or when there are important activities involving land, such as planting or harvesting resin. In this ceremony, the community holds offerings and prayers. They would bring some food and fruits as an offering to nature, and eat together on the mountain. The tradition is carried out to ask for safety, smooth sustenance, and protection from bad things that may happen during activities in the forest. *Ngumbai* is also a form of respect for nature and supernatural forces that are believed to control the balance of the forest ecosystem; so that this practice strengthens beliefs and culture in maintaining the sustainability of natural resources in harmony.

*Community Cultural Sustainability in the Management of Repong Damar Agroforestry.* The Ministry of Forestry has published Decree of the Minister of Forestry Number 47/Kpts-II/1995 concerning *Kawasan Hutan dengan Tujuan Istimewa* (Forest Areas with Special Purposes). The policy has principles that contain: (1) recognition of the existence of *Repong Damar* which is the result of independent

cultivation by the Krui community and the forest is proven to be able to function as a forest, (2) people who have managed *Repong Damar* can bequeath *Repong Damar* to their children and grandchildren, (3) the community has full rights to *Repong Damar* which is located outside the state forest area. The Lampung Provincial Government regulates the management of *damar* by issuing Instruction of Lampung Governor Number 522/400/04/2006 concerning Preservation of *Damar* Trees, which then becomes a reference for Circular Letter from the Regent of Lampung Barat Number 522/450/ IV.05.3/2006 concerning Restrictions on *Damar* Logging. This was followed by the enactment of Law Number 15 of 2001 concerning *Merek Mengenai Indikasi Geografis*, which was later elaborated in Government Regulation Number 5 of 2007 concerning Geographical Indications. After that, it is enforced Decree of the Regent of West Pesisir Number B/278/KPTS/V.04/HK-PSB/2021 concerning Formation of the Geographical Indication Protection Society for *Damar* (*Shorea javanica*) Pesisir Barat Regency.

The *Repong Damar* agroforestry in Pesisir Barat Regency, Indonesia was recorded to have an area of 99,693 ha in 2018 [36]. Some *damar* trees have been cut down, especially over the past 15 years, due to the low and declining price of *damar* resin. This condition threatens the sustainability of resin-producing crops and triggers people to switch to other commodities, such as palm oil, which are more economically promising. Until now, the above government policies, both at the central and regional government levels, are considered ineffective in the implementation of *Repong Damar* agroforestry conservation [71].

The government, especially Regency Government of Pesisir Barat, can preserve *Repong Damar* agroforestry through a cultural preservation approach. This is considering that if the culture of the community is eroded, even lost, then the identity of the local community will also be lost. A study conducted by [63] shows how the loss of cultural systems in society, such as traditional skills, local ecological knowledge, and social ties, makes culture in a community erode.

Regency Government of Pesisir Barat has not explicitly stated that *Repong Damar* agroforestry is part of the culture of the local community. This is seen in Regulation of the Pesisir Barat Regency Number 9 of 2020 concerning Preservation of Traditional Culture and Promotion of Culture. The regulation states that the preservation of traditional culture in Pesisir Barat Regency is aimed at the following aspects: a) art, b) archaeology, museums and history, c) language and literature, d) traditional clothing, e) makeup, fashion and traditional ceremonies of the Pesisir Barat bride, f) building architecture, g) ancient literature and manuscripts, and h) culinary/typical food. In addition to discussing the preservation of traditional culture, the regional regulation also explains the promotion of culture aimed at the following aspects: a) oral traditions, b) manuscripts, c) customs, d) rites, e) traditional knowledge, f) traditional technology, g) art, h) language, i) folk games, and j) traditional sports. Based on aspects of cultural advancement, *Repong Damar* agroforestry is part of: customs, rites, traditional knowledge and traditional technology.

The preservation of *Repong Damar* agroforestry can also be done by making it an object of cultural tourism. To achieve optimal development results in the tourism sector, a clear vision and mission are needed as a basis for reference for the preparation of policies and strategies, in addition to coordination and integrated cooperation between government, private and community agencies [42]. The development of regional tourism needs to continue to preserve the environment of cultural values and

encourage efforts to improve the quality of the environment, strengthen identity, and still pay attention to the degree of humanity, morality and religion [75]. Through this preservation, the culture of the local community, especially in the management of *Repong Damar* agroforestry, is maintained and can be recognized by the government, so that the identity of the community is preserved [28].

Based on Regulation of the Pesisir Barat Regency Number 3 of 2017 concerning the Pesisir Barat Regency Regional Tourism Development Master Plan, cultural tourism is everything related to tourism, including the exploitation of tourist objects and attractions as well as related businesses in the field that utilize and develop selectively, planned and programmatically, cultural assets of the indigenous people of Pesisir Barat Regency, both values, customs, and physical cultural products as tourist objects and attractions. This regional regulation is an integral part and the development of national tourism and regional development is based on: a) Benefits, namely the optimal utilization of regional potential for tourism activities in the region so that it is effective and effective; b) Preservation, namely preserving regional culture and the richness of *alam* (nature) as a tourist attraction; c) Integration, which is creating arrangements for all tourism interests for the sake of harmony, harmony and balance; d) Sustainable, which is an effort to uphold the preservation and state of nature, culture and resources that are utilized so that the interests of tourism life can be carried out in a sufficiently adequate forum; and e) Science and Technology, which is the application of appropriate science and technology to be able to support tourism development in the region.

The integration of culture into laws and regulations can be done by adopting relevant principles, norms, and legal institutions. For example, the concept of customary rights and customary forests can be accommodated in government policies, by providing space for CBFM, so that its management can be used as a model for sustainable and equitable natural resource management [52]. Therefore, government policies are not only administrative, but also operational and actively involve the community [32]. Thus, the cultural identity of the community can remain alive and be inherited to future generations and indirectly the sustainability of *Repong Damar* agroforestry can be guaranteed. These systems have also proven to be important in maintaining ecological balance, such as maintaining catchment areas and preventing land degradation. Overall, the *Repong Damar* agroforestry system in Pahmungan Village is a clear example of sustainable forest management based on local culture that is able to combine economic, ecological, and social benefits for the local community.

### Conclusion

Community-based forest management is a vital component of sustainable development. It focuses not only on land management but is also deeply intertwined with the cultural system of the local community, especially regarding *Repong Damar* agroforestry. This culture is embedded in traditional knowledge systems, social organization, technological tools, livelihoods, and religious systems. To date, government policies at both central and regional levels remain ineffective in ensuring the long-term preservation of this system. The Regency Government of Pesisir Barat should apply a cultural preservation approach to land management to ensure its sustainability. Furthermore, the preservation of *Repong Damar* agroforestry can be enhanced by

promoting it as a cultural tourism object. The integration of cultural values into laws and regulations through the adoption of relevant principles, norms, and legal institutions is essential for providing space for community-based forest management, thereby creating a sustainable and equitable management model. Cultural preservation is critical for maintaining the identity of the community and ensuring its inheritance by future generations. By implementing these policies, the sustainability of *Repong Damar* agroforestry can be secured, providing significant social and economic benefits to local communities. Future research should focus on the analysis of cultural preservation policies in the management of *Repong Damar* agroforestry in the context of climate change.

#### REFERENCES

1. Adalina Y., Sawitri R. Vegetation Analysis, Physico-Chemical Properties and Economic Potential of Damar (*Agathis dammara*) in Mount Halimun Salak National Park, West Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 2020, no. 21(3), pp. 1122–1129. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210336>
2. Anderson D., De Souza J. The Importance and Meaning of Prayer Rituals at the End of Life. *British Journal of Nursing*, 2021, no. 30(1), pp. 34–39. <https://doi.org/10.12968/bjon.2021.30.1.34>
3. Asteria D., Alvernia P., Kholila B.N., Husein S.I., Asrofani F.W. Forest Conservation by the Indigenous Baduy Community in the Form of Customary Law. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 2024, no. 14(2), pp. 175–189. <https://doi.org/10.1108/jchmsd-12-2020-0171>
4. Baynes J., Herbohn J., Smith C., Fisher R., Bray D. Key Factors Which Influence the Success of Community Forestry in Developing Countries. *Global Environmental Change*, 2015, no. 35(4), pp. 226–238. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.09.011>
5. Berhane A.T. Indigenous Knowledge of Me'en Community Toward Natural Resource Conservation: A Socio-Philosophical Analysis. *An International Journal of Indigenous Peoples*, 2024, no. 20(1), pp. 55–66. <https://doi.org/10.1177/11771801241231638>
6. Boupapanya S., Hongsuwan P. Trees in Lao Myths and Beliefs: Roles and Symbolic Ecological Meanings Through the Aspects of Folklore. *Journal of Ecohumanism*, 2024, no. 3(4), pp. 834–845. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i4.3590>
7. Brondizio E.S., Aumeeruddy-Thomas Y., Bates P., Carino J., Fernández-Llamazares Á., Ferrari M.F., Shrestha U.B. Locally Based, Regionally Manifested, and Globally Relevant: Indigenous and Local Knowledge, Values, and Practices for Nature. *Annual Review of Environment and Resources*, 2021, no. 46(1), pp. 481–509. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-012127>
8. Cadman T., Maraseni T., Koju U.A., Shrestha A., Karki S. Forest Governance in Nepal Concerning Sustainable Community Forest Management and Red Panda Conservation. *Land*, 2023, no. 12(2), p. 493. <https://doi.org/10.3390/land12020493>
9. Candiottio L.Z.P., Leite M.D.C. Agroforestry Systems on Brazilian Legal Protected Lands: Permanent Preservation Areas (PPA) and Legal Reservation Areas (LRA). *Asian Journal of Geographical Research*, 2023, no. 6(1), pp. 15–34. <https://doi.org/10.9734/ajgr/2023/v6i1172>
10. Causadias J.M. What Is Culture, Systems of People, Places, and Practices. *Developmental Science*, 2020, no. 24(4), pp. 310–322. <https://doi.org/10.1080/10888691.2020.1789360>
11. Christmas S.K., Hardiyanti M., Prawira S.A. Role in the Forest Village Community-Based Forest Management Sustainable Development. *Journal of Judicial Review*, 2021, no. 23(1), pp. 115–128. <https://doi.org/10.37253/jjr.v23i1.4387>

12. Claridge L., Kobei D. Protected Areas Indigenous Rights and Land Restitution: The Ogiek Judgment of the African Court of Human and Peoples' Rights and Community Land Protection in Kenya. *Орух*, 2023, no. 57(3), pp. 313–324.

<https://doi.org/10.1017/s0030605322000989>

13. Cogné M., Lescuyer G. The Role of Agroforestry in Farmers' Strategies and Its Contribution to the Well-Being of Rural People in Timor-Leste. *Forests, Trees and Livelihoods*, 2024, no. 33(1), pp. 42–67. <https://doi.org/10.1080/14728028.2023.2298986>

14. Cottet M., François A., Moreau C., Lecaude C., Vukelic S., Rivière H.A., Evette A. Knowledge Influences Perceptions and Values of Nature-Based Solutions: The Example of Soil and Water Bioengineering Techniques Applied to Urban Rivers. *Anthropocene*, 2024, no. 45(22), pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100424>

15. De Foresta H., Kusworo A., Michon G., Djatmiko A. *When a Garden Looks Like a Forest: Typical Indonesian Agroforest – Society Contribution for Sustainable Development*. Bogor, International Center for Research in Agroforestry; Paris, Institut de Recherche pour le Développement, Jakarta, Ford Foundation, 2000.

16. De Pater C., Verschuuren B., Elands B., van Hal I., Turnhout E. Spiritual Values in Forest Management Plans in British Columbia and the Netherlands. *Forest Policy and Economics*, 2023, no. 51(2), p. 102955. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.102955>

17. Dmuchowski W., Baczevska-Dąbrowska A.H., Gworek B. The Role of Temperate Agroforestry in Mitigating Climate Change: A Review. *Forest Policy and Economics*, 2024, no. 159, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.103136>

18. Erbaugh J.T. Responsibilization and Social Forestry in Indonesia. *Forest Policy and Economics*, 2019, no. 109, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.102019>

19. Fa J.E., Watson J.E.M., Leiper I. Importance of Indigenous Peoples' Lands for the Conservation of Intact Forest Landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2020, no. 18, pp. 135–140. <https://doi.org/10.1002/fec.2148>

20. Febryano I.G., Sari Y.P., Herwanti S., Bintoro A. Planting Patterns in Rubber Agroforestry (*Hevea brasiliensis*) Developed by the Communities of Menggala Mas Village, Lampung Province, Indonesia. *Folia Forestalia Polonica*, 2024, no. 66(1), pp. 33–45. <https://doi.org/10.2478/ffp-2024-0004>

21. Haggard J., Pons D., Saenz L., Vides M. Contribution of Agroforestry Systems to Sustaining Biodiversity in Fragmented Forest Landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2019, no. 283, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.06.006>

22. Gould R.K., Soares T.M., Arias-Arévalo P., Cantú-Fernandez M., Baker D., Eyster H.N., Kwon R., Prox L., Rode J., Suarez A., Vatn A., Zúñiga-Barragán J. The Role of Value(s) in Theories of Human Behavior. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2023, no. 64. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101355>

23. Gunawan R., Febryano I.G., Bantara I., Yuwono S.B. Social Engineering in the Implementation of Forest and Land Rehabilitation in Girimulyo Village, Lampung Province. *Jurnal Belantara*, 2024, no. 7(1), pp. 111–125. <https://doi.org/10.29303/jbl.v7i1.969>

24. Harakan A., Pelizzo R., Kuzenbayev N. Traditional Beliefs and Electoral Behavior in Indonesia. *World Affairs*, 2023, no. 186(4), pp. 896–924. <https://doi.org/10.1177/00438200231203005>

25. Harly L.N.B. Sustainable Forest Management from the Perspective of Customary Law in Indonesia: A Case Study in the Bayan Community. *International Journal of Social Sciences and Humanities*, 2023, no. 1(1), pp. 32–42. <https://doi.org/10.55681/ijssh.v1i1.324>

26. Herwanti S., Febryano I.G., Zulfiani D. Economic Value Analysis of Community Forest Food Products in Ngarip Village, Ulu Belu Subdistrict, Tanggamus Regency (A Case from Indonesia). *Forestry Ideas*, 2019, no. 25(2), pp. 314–328.

<https://doi.org/10.30598/jhppk.2016.1.2.105>

27. Huang L., Jin C., Pan Y., Zhou L., Hu S., Guo Y., Lindenmayer D.B. Human Activities and Species Biological Traits Drive the Long-Term Persistence of Old Trees in Human-Dominated Landscapes. *Nature Plants*, 2023, no. 9(6), pp. 898–907. <https://doi.org/10.1038/s41477-023-01412-1>
28. Istiawati N.F., Susilo S., Ruja I.N., Widodo S. Construction of Krui Community Knowledge on Repong Damar Culture in Lampung's West Coast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, no. 412(1), p. 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/412/1/012005>
29. Janaki M., Pandit R., Sharma R.K. The Role of Traditional Belief Systems in Conserving Biological Diversity in the Eastern Himalaya Eco-region of India. *Human Dimensions of Wildlife*, 2021, no. 26(1), pp. 13–30. <https://doi.org/10.1080/10871209.2020.1781982>
30. Jiao W., Yang X., Li Y. Traditional Knowledge's Impact on Soil and Water Conservation in Mountain Agricultural Systems: A Case Study of Shexian Dryland Stone Terraced System, China. *Ecological Indicators*, 2024, no. 159, p. 111742. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111742>
31. Kapelari S., Alexopoulos G., Moussouri T., Sagmeister K.J., Stampfer F. Food Heritage Makes a Difference: The Importance of Cultural Knowledge for Improving Education for Sustainable Food Choices. *Sustainability*, 2020, no. 12(4), p. 1509. <https://doi.org/10.3390/su12041509>
32. Kiss B., Sekulova F., Hörschelmann K., Salk C.F., Takahashi W., Wamsler C. Citizen Participation in the Governance of Nature Based Solutions. *Environmental Policy and Governance*, 2022, no. 32(3), pp. 247–272. <https://doi.org/10.1002/et.1987>
33. Koentjaraningrat. *Pengantar Ilmu Antropologi*. Jakarta, Rineka Cipta Publ., 2015. 391 p. (In Indonesian).
34. Kuang F., Jin J., He R., Ning J., Wan X. Farmers' Livelihood Risks, Livelihood Assets and Adaptation Strategies in Rugao City, China. *Journal of Environmental Management*, 2020, no. 264, p. 110463. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110463>
35. Lam D.P., Hinz E., Lang D.J., Tengö M., von Wehrden H., Martín-López B. Indigenous and Local Knowledge in Sustainability Transformations Research: A Literature Review. *Ecology & Society*, 2020, no. 25(1). <https://doi.org/10.5751/ES-11305-250103>
36. Laura C.T., Darmawan A., Hilmanto R. Repong Damar Cover Detection in the Pesisir Barat of Lampung Using Satellite Remote Sensing Imagery. *Jurnal Hutan Tropis*, 2019, no. 7(3), pp. 247–260. <https://dx.doi.org/10.20527/jht.v7i3.7511>
37. Leduc G., Hansson H. Behavioural Factors for Farmers' Adoption of Agroforestry Practices in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, 2024, no. 47, pp. 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.023>
38. Lee S.M., Kim Y.S., Jaung W., Latifah S., Afifi M., Fisher L.A. Forests, Fuelwood and Livelihoods: Energy Transition Patterns in Eastern Indonesia. *Energy Policy*, 2015, no. 85, pp. 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.030>
39. Luo Y., Li Y., Li C., Wu Q. Influence of the Kinship Networks on Farmers' Willingness to Revitalize Idle Houses. *Sustainability*, 2023, no. 15(13), p. 10285. <https://doi.org/10.3390/su151310285>
40. Marini G.V., Healey J.R., Wong J.L., Stara K., Tsiakiris R., Halley J.M. When Nature Meets the Divine: Effect of Prohibition Regimes on the Structure and Tree Species Composition of Sacred Forests in Northern Greece. *Web Ecology*, 2020, no. 20(2), pp. 53–86. <https://doi.org/10.5194/we-20-53-2020>
41. Maura M.C.B.P., Iswandaru D., Kuswandono, Fitriana Y.R., Rohman F. Analysis of Community Knowledge on the Conservation of White-Winged Duck (*Asarcornis scutulata*) in Way Kambas National Park. *Jurnal Belantara*, 2024, no. 7(1), pp. 27–40. <https://doi.org/10.29303/jbl.v7i1.1035>
42. Mir M.A.M., Shelley B., Ooi C.S. Uses of Tourism Resources for Educational and Community Development: A Systematic Literature Review and Lessons. *Tourism Management Perspectives*, 2024, no. 53, p. 101278. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2024.101278>

43. Maulidyna A., Hartawan B.S., Agustin H.N., Irfan A.N., Septiasari A., Utina R., Setyawan A.D. The Role of Local Belief and Wisdom of the Bajo Community in Marine Conservation Efforts. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 2021, no. 11(1), pp. 50–63. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w110105>

44. McGrath D.G., Castello L., Almeida O.T., Estupinan G.M.B. Market Formalization, Governance, and the Integration of Community Fisheries in the Brazilian Amazon. *Society & Natural Resources*, 2015, no. 28, pp. 513–529. <https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1014607>

45. Megeirhi H.A., Woosnam K.M., Ribeiro M.A., Ramkissoon H., Denley T.J. Employing a Value-Belief-Norm Framework to Gauge Carthage Residents' Intentions to Support Sustainable Cultural Heritage Tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 2020, no. 28(9), pp. 1351–1370. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1738444>

46. Noor M., Fan J.B., Zhang J.X., Zhang C.J., Sun S.N., Gan L., Yan X.B. Effects of Shade Stress on Growth and Responsive Mechanisms of Bermudagrass (*Cynodon dactylon* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 2023, no. 42(7), pp. 4037–4047. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10920-5>

47. Nugraha L.M., Hakim L., Abdoellah O.S., Darmawan A., Winarno B. Socio-Ecological Effect of Transition Landscape Dynamics From Agroforests to Monoculture Plantation in Upper Citarum Watershed. *Jurnal Sylva Lestari*, 2024, no. 12(2), pp. 279–295. <https://doi.org/10.23960/jsl.v12i2.813>

48. Panda L.R., Uniyal A., Kukreti J., Singh N. The Role of Non-Timber Forest Products for Livelihood Diversification in Bundelkhand Region of Uttar Pradesh. *International Journal of Economic Plants*, 2024, no. 11(1), pp. 70–78. <https://doi.org/10.23910/2/2024.5005>

49. Pearson J., Jackson G., McNamara K.E. Climate-Driven Losses to Knowledge Systems and Cultural Heritage: A Literature Review Exploring the Impacts on Indigenous and Local Cultures. *The Anthropocene Review*, 2023, no. 10(2), pp. 343–366. <https://doi.org/10.1177/20530196211005482>

50. Pieper M. Technology as a Strategy of the Human? A Comparison Between the Extension Concept and the Fetish Concept of Technology. *Philosophy & Technology*, 2024, no. 37(1), p. 6. <https://doi.org/10.1007/s13347-024-00697-0>

51. Prigioniero A., Zuzolo D., Niinemets Ü., Guarino C. Nature-Based Solutions as Tools for Air Phytoremediation: A Review of the Current Knowledge and Gaps. *Environmental Pollution*, 2021, no. 277, p. 116817. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116817>

52. Rahayu S., Laraswati D., Permadi D.B., Sahide M.A.K., Maryudi A. Only a Noise? The Role of Non-Governmental Organizations in the Policy Processes of a New Social Forestry Model in Indonesia. *Small-Scale Forestry*, 2022, no. 22(2), pp. 253–270. <https://doi.org/10.1007/s11842-022-09525-9>

53. Redding G. Societal Knowledge Quality as Catalyst for the Competitive Productivity of Technology: One in a Set of Several Universal Processes in Trajectories of Societal Progress. *International Business Review*, 2023, no. 32(6), p. 102096. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2022.102096>

54. Rivero R.M., Mittler R., Blumwald E., Zandalinas S.I. Developing Climate-Resilient Crops: Improving Plant Tolerance to Stress Combination. *The Plant Journal*, 2022, no. 109(2), pp. 373–389. <https://doi.org/10.1111/tpj.15483>

55. Roslinda E., Prisila F.W., Mariani Y. The Patterns of Agroforestry and Its Contribution to the Community Income. *Jurnal Sylva Lestari*, 2023, no. 11(3), pp. 543–557. <https://doi.org/10.23960/jsl.v11i3.749>

56. Roux J.L., Konczal A.A., Bernasconi A., Bhagwat S.A., De Vreese R., Doimo I., Winkel G. Exploring Evolving Spiritual Values of Forests in Europe and Asia: A Transition Hypothesis Toward Re-spiritualizing Forests. *Ecology & Society*, 2022, no. 27(4), pp. 1–20. <https://doi.org/10.5751/es-13509-270420>

57. Rozaki Z., Rejeki T.M., Rahayu L., Ramli M.F. Farmers' Food Security in Forest and Peatland Fires Prone Areas of South Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Sylva Lestari*, 2023, no. 11(3), pp. 527–542. <https://doi.org/10.23960/jsl.v11i3.770>

58. Samrin S., Millang S., Ridwan Daud M. Land productivity and land equivalent ratio of agroforestry system in Marena Customary Forest, Enrekang Regency, South Sulawesi Province, Indonesia. *Jurnal Sylva Lestari*, 2024, no. 12(2), pp. 532–548. <https://doi.org/10.23960/jsl.v12i2.877>

59. Shiferaw A., Hebo M., Senishaw G. The spiritual ecology of sacred landscapes: Evidence from sacred forests of the Sebat Bête Gurage, Central-South Ethiopia. *Cogent Social Sciences*, 2023, no. 9(1), pp. 1–22. <https://doi.org/10.1080/23311886.2023.2210900>

60. Sharma A., Thakur D., Uniyal S.K. Taboos: aboos: Traditional beliefs and customs for resource management in the Western Himalaya. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 2021, no. 20(2), pp. 575–581. <https://doi.org/10.56042/ijtk.v20i2.29346>

61. Singh H.B., Yaipharembi N., Huidrom E., Devi C.A. Traditional Knowledge, Beliefs, and Practices Associated with Ethnic People of Manipur, North East India in Conservation of Biodiversity. *Traditional Ecological Knowledge of Resource Management in Asia*. Cham, Springer International Publ., 2023, pp. 61–75.

62. Sinthumule N.I. Traditional Ecological Knowledge and Its Role in Biodiversity Conservation: A Systematic Review. *Frontiers in Environmental Science*, 2023, no. 11, p. 1164900. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1164900>

63. Sinthumule N.I. Challenges Facing Traditional Ecological Knowledge in the Vhembe District Municipality in Limpopo Province, South Africa. *Social Sciences & Humanities Open*, 2024, no. 10, p. 101027. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101027>

64. Song B., Robinson G.M., Bardsley D.K., Xue Y., Wang B. Multifunctional Agriculture in a Peri-Urban Fringe: Chinese Farmers' Responses to Shifts in Policy and Changing Socio-Economic Conditions. *Land Use Policy*, 2023, no. 133, p. 106869. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106869>

65. Suyitno I., Pratiwi Y., Andajani K., Arista H.D. The Cultural Meaning in Ritual Traditions for the Character of Osing People Banyuwangi, Indonesia. *Qualitative Report*, 2023, no. 28(7), pp. 1–18. <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2023.6156>

66. Tarun M.T.G., Gumiran I.G., Peñafior B.L. Cultivating Multifaceted Participation in the Community-Based Forest Management (CBFM) Program in Communities of Northern Isabela. *American Journal of Environment and Climate*, 2024, no. 3(2), pp. 91–105. <https://doi.org/10.54536/ajec.v3i2.3262>

67. Varghese J., Crawford S.S. A Cultural Framework for Indigenous, Local, and Science Knowledge Systems in Ecology and Natural Resource Management. *Ecological Monographs*, 2020, no. 91(1). <https://doi.org/10.1002/ecm.1431>

68. Yeshey P., Ford R.M., Keenan R.J., Nitschke C.R. Religious Beliefs and Wildlife Value Orientations Influence Tolerance of Wildlife Impacts in Bhutan. *Human Dimensions of Wildlife*, 2024, no. 29(3), pp. 300–318. <https://doi.org/10.1080/10871209.2023.2234389>

69. Wibowo N., Harianto S.P., Dewi B.S., Febryano I.G. Integration of Local Technology in Damar Damar Harvesting: Case Study of Harvesting Culture in Pahlungan Village, Lampung. *Makila*, 2024, no. 18(2), pp. 325–337. <https://doi.org/10.30598/makila.v18i2.15410>

70. Williams P.A., Sikutshwa L., Shackleton S. Acknowledging Indigenous and Local Knowledge to Facilitate Collaboration in Landscape Approaches – Lessons From a Systematic Review. *Land*, 2020, no. 9(33), pp. 1–17. <https://doi.org/10.3390/LAND9090331>

71. Wulandari C., Rahmawaty, Putra E.T.S., Isnurdiansyah, Rahayu S. Agroforestri Damar Mata Kucing di Lampung dan Agroforestri Kemenyan di Sumatra Utara: Kearifan lokal yang mendukung keberlanjutan kehidupan masyarakat dan lingkungan. *Agroforestri Nusantara*, 2023, vol. 1. Bogor, World Agroforestry (ICRAF). 180 p. (In Indonesian).

72. Yudistira R., Nurcaya N., Julhadi J., Pattiasina P.P.J. The Role of Linguistics and Local Wisdom on Knowing Harmony Between Religions at Tana Toraja. *Muslim Heritage*, 2022, no. 7(2), pp. 409–431. <https://doi.org/10.21154/muslimheritage.v7i2.5023>

73. Zas R., Quiroga R., Touza R., Vázquez-González C., Sampedro L., Lema M. Damar Tapping Potential of Atlantic Maritime Pine Forests Depends on Tree Age and Timing of Tapping. *Industrial Crops and Products*, 2020, no. 157, p. 112940. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112940>

74. Zhang J., Basso B., Price R.F., Putman G., Shuai G. Estimating Plant Distance in Maize Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *PLOS ONE*, 2018, no. 13(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195223>

75. Zhao X., Elahi E., Wang F., Xing H., Khalid Z. Sustainable Tourism Development for Traditional Chinese Drama's Intangible Cultural Heritage. *Heliyon*, 2024, no. 10(3), e25483. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25483>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 635.92:632.937.31:582.477.2

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-28-43

## Пигментный состав хвои можжевельника при интродукции в Нижегородское Поволжье

**Н.Н. Бессчетнова**<sup>1</sup>✉, *д-р с.-х. наук*; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

**В.П. Бессчетнов**<sup>1</sup>, *д-р биол. наук*; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

**Н.А. Бабич**<sup>2</sup>, *д-р с.-х. наук*; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-2519>

**А.С. Вилков**<sup>1</sup>, *ассистент*; ResearcherID: [NVM-7287-2025](https://orcid.org/0009-0006-4586-1957),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4586-1957>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный агротехнологический университет, просп. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; [besschetnova1966@mail.ru](mailto:besschetnova1966@mail.ru)✉, [lesfak@bk.ru](mailto:lesfak@bk.ru), [and.vilckow@yandex.ru](mailto:and.vilckow@yandex.ru)

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; [forest@narfu.ru](mailto:forest@narfu.ru)

Поступила в редакцию 21.02.25 / Одобрена после рецензирования 19.05.25 / Принята к печати 20.05.25

**Аннотация.** Исследовали сортовую специфику пигментного состава хвои представителей рода Можжевельник (*Juniperus* L.) при интродукции в Нижегородское Поволжье. Актуальность работы обусловлена острой потребностью в создании эффективно действующих систем озеленения городов с обеспечением стабилизации экологической обстановки на урбанизированных территориях. Объектом изучения служили репродуктивно зрелые растения декоративных форм и сортов можжевельника на опытном участке с координатами 56°14'30" с. ш. 43°57'16" в. д. Предметом стало содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое тестируемых растений. Первичная информация собрана полевым стационарным и лабораторным методами с использованием спектрофотометра СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Фиксировали максимумы спектров поглощения хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов при длинах волн 665, 649 и 452,5 нм соответственно. Концентрации указанных веществ вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма для 96%-го этанола. Установлена заметная фенотипическая неоднородность сравниваемых форм и сортов по пигментному составу ассимиляционного аппарата. Так, по общей сумме светочувствительных пигментов типичная форма можжевельника казацкого (2,86±0,072 мг/г) значительно превосходила сорт Минт Джулеп (2,30±0,078 мг/г). Фенотипические различия, зафиксированные в опыте, оказались существенными по всем рассматриваемым характеристикам фотосинтетического аппарата, что выявил дисперсионный анализ:  $F_{оп} = 8,14 \dots 47,78$  ( $F_{05/01} = 1,98/2,60$ ). Влияние межсортовых различий на фенотипическую дисперсию лежит в пределах от 23,16±2,85 % (сумма пигментов) до 63,89±1,34 % (доля хлорофилла *a* в пигментном составе). Кластерный анализ с построением дендрограмм сгруппировал исследуемые сортообразцы в 3 разновеликих кластера.

**Ключевые слова:** можжевельник, *Juniperus* L., хвоя, пигментный состав, хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, каротиноиды, дисперсионный анализ, кластерный анализ

© Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич Н.А., Вилков А.С., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

*Для цитирования:* Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Бабич Н.А., Вилков А.С. Пигментный состав хвои можжевельника при интродукции в Нижегородское Поволжье // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 28–43. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-28-43>

Original article

## Pigment Composition of Juniper Needles During Introduction to the Nizhny Novgorod Volga Region

*Natalia N. Besschetnova*<sup>1✉</sup>, *Doctor of Agriculture*; ResearcherID: [H-1343-2019](https://orcid.org/0000-0002-7140-8797),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7140-8797>

*Vladimir P. Besschetnov*<sup>1</sup>, *Doctor of Biology*; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-7464>

*Nikolai A. Babich*<sup>2</sup>, *Doctor of Agriculture*; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7463-2519>

*Andrei S. Vilcov*<sup>1</sup>, *Assistant*; ResearcherID: [NVM-7287-2025](https://orcid.org/0009-0006-4586-1957),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4586-1957>

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technological University, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107; [besschetnova1966@mail.ru](mailto:besschetnova1966@mail.ru)<sup>✉</sup>, [lesfak@bk.ru](mailto:lesfak@bk.ru), and [vilckow@yandex.ru](mailto:vilckow@yandex.ru)

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; [forest@narfu.ru](mailto:forest@narfu.ru)

---

*Received on February 21, 2025 / Approved after reviewing on May 19, 2025 / Accepted on May 20, 2025*

---

**Abstract.** The varietal specificity of representatives of the genus Juniper (*Juniperus* L.) in the pigment composition of needles during introduction to the Nizhny Novgorod Volga region was studied. The relevance of the work is due to the urgent need to create effective urban landscaping systems that ensure the stabilization of the environmental background in urbanized areas. The object of the study was reproductively mature plants of ornamental forms and varieties representing a number of species in the genus under consideration. The accounting plants are located at the experimental site with coordinates 56°14'30" N, 43°57'16". The subject of the study was the content and ratio of plastid pigments in the needles of the tested plants. The primary information was collected by a stationary field and laboratory method using an SF-2000 spectrophotometer with GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4 software. The absorption spectra of chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, and carotenoids were recorded at wavelengths of 665, 649, and 452.5 nm, respectively. The concentrations of these substances were calculated using the Wetstein and Holm equations for 96 % ethanol. A noticeable phenotypic heterogeneity of the compared forms and varieties in the pigment composition of the assimilation apparatus has been established. Thus, in terms of the total amount of photosensitive pigments, the results of the typical form of Cossack juniper (2.86±0.072 mg/g) significantly exceeded the corresponding parameter of the Mint Julep variety (2.30±0.078 mg/g). The phenotypic differences recorded in the experiment turned out to be significant for all the characteristics of the photosynthetic apparatus under consideration, as revealed by the analysis of variance:  $F_{\text{exp}} = 8.14...47.78$  ( $F_{0.05/0.01} = 1.98/2.60$ ). The effect of intersort differences in the formation of phenotypic dispersion was determined in the range from 23.16±2.85 % (total amount of pigments) to 63.89±1.34 % (proportion of chlorophyll-*a* in the total pigment composition). Cluster analysis with the construction of dendrograms grouped the studied cultivars into 3 clusters of different sizes.

**Keywords:** juniper, *Juniperus* L., needles, pigment composition, chlorophyll-*a*, chlorophyll-*b*, carotenoids, analysis of variance, cluster analysis

**For citation:** Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Vilkov A.S. Pigment Composition of Juniper Needles During Introduction to the Nizhny Novgorod Volga Region. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 28–43. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-28-43>

### Введение

Рост масштабов загрязнения атмосферы Земли, в т. ч. парниковыми газами, представляет собой проблему глобального характера [12, 14]. Данные процессы касаются и воздушного бассейна населенных мест, в которых многоуровневые системы озеленения рассматриваются как эффективное средство ослабления экологической напряженности [14, 18]. Их ядром традиционно признаются насаждения из деревьев и кустарников различного функционала и конструкций [16]. Для обеспечения наиболее полной реализации насаждениями санитарно-гигиенических, декоративно-эстетических и рекреационно-бальнеологических функций в их состав вводятся представители инорайонной дендрофлоры [4, 10, 17]. В число привлекаемых видов входят декоративные формы и сорта рода Можжевельник (*Juniperus* L.), хорошо зарекомендовавшие себя на обширной территории Евразии, включая Российскую Федерацию. В таксономическом плане они относятся к однодомным либо двудомным растениям семейства Кипарисовые (Cupressaceae Gray) и в границах ареала используются в хозяйственной сфере, преимущественно в озеленении и паркостроении. Имея жизненную форму дерева, крупного или стелющегося кустарника, успешно вписываются в городской ландшафт. Однако значительный список аспектов их практического применения в Нижегородском Поволжье освящен недостаточно. Весомым фактором, сдерживающим массовое привлечение перспективных экзотов для решения обозначенных задач, является отсутствие достаточного объема сведений об особенностях их биологии в местах расселения. По этой причине в регионе востребованы исследования признаков, имеющих не только хозяйственное, но и адаптационное или идентификационное значение.

Цель исследования – выявить видоспецифичность пигментного состава хвои представителей рода Можжевельник в условиях городских посадок при интродукции в Нижегородское Поволжье.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили репродуктивно зрелые растения декоративных форм и сортов видов рода Можжевельник: сорт 1 – М. казацкий тамариксолистный (*J. sabina* L. var. *Tamariscifolia*); сорт 2 – М. чешуйчатый, сорт Блю Карпет (*J. squamata* Lamb. var. *'Blue Carpet'*); сорт 3 – М. чешуйчатый, сорт Майери (*J. squamata* Lamb. var. *'Meyeri'*); сорт 4 – М. средний, сорт Минт Джулеп (*J. ×media* Van Melle var. *'Mint Julep'*); сорт 5 – М. казацкий, типичная форма (*J. sabina* L. *typical form*); 6 – М. горизонтальный, сорт Джейд Ривер (*J. horizontalis* Moench var. *Jade River*); сорт 7 – М. скальный, сорт Блю Эрроу (*J. scopulorum* Sarg. var. *'Blue Arrow'*); сорт 8 – М. виргинский, сорт Грей Оул (*J. virginiana* L. var. *'Grey Owl'*); сорт 9 – М. обыкновенный, типичная форма (*J. communis* L. *typical form*). Изученные растения дислоцированы на коллекционном участке Нижегородского государственного агротехнологического университета с координатами 56°14'30" с. ш. 43°57'16" в. д. и абсолютной высотой 141 м. Территория принадле-

жит к району хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части Российской Федерации. Сложившиеся здесь лесорастительные условия благоприятны для большого числа видов хвойных деревьев и кустарников, включая интродуценты, в частности представителей анализируемого в нашей работе ассортимента [1–3].

Методологической платформой исследования служили принципы единственного логического различия, типичности, пригодности, надежности и целесообразности опыта. Для каждого сорта (декоративной или типичной формы) установлена одинаковая агротехника посадки и выращивания, использован однотипный вид исходного материала (5-летние черенковые саженцы в 5-кратной повторности). Единые схемы рандомизированного размещения рассматриваемых объектов на местности позволили реализовать принципы случайности, равномерности и повторяемости учетных растений. Устранение возможного влияния хронографического фактора на формирование их фенотипической изменчивости обеспечивалось сравнением только одновозрастных образцов – и растений, и одновременно заготовки на них 1-летней хвои. Элиминация дифференцирующего эффекта пестроты экологических условий достигалась сравнением объектов и отделяемых от них биологических проб только в пределах одного опытного участка. Соблюдение указанных требований исключало возможность преимуществ в условиях произрастания и формирования морфометрических и физиологических характеристик для какого-либо из объектов. Теоретическим постулатом при выдвигении гипотезы о возможности интродукции представителей рода Можжевельник (*Juniperus* L.) в Среднее Поволжье и перспективности их интеграции в хозяйственное использование служили сведения о местном климате и почвах [1–3], об обнадеживающих результатах переноса в регион экземпляров близкородственных видов и родов семейства кипарисовые, в частности, биоты восточной (*Platycladus orientalis* (L.) Franco) [6, 13], туи западной (*Thuja occidentalis* L.) [7], туевика поникающего (*Thujopsis dolabrata* (Thunb. ex L. f.) [15] и собственно можжевельника (*Juniperus* L.) [21], продемонстрировавших достаточный адаптационный потенциал и положительный итог семенного и вегетативного размножения.

Исследование проведено полевым стационарным и лабораторным методами с учетом апробированных методических схем организации работ и построения выборок. Предметом выступала специфика содержания и баланса пластидных пигментов в хвое форм и сортов можжевельника. Побеги для ее заготовки отбирали в периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны, отбраковывая образцы с видимыми аномалиями развития и признаками поражения биотическими или абиотическими факторами. Методики лабораторного опыта были построены на классических работах в указанной сфере [30–32, 34, 36, 38]. Техническим средством исследования служил отечественный спектрофотометр СФ-2000 с программным обеспечением GRASS GIS 7.6.1 / QGIS 3.4. Максимумы спектров поглощения хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов отмечали при длинах волн 665, 649 и 452,5 нм соответственно [22]. Учитывая возможность их некоторого смещения под влиянием оптических свойств экстрагента использовали его эталон, а концентрации веществ в сырой массе хвои вычисляли по уравнениям Ветштейна и Хольма для 96%-го этанола [22, 31, 34, 38]. Сырую и абсолютно сухую массу навески определяли на прецизионных аналитических весах Acculab Vicon VIC-300d3 с точностью до 0,001 г. Помимо

установления непосредственных показателей концентрации пластидных пигментов расчетным путем находили отношение содержания хлорофиллов *a* и *b* к содержанию каротиноидов, их долю в пигментном составе, общее количество пигментов и другие параметры. Такой прием является общепринятым [29, 30, 31, 36], а использование производных признаков традиционно в лесоводственных [9, 11, 20, 25, 26] и биологических [8, 24] исследованиях.

Статистическая обработка первичной лесоводственной информации выполнена в соответствии с методическими рекомендациями отечественных [19] и зарубежных авторов [27, 37]. Кластерный и факторный анализы проведены по обычно используемым алгоритмам [19].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Расположенные на опытном участке особи (биологический возраст 15 лет) демонстрировали заметную фенотипическую неоднородность в содержании и соотношении пигментов ассимиляционного аппарата, что зафиксировано по всем анализируемым признакам как между последовательно сравниваемыми формами и сортами, так и на уровне индивидуальной изменчивости в границах формы/сорта.

Так, по содержанию хлорофилла *a* (табл. 1) сравниваемые формы и сорта демонстрировали заметную фенотипическую неоднородность. Наибольшее среднее значение принадлежит сорту Grey Owl можжевельника виргинского, а наименьшее – типичной форме можжевельника обыкновенного. Разница составила 0,34 мг/г, или 1,449 раза. Аналогичные оценки других сортов с той или иной степенью плотности были сосредоточены вокруг обобщенного для них значения  $0,92 \pm 0,011$  мг/г.

Таблица 1

**Содержание хлорофилла *a* в хвое можжевельника**  
**Chlorophyll-*a* content in juniper needles**

Сорт	M	СКО	max	min	$\Delta$ lim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	1,03	0,14	1,34	0,76	0,58	0,028	13,43	37,24	2,69
2	1,03	0,15	1,59	0,86	0,73	0,031	15,04	33,23	3,01
3	0,94	0,16	1,38	0,74	0,64	0,033	17,41	28,72	3,48
4	0,92	0,08	1,07	0,79	0,28	0,016	8,70	57,50	1,74
5	0,89	0,13	1,21	0,70	0,52	0,026	14,48	34,52	2,90
6	0,84	0,07	1,05	0,72	0,33	0,015	8,89	56,24	1,78
7	0,79	0,04	0,86	0,71	0,15	0,009	5,65	88,53	1,13
8	1,11	0,12	1,38	0,88	0,49	0,024	10,80	46,29	2,16
9	0,76	0,09	1,01	0,63	0,37	0,019	12,22	40,91	2,44
<i>Общее</i>	0,92	0,16	1,59	0,63	0,96	0,011	17,17	87,35	1,14

Примечание: M – среднее, мг/г; СКО – среднеквадратическое отклонение, мг/г; max, min – абсолютные максимум и минимум соответственно, мг/г;  $\Delta$ lim – диапазон лимитов, мг/г;  $\pm m$  – ошибка выборочного среднего, мг/г; Cv – коэффициент вариации, %; P – точность опыта, %; t – t-критерий Стьюдента; число первичных единиц выборки каждого сортообразца – 25.

Накопление хлорофилла *b* (табл. 2) в клетках ассимиляционного аппарата при заметном разбросе в целом мало зависело от предыдущего показа-

теля:  $\bar{x} \pm m_x = 0,0397 \pm 0,2771$  ( $t_x = 0,14$ ). При этом его наивысшая концентрация ( $1,76 \pm 0,055$  мг/г), зафиксированная у типичной формы можжевельника казацкого, в 1,742 раза, или на 0,75 мг/г, превосходила наименьшую ( $1,01 \pm 0,054$  мг/г), наблюдавшуюся у тамариксолистной формы того же вида. Итоговое для всего комплекса форм и сортов среднее, достигшее  $1,37 \pm 0,025$  мг/г, равноудалено от указанных предельных значений.

Таблица 2

**Содержание хлорофилла *b* в хвое можжевельника**  
**Chlorophyll-*b* content in juniper needles**

Сорт	M	СКО	max	min	$\Delta$ lim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	1,01	0,27	1,91	0,64	1,27	0,054	26,42	18,92	5,28
2	1,46	0,41	2,40	0,85	1,56	0,082	28,11	17,78	5,62
3	1,56	0,47	2,62	0,90	1,73	0,093	29,98	16,68	6,00
4	1,09	0,30	1,63	0,61	1,02	0,061	27,69	18,05	5,54
5	1,76	0,28	2,29	1,07	1,23	0,055	15,68	31,90	3,14
6	1,25	0,17	1,72	0,97	0,74	0,034	13,60	36,76	2,72
7	1,50	0,20	1,91	1,20	0,71	0,040	13,46	37,15	2,69
8	1,15	0,17	1,39	0,79	0,61	0,033	14,32	34,91	2,86
9	1,57	0,28	2,11	1,17	0,94	0,057	17,97	27,83	3,59
<i>Общее</i>	1,37	0,38	2,62	0,61	2,01	0,025	27,65	54,25	1,84

Присутствие в хвое рассматриваемых растений каротиноидов (табл. 3) зависело от наличия в ней зеленых пигментов:  $\bar{x} \pm m_x = 0,6328 \pm 0,2148$  (хлорофилл *a*) и  $\bar{x} \pm m_x = -0,4610 \pm 0,2461$  (хлорофилл *b*). Такая теснота связи по шкале Чеддока оценивалась как положительная заметная в первом случае и отрицательная умеренная – во втором. Содержание указанных пигментов ограничено оценками от  $0,14 \pm 0,008$  мг/г у типичной формы можжевельника обыкновенного до  $0,31 \pm 0,012$  мг/г у тамариксолистной формы можжевельника казацкого. На фоне обобщенного по всем формам и сортам значения ( $0,25 \pm 0,005$  мг/г) различия между ними достигли 0,17 мг/г, или 2,235 раза.

Таблица 3

**Содержание каротиноидов в хвое можжевельника**  
**Carotenoid content in juniper needles**

Сорт	M	СКО	max	min	$\Delta$ lim	$\pm m$	Cv, %	t	P, %
1	0,31	0,06	0,46	0,22	0,24	0,012	18,99	26,33	3,80
2	0,30	0,06	0,46	0,21	0,25	0,012	19,34	25,86	3,87
3	0,25	0,06	0,41	0,12	0,29	0,012	24,22	20,64	4,84
4	0,29	0,04	0,37	0,21	0,15	0,009	14,80	33,79	2,96
5	0,21	0,07	0,42	0,13	0,29	0,013	32,07	15,59	6,41
6	0,26	0,04	0,33	0,20	0,13	0,007	13,74	36,38	2,75
7	0,21	0,03	0,27	0,15	0,12	0,006	13,49	37,05	2,70
8	0,30	0,06	0,42	0,19	0,23	0,011	18,59	26,90	3,72
9	0,14	0,04	0,21	0,06	0,15	0,008	28,85	17,33	5,77
<i>Общее</i>	0,25	0,07	0,46	0,06	0,40	0,005	29,19	51,39	1,95

В большинстве случаев полученные сведения статистически достоверны: расчетный *t*-критерий Стьюдента превосходил минимально допустимые показатели на принятом уровне значимости, а относительная ошибка опыта не превышала критический 5%-й предел. По остальным признакам были установлены сходные взаимозависимости и аналогичные соотношения для испытываемых сортообразцов при индивидуальности каждого из них.

Поскольку все обнаруженные в ходе наблюдений фенотипические различия между формами и сортами сформировались на фоне выровненных условий их произрастания – климатических, почвенных, пространственно-временных, технологических и прочих, то возникла возможность признать эндогенный характер их причин. Результаты однофакторного дисперсионного анализа подтвердили это (табл. 4). Существенность обнаруженных различий обосновывается фактическими критериями Фишера ( $F_{\text{он}} = 8,14 \dots 47,78$ ), которые превысили минимально допустимый предел как на 5%-м, так и на 1%-м уровнях значимости ( $F_{05/01} = 1,98/2,60$ ). На этом основании вычисляли эффективность организованного фактора (в нашем случае – межсортные различия) при формировании общего фона фенотипической дисперсии. В расчетах по алгоритму Плохинского наибольшие величины характерны для оценок долевого участия в пигментном составе хлорофиллов *a* и *b*:  $h^2 \pm s_h^2 = 63,89 \pm 1,34$  % ( $F_h^2 = 47,78$ ) и  $h^2 \pm s_h^2 = 63,58 \pm 1,35$  % ( $F_h^2 = 47,13$ ) соответственно. Наименьшие – для оценок суммарного содержания пластидных пигментов:  $h^2 \pm s_h^2 = 25,74 \pm 2,75$  % при  $F_h^2 = 9,36$  (сумма хлорофиллов *a* и *b*) и  $h^2 \pm s_h^2 = 23,16 \pm 2,85$  % при  $F_h^2 = 8,14$  (общая сумма пигментов). Алгоритм Снедекора дал сопоставимый (и даже несколько больший) результат.

Таблица 4

**Существенность различий в пигментном составе хвои форм и сортов можжевельника**  
**Significance of differences in needle pigment composition among juniper forms and cultivars**

Признак	Критерий Фишера $F_{\text{он}}$	Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_h^2$ )				Критерий различий	
		по Плохинскому		по Снедекору			
		$h^2$	$\pm s_h^2$	$h^2$	$\pm s_h^2$	$HCP_{05}$	$D_{05}$
1	24,27	0,4734	0,0195	0,4821	0,0192	0,065	0,105
2	18,28	0,4037	0,0221	0,4087	0,0219	0,166	0,269
3	9,36	0,2574	0,0275	0,2505	0,0278	0,204	0,329
4	30,60	0,5312	0,0174	0,5421	0,0170	0,028	0,046
5	37,68	0,5826	0,0155	0,5947	0,0150	0,095	0,154
6	15,23	0,3607	0,0237	0,3628	0,0236	0,663	1,071
7	26,87	0,4988	0,0186	0,5086	0,0182	1,708	2,757
8	47,78	0,6389	0,0134	0,6517	0,0129	0,020	0,033
9	47,13	0,6358	0,0135	0,6485	0,0130	0,030	0,049
10	32,21	0,5440	0,0169	0,5552	0,0165	0,012	0,020
11	31,20	0,5361	0,0172	0,5471	0,0168	0,015	0,025
12	8,14	0,2316	0,0285	0,2222	0,0288	0,204	0,330

Примечание:  $F_{05/01}$ ,  $F_{\text{он}}$  – табличный и расчетный критерии Фишера соответственно ( $F_{05/01} = 1,98/2,60$ );  $h^2 \pm s_h^2$  – доля влияния фактора с ошибкой;  $F_h^2$  – достоверность влияния фактора;  $HCP_{05}$  – наименьшая существенная разность;  $D_{05}$  – критерий Тьюки; число учетов каждого признака – 225 первичных единиц выборки; общий объем базы данных – 2700 дата-единиц.

Признаки 1, 2 – содержание хлорофиллов *a* и *b* соответственно; 3 – суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b*; 4 – содержание каротиноидов; 5–7 – отношение содержания хлорофиллов *a* и *b*, хлорофилла *a* и каротиноидов, хлорофилла *b* и каротиноидов соответственно; 8–10 – доли хлорофилла *a*, *b* и каротиноидов соответственно; 11 – отношение содержания каротиноидов к сумме хлорофиллов *a* и *b*; 12 – общее содержание пластидных пигментов.

В целом удается заключить, что межсортовые различия содержания и отношения пластидных пигментов, связанные с видоспецифичностью растений, велики и неодинаковы в разрезе тестируемых признаков. Последнее обстоятельство может служить свидетельством разницы в глубине контроля со стороны генотипа над их фенотипическим проявлением.

Исход предшествующих этапов работы (см. табл. 1–4) сделал возможной комплексную оценку степени сходства/различий рассматриваемых сортообразцов с привлечением методов многопараметрических сравнений. Факторный анализ позволил сгруппировать 12 исходных характеристик пигментного состава хвои в 2 независимые главные компоненты.

Отсечение переменных, начальные собственные значения которых были ниже 1 и в большинстве приближены к 0, надежно (рис. 1). При этом начальные собственные значения вычлененных в указанном порядке главных компонент оказались ощутимо выше критического уровня, равного 1. В каждую из них вошли переменные, описывающие пигментный состав хвои исследуемых растений, корреляции между которыми минимальны. При этом внутри одной компоненты объединены наиболее взаимосвязанные признаки.

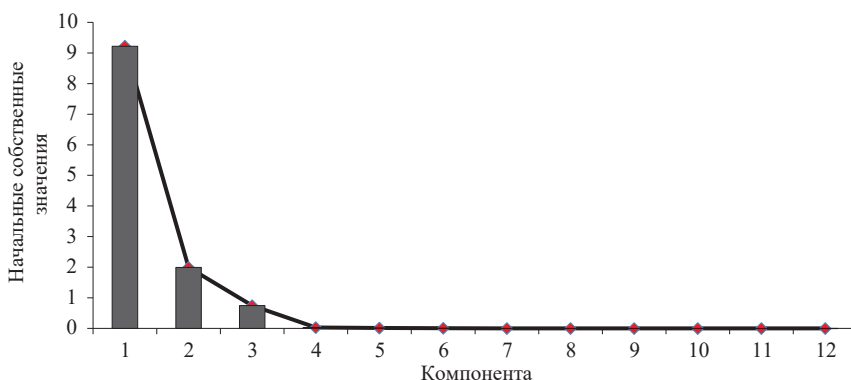


Рис. 1. Отсечение главных компонент факторного анализа пигментного состава

Fig. 1. Clipping of the principal components of the factor analysis of pigment composition

Распределение исходных переменных пигментации хвои по главным компонентам произошло вполне логично (табл. 5). Первая объединила характеристики концентраций, их соотношения и доли участия пигментов, вторая – характеристики, связанные с содержанием хлорофилла *b*. Редукция начального числа действенных факторов выполнена обоснованно: доля общей дисперсии, приходящейся на главные компоненты (98,187 %), преобладала и значительно превышала критическое для данного анализа значение (75 %). Итог факторного анализа верифицирует его успешность и позволяет использовать полученные главные компоненты в качестве независимых (с минимальной корреляцией между ними) переменных, описывающих характеристики пигментного состава хвои форм и сортов можжевельника в дальнейшем многопараметрическом анализе.

Таблица 5

**Матрица повернутых компонент факторного анализа по 12 признакам пигментного состава хвои форм и сортов можжевельника**  
**Rotated component matrix from the factor analysis of 12 needle pigment traits in juniper forms and cultivars**

Характеристика пигментного состава ассимиляционного аппарата (исходные переменные)	Компонента	
	1	2
Содержание хлорофилла <i>a</i>	0,914	–
Содержание хлорофилла <i>b</i>	–	0,736
Суммарное содержание хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	–	0,958
Содержание каротиноидов	0,984	–
Отношение концентраций хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	0,872	–
Отношение концентраций хлорофилла <i>a</i> и каротиноидов	–0,796	–
Отношение концентраций хлорофилла <i>b</i> и каротиноидов	–0,917	–
Доля хлорофилла <i>a</i>	0,877	–
Доля хлорофилла <i>b</i>	–0,904	–
Доля каротиноидов	0,904	–
Отношение концентраций каротиноидов и хлорофиллов	0,903	–
Суммарное содержание пластидных пигментов	–	0,999
Начальные собственные значения главных компонент	9,219	1,994
Доля дисперсии главных компонент, %	76,824	16,618
Кумулятивная дисперсия главных компонент, %	93,442	

Иерархическая кластеризация, выполненная с использованием метода межгрупповых связей на основе исходных признаков пигментного состава фотосинтезирующего аппарата и адекватных им главных компонент, завершилась визуализацией с помощью дендрограмм.

Этапы кластеризации (табл. 6) отражали порядок шагов объединения многомерных объектов в кластеры и последовательность формирования единой иерархической системы. Заметно, что дистанции между ее структурными элементами неодинаковы: от 2,8484 до 38,6770 единицы расчетной шкалы анализа и от 1,84 до 25,00 масштабных единиц для графических построений 25-разрядной шкалы. Достигнутый результат вскрыл неоднородность структуры сложившейся агломерации и наличие в ней хорошо оформленных группировок, в различной степени отдаленных друг от друга в многомерном пространстве признаков.

Таблица 6

**Порядок кластеризации форм и сортов можжевельника по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава их ассимиляционного аппарата**  
**Clustering of juniper forms and cultivars based on 12 normalized needle pigment characteristics**

Этап	Шаг агломерации		Коэффициент		Этап появления 1-го кластера	
	кластер 1	кластер 2	дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2
1	1	4	2,848	1,84	0	0
2	2	3	3,548	2,29	0	0

Окончание табл. 6

Этап	Шаг агломерации		Коэффициент		Этап появления 1-го кластера	
	кластер 1	кластер 2	дистанция примыкания	единицы масштаба	кластер 1	кластер 2
3	1	8	5,671	3,67	1	0
4	6	7	8,581	5,55	0	0
5	2	6	11,246	7,27	2	4
6	5	9	14,005	9,05	0	0
7	1	2	19,767	12,78	3	5
8	1	5	38,677	25,00	7	6

На этом основании можно признать достаточность аргументов для выделения в рассматриваемом наборе форм и сортов можжевельника таких, которые наиболее сходны по комплексу характеристик пигментного состава.

На дендрограмме рис. 2 отчетливо обозначились 3 разновеликих кластера (отмечено зеленым). В первый (сравнительно плотный) вошли *J. sabina* L. var. *Tamariscifolia*, *J. ×media* Van Melle var. 'Mint Julep', *J. virginiana* L. var. 'Grey Owl'; во второй (наиболее крупный) – *J. squamata* Lamb. var. 'Blue Carpet', *J. squamata* Lamb. var. 'Meyeri', *J. horizontalis* Moench var. 'Jade River', *J. scopulorum* Sarg. var. 'Blue Arrow'; в третий (самый малочисленный) – *J. sabina* L. typical form, *J. communis* L. typical form. Аналогичный результат получен при повторении принятого алгоритма с использованием в качестве анализируемых переменных выделенных на этапе факторного анализа главных компонент пигментного состава хвои сравниваемых форм и сортов можжевельника (табл. 7).

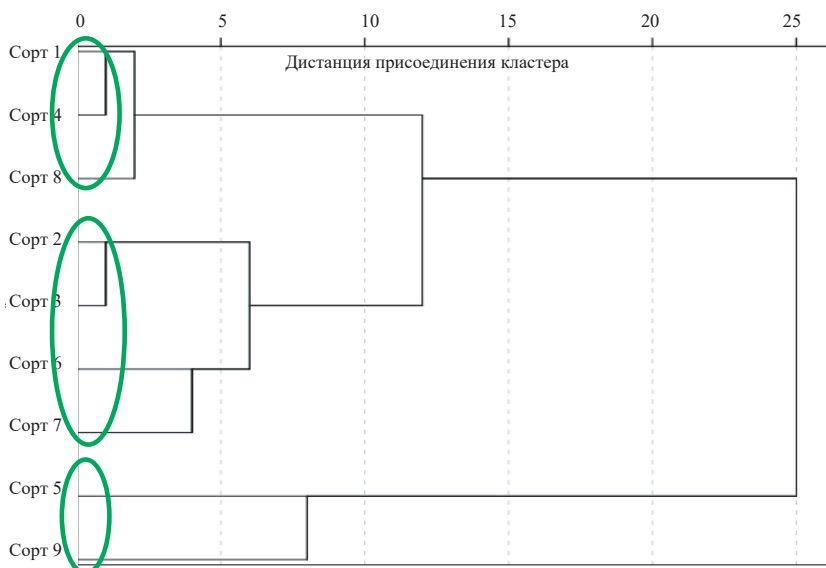


Рис. 2. Дендрограмма сходства декоративных форм и сортов можжевельника, построенная по нормированным значениям 12 признаков пигментного состава хвои

Fig. 2. Dendrogram of the similarity of decorative forms and varieties of juniper, constructed according to the normalized values of 12 signs of the pigment composition of the needles

Таблица 7

**Порядок кластеризации форм и сортов можжевельника по главным компонентам пигментного состава ассимиляционного аппарата**  
**Clustering of juniper forms and cultivars based on principal components of needle pigment composition**

Этап	Шаг агломерации		Коэффициент		Этап появления 1-го кластера	
			дистанция примыкания	единицы масштаба		
	кластер 1	кластер 2			кластер 1	кластер 2
1	1	4	0,400	1,94	0	0
2	2	3	0,565	2,74	0	0
3	1	6	0,939	4,55	1	0
4	7	9	1,189	5,76	0	0
5	2	8	1,351	6,54	2	0
6	2	5	2,420	11,72	5	0
7	1	7	4,459	21,59	3	4
8	1	2	5,163	25,00	7	6

На дендрограмме рис. 3 также можно выделить 3 кластера: *J. sabina* L. var. *Tamariscifolia*, *J. ×media* Van Melle var. 'Mint Julep', *J. horizontalis* Moench var. 'Jade River'; *J. scopulorum* Sarg. var. 'Blue Arrow', *J. communis* L. typical form; *J. squamata* Lamb. var. 'Blue Carpet', *J. squamata* Lamb. var. 'Meyeri', *J. virginiana* L. var. 'Grey Owl', *J. sabina* L. typical form. При допустимых расхождениях в порядке объединения рассматриваемых форм и сортов на обеих дендрограммах можно заметить устойчиво сохранившиеся группы: *J. sabina* L. var. *Tamariscifolia* имел минимальное расстояние от *J. ×media* Van Melle var. 'Mint Julep', *J. squamata* Lamb. var. 'Blue Carpet' и *J. squamata* Lamb. var. 'Meyeri' вошли в стабильную пару.

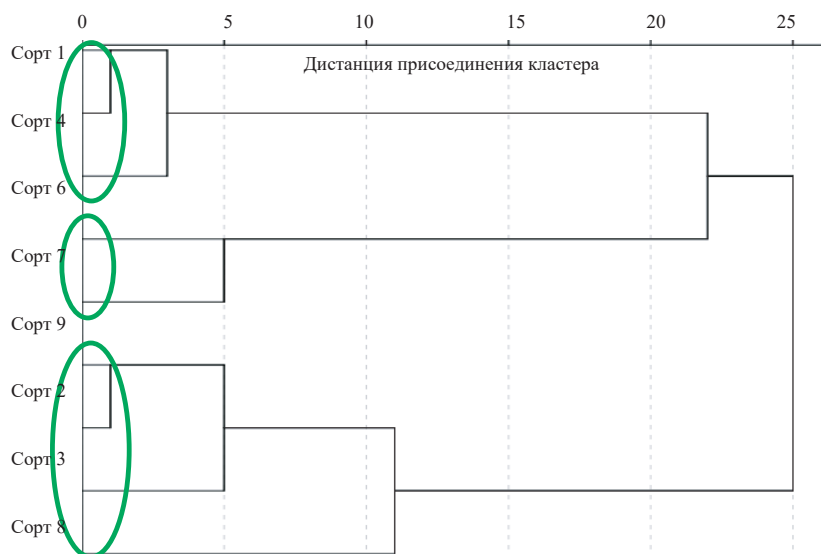


Рис. 3. Дендрограмма сходства декоративных форм и сортов можжевельника, построенная по 2 главным компонентам признаков пигментного состава хвои

Fig. 3. Similarity dendrogram for ornamental juniper forms and cultivars, based on two principal components of needle pigment characteristics

Типичная форма можжевельника казацкого в обоих вариантах анализа максимально отличалась от остальных образцов. То есть кластерный анализ пигментного состава форм и сортов можжевельника выявил неодинаковую степень их сходства в указанном плане. При этом сорта, относящиеся к одному виду, демонстрировали близость комплекса характеристик в многомерном пространстве признаков и образовывали устойчивые группировки (пары). Напротив, представители разных видов, отличающиеся друг от друга биологически, чаще оказывались в разных кластерах. Столь устойчивое сохранение смысловой нагрузки итогов процедуры кластеризации, проводимой по различным алгоритмам, подтверждает ее корректность.

Можно констатировать, что характеристики пигментного состава ассимиляционного аппарата видов можжевельника отличались неоднородностью. Фенотипическая изменчивость фиксировалась как на уровне сопоставляемых форм и сортов, так и между особями в пределах формы/сорта. Если в первом случае изменчивость можно признать обусловленной эндогенными причинами (спецификой генотипов), то во втором причинами индивидуальных различий выступали экзогенные факторы или внутриклоновые флуктуации ненаследственной природы в пределах нормы реакции генотипа исходной особи, от которой произошли вегетативные потомки. Принято считать, что для одного клона отсутствуют четко выраженные закономерности изменчивости признаков [23, 28, 33, 35, 37, 39–41], в т. ч. характеристик листового аппарата [5], включая пигментный состав [7]. В то же время различия в указанных параметрах между вегетативными потомками разных по происхождению особей могут быть существенными [5, 7].

### *Выводы*

1. Декоративные формы и сорта видов можжевельника неодинаковы по широкому спектру характеристик пигментного состава ассимиляционного аппарата. Различия проявились как между представителями разных клоновых групп, так и на уровне индивидуальной фенотипической изменчивости особей в пределах каждой из них. В первом случае видимая дисперсия обусловлена эндогенными факторами и в значительной степени связана со спецификой генотипов, в то время как во втором – представляет собой ненаследуемые флуктуации внутри клона, генерируемые внешними условиями.

2. Комплексные сравнения исследованного ассортимента растений с привлечением методов многопараметрического анализа (факторного и кластерного) показали неодинаковую степень сходства/различий между представителями разных декоративных форм и сортов, что на фоне значительной наследственной обусловленности их признаков указывает на зависимость между проявлениями последних и принадлежностью к разным видам рода Можжевельник. Таксономически близкие по своему происхождению сорта устойчиво входили в состав одной и той же группы в структуре иерархической системы, в то время как представители разных видов оказывались в ее несовпадающих кластерах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Аверкиев Д. С.* История развития растительного покрова Горьковской области и ее ботанико-географическое деление // Уч. зап. Горьковск. ун-та. 1954. Вып. XXXV. С. 119–136.

Averkiev D.S. The History of the Development of the Vegetation Cover of the Gorky Region and its Botanical and Geographical Division. *Uchenye zapiski Gor'kovskogo universiteta* = Scientific notes of the Gorky University, Gorky, 1954, iss. XXXV, pp. 119–136. (In Russ.).

2. *Алехин В.В.* Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) бывшей Нижегородской губернии (в масштабе 1:500.000). Л.; Горький: Горьковск. гос. ун-т – 1-я картографическая фабрика ВКТ (тип. 1 картогр. фабрики ВКТ). 1935. 67 с.

Alyokhin V.V. *Explanatory Note to Geobotanical Maps of the (Modern and Restored) Former Nizhny Novgorod Province (on a scale of 1:500.000)*. Leningrad – Gorky: Gorky State University – 1 Cartographic factory of the CGT (Type 1 Cartographic Factory of the CGT), 1935. 67 p. (In Russ.).

3. *Алехин В.В.* Растительность СССР в основных зонах. М.: Сов. наука, 1951. 512 с.  
Alekhin V.V. *Vegetation of the USSR in the Main Zones*. Moscow, Sovetskaya Nauka Publ., 1951. 512 p. (In Russ.).

4. *Базилевская Н.А.* Теории и методы интродукции растений. М.: Московск. гос. ун-т, 1964. 131 с.

Bazilevskaya N.A. *Theories and Methods of Plant Introduction*. Moscow, Moscow State University Publ., 1964. 131 p. (In Russ.).

5. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П.* Изменчивость морфометрических признаков хвои на клоновой плантации плюсовых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вавиловск. журн. генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 2. С. 198–206.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Variability of Morphometrical Characteristics of Needles at a Clonal Plantation of Plus Trees of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 198–206. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/VJ17.237>

6. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бабич Н.А.* Пигментный состав хвои биоты восточной при интродукции на территорию Российской Федерации и Республики Казахстан // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 3. С. 63–77.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kentbayeva B.A., Kentbayev Ye.J., Babich N.A. Pigment Composition of the Needles of *Platyclusus Orientalis* During Introduction to the Territory of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 3, pp. 63–77. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-3-63-77>

7. *Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Котынова М.Ю.* Сезонный характер содержания пигментов в хвое туи западной в условиях Нижегородской области // Тр. С.-Петерб. науч.-исследоват. ин-та лесн. хоз-ва. 2022. № 3. С. 38–58.

Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kotynova M.Yu. The Seasonal Nature of the Pigment Content in the Needles of the Northern White-Cedar in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region. *Trudy SPbNILH* = Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry, 2022, no. 3, pp. 38–58. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21178/2079-6080.2022.3.3>

8. *Вайс А.А.* Аллометрические закономерности соотношения фитомассы хвои и диаметров деревьев в сосновых разнополнотных древостоях Приангарского района // Междунар. журн. экспериментальн. образования. 2015. № 11, ч. 2. С. 303–304.

Waiss A.A. Allometric Patterns of the Ratio of the Phytomass of Needles and Tree Diameters in the Pine Stands of the Angara Region. *Mezhdunarodnyi zhurnal ehksperimental'nogo obrazovaniya* = International Journal of Experimental Education, 2015, no. 11, part 2, pp. 303–304. (In Russ.).

9. *Видякин А.И.* Индексная оценка признаков популяционной структуры сосны обыкновенной // Лесоведение. 1991. № 1. С. 57–62.

Vidyakin A.I. Index Assessment of the Characteristics of the Population Structure of the Common Pine. *Lesovedenie* = Forestry Science, 1991, no. 1, pp. 57–62. (In Russ.).

10. Воробьев Р.А., Тебенкова Д.Н. Развитие вегетативных и генеративных органов представителей рода Ель (*Picea* L.), интродуцированных в Нижегородской области // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2013. № 7. С. 97–105.

Vorobyov P.A., Tebenkova D.N. Development of Vegetative and Generative Organs of Representatives of the Genus Spruce (*Picea* L.), Introduced in the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Vestnik* = Forestry Bulletin, 2013, no. 7, pp. 97–105. (In Russ.).

11. Грабовский В.В., Зуkert Н.В., Корзухин М.Д. Оценка индекса листовой поверхности для территории России по данным государственного лесного реестра // Лесоведение. 2015. № 4. С. 255–259.

Grabovsky V.V., Zukert N.V., Korzukhin M.D. Assessment of the Index of Leaf Surface for the Territory of Russia According to the State Forest Register. *Lesovedenie* = Forestry Science, 2015, no. 4, pp. 255–259. (In Russ.).

12. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экологической политики России, 1995. 156 с.

Isaev A.S., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Environmental Problems of Carbon Dioxide Absorption Through Reforestation and Afforestation in Russia Publ.*, Moscow, Tsentr Ekhkologicheskoy Politiki Rossii Publ., 1995. 156 p. (In Russ.).

13. Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Мурадов К.П. Содержание и соотношение пластидных пигментов в хвое биоты Восточной при интродукции // Хвойные бореал. зоны. 2024. Т. 42, № 3. С. 13–22.

Kentbayeva B.A., Kentbayev E.J., Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Muradov K.P. The Content and Ratio of Plastid Pigments in the Needles of the *Platycladus Orientalis* During Introduction. *Khvoynye borealnoy zony* = Conifers of the Boreal Area, 2024, vol. 42, no. 3, pp. 13–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-3-13-22>

14. Коммонер Б. Замыкающийся круг: Природа, человек, технология. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 279 с.

Commoner B. *The Closing Circle: Nature, Man, Technology*. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 279 p. (In Russ.).

15. Кудряшов В.С. Влияние стимуляторов роста на укоренение и развитие черенков туевика поникающего // Лесное хозяйство: стратегия и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практ. онлайн конф. с Междунар. участием. Н. Новгород: Нижегородск. гос. агротехнол. ун-т им. Л.Я. Флорентьева, 2025. С. 305–315.

Kudryashov V.S. The Influence of Growth Stimulants on the Rooting and Development of Cuttings of the Drooping Tuber. *Forestry: Strategy and Development Prospects. Materyaly of the All-Russian Scientific and Practical Online Conferens With International Participation*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Technological University named after L.Ya. Florentyev, 2025, pp. 305–315. (In Russ.).

16. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с.

Kulagin Yu.Z. *Woody Plants and the Industrial Environment*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 125 p. (In Russ.).

17. Лапин П.И. Теория и практика интродукции древесных растений в средней полосе Европейской части СССР // Бюл. Глав. ботанич. сада. 1971. Вып. 81. С. 60–69.

Lapin P.I. Theory and Practice of the Introduction of Woody Plants in the Middle Zone of the European Part of the USSR. *Vyulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* = Bulletin of the Main Botanical Garden, 1971, iss. 81, pp. 60–69. (In Russ.).

18. Ляховенко О.И., Чулков Д.И. Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения // Русская политология – Russian political science. 2017. № 3(4). С. 21–26.

Lyakhovenko O.I., Chulkov D.I. The Main Environmental Problems of Russian Cities and Their Resolution Strategy. *Russkaya Politologiya* = Russian Political Science, 2017, no. 3, iss. 4, pp. 21–26. (In Russ.).

19. Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 272 с.

Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Methods and Techniques of Processing Forestry Information*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 272 p. (In Russ.).

20. Усольцев В.А., Плюха Н.И., Цепордей И.С. Отношение диаметра кроны к диаметру ствола: всеобщие модели лесообразующих видов Евразии // Хвойные бореальной зоны. 2024. Т. 42, № 1. С. 36–42.

Usoltsev V.A., Plukha N.I., Tsepordey I.S. The Ratio of Crown Diameter to Trunk Diameter: Universal Models of Forest-Forming Species of Eurasia. *Khvoynye borealnoy zony* = Conifers of the Boreal Zone, 2024, vol. 42, no. 1, pp. 36–42. (In Russ.).

<https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-1-36-42>

21. Шишкина В.П., Вилков А.С. Наличие каротиноидов в хвое декоративных форм и сортов можжевельника в городских насаждениях Нижнего Новгорода // Лесн. хоз-во: стратегия и перспективы развития: материалы Всерос. науч.-практ. онлайн конф. с Междунар. участием. Н. Новгород: Нижегородск. гос. агротехнол. ун-т им. Л.Я. Флорентьева, 2025. С. 435–449.

Shishkina V.P., Vilkov A.S. The Presence of Carotenoids in Conifers of Decorative Forms and Varieties of Juniper in Urban Plantations of Nizhny Novgorod. *Forestry: Strategy and Development Prospects. Materyaly of the All-Russian Scientific and Practical Online Conference With International Participation*. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Technological University Named After L.Ya. Florentyev, 2025, pp. 435–449. (In Russ.).

22. Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов *a* и *b* // Биохимия. 1968. Т. 33, вып. 2. С. 275–285.

Shlyk A.A. On the Spectrophotometric Determination of Chlorophylls *a* and *b*. *Biokhimiya* = Biochemistry, 1968, vol. 33, iss. 2, pp. 275–285. (In Russ.).

23. Bentzer B.G., Foster G.S., Hellberg A.R., Podzorski A.G. Genotype × Environment Interaction in Norway Spruce Involving Three Levels of Genetic Control: Seed Source, Clone Mixture, and Clone. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, vol. 18, iss. 9, pp. 1172–1181. <https://doi.org/10.1139/x88-180>

24. Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Babich N.A., Bryntcev V.A. Differentiation of the Plus Trees of Scots Pine on the Physiological Status of Xylem. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 9–25.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-9-25>

25. Binotto A.F., Lúcio A.D.C., Lopes S.J. Correlations Between Growth Variables and the Dickison Quality Index in Forest Seedlings. *Cerne*, 2010, vol. 16, no. 4, pp. 457–464. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400005>

26. Dawkins H.C. Crown Diameters: Their Relation to Ibole Diameter in Tropical Forest Trees. *Commonwealth Forestry Review*, 1963, vol. 42, pp. 318–333.

27. Dean A., Voss D., Draguljić D. *Design and Analysis of Experiments (Springer Texts in Statistics)*. 2nd Edition, Kindle Edition. Heidelberg, Germany, Springer-VerlagGmbH, 2017. 865 p.

28. Hayatgheibi H., Haapanen M., Lundströmer J., Berlin M., Kärkkäinen K., Helmersson A. The Impact of Drought Stress on the Height Growth of Young Norway Spruce Full-Sib and Half-Sib Clonal Trials in Sweden and Finland. *Forests*, 2021, vol. 12, iss. 4, art. no. 498, pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/F12040498>

29. Houppis J.L.J., Surano K.A., Cowles S., Shinn J.H. Chlorophyll and Carotenoid Concentrations in Two Varieties of *Pinus ponderosa* Seedlings Subjected to Long-Term Elevated Carbon Dioxide. *Tree Physiology*, 1988, vol. 4, iss. 2, pp. 187–193.

<https://doi.org/10.1093/treephys/4.2.187>

30. Lichtenthaler H.K. Chlorophyll *a* and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, vol. 148: Plant Cell Membranes, pp. 350–382.

31. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls *a* and *b* of Leaf Extracts in Different Solvents. *Biochemical Society Transactions*, 1983, vol. 11, no. 6, pp. 591–592.

32. Lidholm J., Gustafsson P. A Functional Promoter Shift of a Chloroplast Gene: A Transcriptional Fusion Between a Novel *psbA* Gene Copy and the *trnK(UUU)* Gene in *Pinus contorta*. *The Plant Journal*, 1992, vol. 2, iss. 6, pp. 875–886.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1992.t01-4-00999.x>

33. Pliura A., Zhang S.Y., Mackay J., Bousquet J. Genotypic Variation in Wood Density and Growth Traits of Poplar Hybrids at Four Clonal Trials. *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 238, iss. 1–3, pp. 92–106. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.082>

34. Porra R.G., Thomson W.A., Kriedemann P.E. Determination of Accurate Extinction Coefficients and Simultaneous Equations for Assaying Chlorophylls *a* and *b* Extracted With Four Different Solvents: Verification of the Concentration of Chlorophyll Standards by Atomic Absorption Spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1989, vol. 975, pp. 384–394. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80347-0](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0)

35. Randall W.K., Cooper D.T. Predicted Genotypic Gains From Cottonwood Clonal Tests. *Silvae Genetica*, 1973, vol. 22, pp. 165–167.

36. Rosenthal S.I., Camm E.L. Photosynthetic Decline and Pigment Loss During Autumn Foliar Senescence in Western Larch (*Larix occidentalis*). *Physiology*, 1997, vol. 17, no. 12, pp. 767–775. <https://doi.org/10.1093/treephys/17.12.767>

37. Shukla G.K. Some Statistical Aspects of Partitioning Genotype-Environment Components of Variability. *Heredity*, 1972, vol. 29, iss. 2, pp. 237–245.

<https://doi.org/10.1038/hdy.1972.87>

38. Wellburn A.R. The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as Well as Total Carotenoids, Using Various Solvents With Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology*, 1994, vol. 144, iss. 3, pp. 307–313.

[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)

39. Wu J., Zhou Q., Sang Y., Kang X., Zhang P. Genotype-Environment Interaction and Stability of Fiber Properties and Growth Traits in Triploid Hybrid Clones of *Populus tomentosa*. *BMC Plant Biology*, 2021, no. 21, art. no. 405, pp. 1–20.

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-132369/v1>

40. Yu Q., Pulkkinen P., Rautio M., Haapanen M., Alen R., Stener L.-G., Beuker E., Tigerstedt P. Genetic Control of Wood Physiochemical Properties, Growth and Phenology in Hybrid Aspen Clones. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, vol. 31, iss. 8, pp. 1348–1356. <https://doi.org/10.1139/x01-066>

41. Zhang P.D., Wu F., Kang X.Y., Zhao C.G., Li Y.J. Genotypic Variations of Biomass Feedstock Properties for Energy in Triploid Hybrid Clones of *Populus tomentosa*. *BioEnergy Research*, 2015, vol. 8, iss. 4, pp. 1705–1713. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9622-1>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 630\*182.5+630\*228.82

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-44-58

## Формирование надземной фитомассы сосны и ели в лесонасаждениях на постагrogenных землях

*Д.А. Данилов, д-р с.-х. наук, проф.*; ResearcherID: [S-7007-2019](https://orcid.org/0000-0002-7504-5743),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-5743>

*А.А. Яковлев*<sup>✉</sup>, *канд. с.-х. наук, доц.*; ResearcherID: [AAR-5081-2021](https://orcid.org/0000-0001-8450-2806),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-2806>

*И.А. Крылов, аспирант*; ResearcherID: [ADM-9554-2022](https://orcid.org/0000-0001-7122-2418),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7122-2418>

*С.А. Суворов, аспирант*; ResearcherID: [AAC-9497-2022](https://orcid.org/0000-0002-4429-8131),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-8131>

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия, 194021; stown200@mail.ru, artem95692@gmail.com<sup>✉</sup>, diesdthebest@yandex.ru, sergey\_suvorov1999@mail.ru

---

*Поступила в редакцию 10.03.25 / Одобрена после рецензирования 03.06.25 / Принята к печати 07.06.25*

---

**Аннотация.** Исследование древесной растительности, сформировавшейся на постагrogenных землях, направлено на оценку ее ресурсного потенциала с целью возможного вовлечения в лесное хозяйство. Ключевым индикатором продуктивности таких территорий служит надземная фитомасса, анализ которой позволяет определить объем депонированного углерода, что имеет особую значимость в контексте глобальных климатических изменений. Работа выполнялась на заброшенных сельскохозяйственных угодьях Гатчинского района Ленинградской области. В настоящее время для данного региона отсутствуют комплексные и достоверные данные о динамике формирования древесной биомассы на бывших сельхозземлях. Объектами изучения выступили молодняки естественного происхождения, сформированные хвойными и лиственными породами, и искусственные насаждения сосны и ели. На каждой пробной площади отбиралось от 7 до 9 модельных деревьев с замером их диаметра и высоты ствола. Отобранные деревья разделялись на фракции – ствол, ветви, хвою – для определения их массы. На основе этих взвешиваний с помощью регрессионного анализа разработаны уравнения, позволяющие рассчитывать массу отдельных фракций. Построенные модели характеризуются высокими коэффициентами детерминации, однако точность расчетов, особенно для крон, ограничивается значительной морфологической изменчивостью деревьев в фазе активного роста. Анализ распределения фитомассы по фракциям выявил, что у сосны и ели наибольшая доля массы сосредоточена в стволовой части. Наименьший вклад у сосны приходится на ассимиляционный аппарат, а у ели – на ветви. Расчет, выполненный с применением полученных уравнений, показал, что на данной сукцессионной стадии максимальный запас надземной фитомассы на единицу площади характерен для сосновых молодняков. Результаты исследования не только значимы для лесоводственного планирования, но и указывают на потенциал использования такой древесины в качестве сырья для производства технологической щепы и биотоплива.

**Ключевые слова:** регрессионные уравнения, фитомасса, хвойный подрост, постагро-генные земли, естественное возобновление

**Для цитирования:** Данилов Д.А., Яковлев А.А., Крылов И.А., Суворов С.А. Формирование надземной фитомассы сосны и ели в лесонасаждениях на постагrogenных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 44–58.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-44-58>

Original article

## Formation of Aboveground Phytomass of Pine and Spruce in Forest Plantations on Post-Agricultural Lands


**Dmitry A. Danilov**, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [S-7007-2019](https://orcid.org/0000-0002-7504-5743),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7504-5743>

**Artem A. Yakovlev** , Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ResearcherID: [AAR-5081-2021](https://orcid.org/0000-0001-8450-2806), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-2806>

**Ivan A. Krylov**, Postgraduate Student; ResearcherID: [ADM-9554-2022](https://orcid.org/0000-0001-7122-2418),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7122-2418>

**Sergey A. Suvorov**, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAC-9497-2022](https://orcid.org/0000-0002-4429-8131),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-8131>

Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, lit. U., St. Petersburg, Russian Federation, 194021; stown200@mail.ru, artem95692@gmail.com , diesdthebest@yandex.ru, sergey\_suvorov1999@mail.ru

---

Received on March 10, 2025 / Approved after reviewing on June 3, 2025 / Accepted on June 7, 2025

---

**Abstract.** This research investigates the resource potential of woody vegetation colonizing former agricultural lands, assessing its feasibility for integration into sustainable forestry. A critical metric for evaluating such ecosystems is aboveground phytomass, which also serves as a proxy for estimating carbon sequestration – a factor of paramount importance amidst global climate challenges. The study was conducted on abandoned farmlands within the Gatchina district of the Leningrad region, focusing on young, naturally regenerated stands and artificial plantations. On permanently established sample plots, a complete census was performed for the dominant native conifers: Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*). To quantify standing phytomass and develop allometric models, 7 to 9 representative trees per species were felled. Each tree was fractionated into its components (stem, branches, and needles), with each fraction weighed separately. These detailed measurements provided the basis for regression analysis, yielding species-specific equations for predicting the biomass of individual tree compartments. Although the derived models exhibit high coefficients of determination, predictive accuracy – particularly for crown components – is constrained by the pronounced morphological variability inherent to actively growing young trees. Analysis of biomass allocation revealed that for both species, the stem constitutes the largest reservoir of mass. The relative contribution of the assimilation apparatus (needles) was lowest in pine, whereas in spruce, branches represented the smallest fraction. Application of these allometric equations indicates that at this early successional stage, young pine stands store the maximum aboveground phytomass per unit area. Comprehensive, long-term

data on woody biomass accumulation in post-agrogenic landscapes remain scarce for this region. The findings are therefore significant for advancing regional forestry strategies and highlight the potential of this biomass as a feedstock for industrial wood chips and bioenergy production.

**Keywords:** regression equations, phytomass, coniferous undergrowth, postagrogenic lands, natural regeneration

**For citation:** Danilov D.A., Yakovlev A.A., Krylov I.A., Suvorov S.A. Formation of Aboveground Phytomass of Pine and Spruce in Forest Plantations on Post-Agricultural Lands. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 44–58. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-44-58>

### *Введение*

В результате экономических и социальных изменений в бореальной зоне России в последние десятилетия наблюдается устойчивое сокращение площадей, используемых в сельскохозяйственных целях [2, 3, 7, 14, 17–20, 23–27]. С момента прекращения хозяйственной деятельности на сельскохозяйственных землях начинаются процессы естественного возобновления леса.

Для молодых древостоев, произрастающих на заброшенных сельхозземлях, характерна высокая вариабельность как по запасу древесины, так и по породному составу (соотношению хвойных и лиственных пород). Главное отличие древостоев постагrogenных территорий бореальной зоны в сравнении с их аналогами на ненарушенных лесных почвах – это ускоренный рост, обусловленный наличием мощного и плодородного бывшего пахотного горизонта [2, 15, 16, 18, 23, 28]. Фитомасса на ранних сукцессионных стадиях формируется под комплексным влиянием таких факторов, как породная и возрастная структура древостоя, тип возобновления (семенное или вегетативное), а также почвенное плодородие [4, 9, 11, 15]. На бывших сельхозземлях древостои формируют больший объем фитомассы и запас древесины в сравнении с древостоями на лесных почвах [2, 3, 5].

Определение надземной фитомассы и ее фракционного состава в постагrogenных насаждениях имеет важное прикладное значение для планирования их хозяйственного использования, а также научную ценность для оценки углерододепонирующего потенциала. Биомасса молодого древостоя служит ключевым индикатором, отражающим динамику и специфику процессов естественного лесовосстановления за заданный временной интервал. Количественная оценка надземной фитомассы представляет особую важность, поскольку она – наиболее интегральный показатель продуктивности фитоценоза [25]. Такая оценка является ключевой для решения актуальной, особенно в условиях глобального изменения климата, задачи расчета депонированного углерода в растительных сообществах [16, 20, 22, 23]. Также стоит отметить, что вместе с знаниями о формировании надземной фитомассы, которая напрямую зависит от плотности древесины деревьев, произрастающих на постагrogenных территориях, появляются сведения о показателях, определяющих качество самой древесины (объем и базисная плотность) [10, 12, 13, 15].

Таким образом, количественная оценка надземной фитомассы древостоев на постагрогенных территориях является необходимым условием для разработки стратегий вовлечения данных древесных ресурсов в хозяйственный оборот [5, 7, 15]. Исследование закономерностей формирования фракционного состава фитомассы на ранних сукцессионных стадиях становится базой для обоснования методов рационального управления такими землями.

Целью исследования является разработка регрессионных моделей для оценки надземной фитомассы молодняков сосны и ели естественного и искусственного происхождения на начальных стадиях восстановительной сукцессии постагрогенных земель. В задачи входило создание отдельных уравнений для расчета общей надземной фитомассы и различных фракций: ствола, ветвей и хвои.

### *Объекты и методы исследования*

Работа выполнялась на территории Гатчинского района Ленинградской области. Объектами исследования стали древостои, сформировавшиеся на землях, вышедших из активного сельскохозяйственного использования. В качестве первого пробного участка было выбрано 25-летнее залежное поле с естественным возобновлением древесных пород, где присутствуют как хвойные, так и лиственные породы. Одна из сторон данного участка непосредственно граничит с лесным массивом. Флористический состав растительного покрова представлен преимущественно мезотрофными видами. Географическое положение участка: 59°18'22,33" с. ш. 30°6'7,50" в. д.

Вторым опытным участком были искусственные насаждения сосны и ели, созданные в 2010 г. на бывшей пашне при различных вариантах подготовки почвы. Исходная густота посадки составляла 3 тыс. шт. семян сосны и ели на 1 га.

Исследуемые участки расположены в зоне длительного аграрного освоения. Анализ исторических карт Царскосельского уезда (Петербургская губерния) конца XVIII в. позволил установить, что срок их активного сельскохозяйственного использования, вероятно, превышает 200 лет.

Почвенный покров территории сформирован типичными двучленными отложениями: супесчаная толща, подстилаемая красноцветным валунным суглинком. Средняя мощность сохранившегося агрогенно-трансформированного почвенного горизонта (пахотного) составляет 35 см, что обеспечивает больший продуктивный объем почвенной толщи для роста корневой системы и минерального питания растений.

Изучение структуры фитомассы проводилось на заложенных ранее стационарных объектах, на постагрогенных территориях. В естественных древостоях учет осуществлялся на пробной площади размером 0,25 га (50×50 м). В искусственных насаждениях выполняли сплошной пересчет по рядам посадки на участке площадью 0,2 га для каждой целевой породы [15].

В рамках полевых исследований осуществлен полный пересчет хвойных древесных растений, измерены их высоты и диаметры стволов. Для деревьев высотой до 2 м диаметр определялся на уровне корневой шейки.

Результаты пересчета возобновления хвойных пород приведены в табл. 1. Запас на 1 га определялся путем перерасчета объема модельных деревьев на все деревья, произрастающие на пробной площади.

Таблица 1

**Биометрические показатели сосны и ели на опытных участках**  
**Characterization of biometric indices of pine and spruce in the experimental plot**

Состав древос- стоя	Среднее		Запас, м <sup>3</sup> /га		Средний возраст, лет	Числен- ность, экз./га	Средняя базисная плот- ность, кг/м <sup>3</sup>
	высота, м	диаметр, см	по породам	итого			
<i>Естественное насаждение</i>							
5С	2,9	2,1	30	50	9	320	301±1
5Е	1,0	1,0	20		6	360	334±1
<i>Искусственное насаждение</i>							
4С	8,9	8,5	73	113	12	2700	219±7
6Е	4,4	4,9	40		12	3020	387±8

Для разработки регрессионных моделей фитомассы в каждом типе насаждений (естественных и искусственных) на постагроденных землях было отобрано и срублено от 7 до 9 модельных деревьев для каждой исследуемой породы (табл. 2). Данное количество модельных деревьев определено высокой вариабельностью диаметров и высот ствола в молодых древостоях.

Таблица 2

**Характеристика модельных деревьев**  
**Characterization of model trees**

Модельное дерево	Диаметр, см	Высо- та, м	Объем ствола, м <sup>3</sup>	Надземная фитомасса, кг	Масса ствола, кг	Масса ветвей, кг	Масса хвои, кг
<i>Естественное насаждение</i>							
Сосна 1	8,0	5,2	0,0602	27,7551	19,3970	6,7339	1,6241
Сосна 2	3,7	2,1	0,0082	3,1918	2,7971	0,1778	0,2169
Сосна 3	4,3	3,1	0,0174	6,2907	5,5732	0,4254	0,2921
Сосна 4	3,5	3,0	0,0110	4,3943	3,4904	0,5493	0,3547
Сосна 5	2,4	1,4	0,0009	0,3987	0,3541	0,0359	0,0087
Сосна 6	1,6	1,2	0,0048	1,6393	1,6219	0,0066	0,0107
Сосна 7	8,0	4,1	0,0653	23,1353	20,7794	1,4004	0,9554
Сосна 8	3,3	2,0	0,0027	1,1911	0,9494	0,1275	0,1141
Сосна 9	2,4	1,4	0,0003	0,7314	0,1036	0,2640	0,3638
Ель 1	2,5	1,3	0,0008	0,4203	0,1189	0,1130	0,1884
Ель 2	3,3	1,7	0,0019	1,6258	0,7171	0,2840	0,6247
Ель 3	2,4	1,6	0,0009	0,5773	0,3712	0,0954	0,1108
Ель 4	4,0	3,8	0,0189	9,9732	6,0836	1,7222	2,1675
Ель 5	2,1	2,3	0,0051	3,2106	2,1589	0,4179	0,6338
Ель 6	5,0	4,4	0,0202	11,0325	7,2086	2,2256	1,5982
Ель 7	2,0	2,3	0,0033	1,7890	1,2285	0,2545	0,3060
Ель 8	1,6	0,9	0,0003	0,3094	0,1442	0,0578	0,1074
Ель 9	2,5	1,3	0,0008	1,0830	0,7089	0,1115	0,2627
<i>Искусственное насаждение</i>							
Сосна 1	12,0	7,1	0,1263	49,6430	42,7991	4,8508	1,9931
Сосна 2	6,8	5,8	0,1057	37,9632	35,8084	0,8121	1,3428

Окончание табл. 2

Модельное дерево	Диаметр, см	Высота, м	Объем ствола, м <sup>3</sup>	Надземная фитомасса, кг	Масса ствола, кг	Масса ветвей, кг	Масса хвои, кг
Сосна 3	11,0	7,5	0,1566	59,2288	54,3695	3,0318	1,8275
Сосна 4	1,5	2,2	0,0025	1,2163	1,1139	0,0351	0,0674
Сосна 5	1,9	2,7	0,0041	1,6316	1,4620	0,0998	0,0699
Сосна 6	3,5	3,7	0,0114	4,2848	3,8651	0,2534	0,1662
Сосна 7	1,8	1,3	0,0004	0,1853	0,1770	0,0076	0,0007
Сосна 8	1,9	1,7	0,0008	0,3838	0,3447	0,0278	0,0113
Ель 1	5,1	4,5	0,0240	13,6592	8,2982	2,2539	3,1071
Ель 2	2,5	1,5	0,0012	0,9146	0,5910	0,1065	0,2171
Ель 3	1,7	0,9	0,0003	0,2929	0,1684	0,0466	0,0780
Ель 4	2,7	1,9	0,0017	0,8575	0,6125	0,1110	0,1340
Ель 5	2,4	2,8	0,0055	3,3545	2,4516	0,3561	0,5468
Ель 6	4,1	3,5	0,0166	10,9098	7,6407	1,6258	1,6433
Ель 7	7,5	6,1	0,0705	31,9346	24,5877	3,2950	4,0518

Для каждого модельного дерева проводилось определение массы фракций. Все ветви с хвоей отделялись и взвешивались. Из общей массы ветвей случайно выбирались 3 модельные ветви, представляющие нижний, средний и верхний ярусы кроны. Отдельно взвешивалась древесная часть каждой ветви и ее хвоя, после чего образцы высушивались до абсолютно сухого состояния для повторного взвешивания. За объем ствола принималась сумма сегментов длиной 1 м (от комля). Так как ствол дерева является сложным телом вращения, сегменты ствола были приняты за усеченный конус, а вершина – за конус с последующим расчетом их объемов по соответствующим формулам [4, 10].

Базисная плотность (г/см<sup>3</sup>) исследуемых образцов древесины каждого сегмента устанавливалась по следующей формуле:

$$\rho_{\text{баз}} = \frac{1}{\frac{m_w}{m_0} - 0,346},$$

где  $m_w$ ,  $m_0$  – масса образцов, предельно насыщенного влагой и абсолютно сухого соответственно, г.

Определение базисной плотности древесины осуществлялось по основанному на принципе измерения максимального влагосодержания небольших образцов методу Полубояринова [8]. В качестве материала для анализа использовали тонкие спилы или высечки древесины.

Для установления общей надземной биомассы применялся поэлементный подход: сначала устанавливалась масса абсолютно сухого вещества ствола, ветвей и хвои, а затем эти значения суммировались.

Масса древесины в абсолютно сухом состоянии (кг) определялась в соответствии с формулой

$$M = \frac{V \rho_{\text{баз}}}{1000},$$

где  $V$  – объем сегмента ствола, м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{баз}}$  – базисная плотность древесины, кг/м<sup>3</sup>.

Надземная фитомасса (кг) рассчитывалась как

$$W_d = \exp\left(b_0 + \frac{b_1 D}{D + g} + b_2 H + b_3 \ln H\right),$$

где  $D$  – диаметр на высоте 1,3 для деревьев более 2 м и у корневой шейки для деревьев менее 2 м, см;  $H$  – высота, м;  $b_0, b_1, b_2, b_3, g$  – коэффициенты регрессионных уравнений [6, 21].

Данная модель позволила вычислить коэффициенты регрессионных уравнений, связывающих массу фракции ( $W_d$ , кг абсолютно сухого вещества) с диаметром ствола и высотой дерева.

Уравнения для расчета фитомассы были разработаны с использованием метода нелинейной множественной регрессии. Вычислительная часть работы, включая оптимизацию по алгоритму Левенберга–Марквардта, реализована в программной среде Statgraphics Centurion 18.

С помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона рассчитаны сила и направленность связи между таксационными параметрами и фитомассой:

$$r_{xy} = \frac{\sum(d_x d_y)}{\sqrt{(\sum d_x^2 \sum d_y^2)}},$$

где  $d_x$  и  $d_y$  – отклонение от среднего арифметического каждого показателя соответственно [1].

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ регрессионных моделей, описывающих зависимость фитомассы и ее фракций от диаметра и высоты деревьев, позволил оценить влияние этих таксационных показателей на формирование общей и компонентной надземной массы (табл. 3). Результаты анализа свидетельствуют о тесной положительной линейной зависимости между высотой дерева и такими параметрами, как диаметр ствола, его масса и общая надземная фитомасса.

Таблица 3

**Индекс корреляции Пирсона для фракций фитомассы и основные таксационные показатели для естественных и искусственных хвойных насаждений на постагрогенных почвах для сосны и ели**  
**Pearson's correlation index for phytomass fractions and main taxation indices for natural coniferous stands and artificial stands on post-agro soils for pine and spruce trees**

	Диаметр, см	Высота, м	Объем ствола, м <sup>3</sup>	Надземная фитомасса, кг	Масса		
					ствола, кг	ветвей, кг	хвон, кг
<i>Естественные насаждения сосны</i>							
Диаметр, см	1,00						
Высота, м	0,95	1,00					
Объем ствола, м <sup>3</sup>	0,97	0,91	1,00				
Надземная фитомасса, кг	0,97	0,94	0,99	1,00			

Окончание табл. 3

	Диаметр, см	Высота, м	Объем ствола, м <sup>3</sup>	Надземная фитомасса, кг	Масса		
					ствола, кг	ветвей, кг	хвои, кг
Масса ствола, кг	0,97	0,92	1,00	0,99	1,00		
Масса ветвей, кг	0,75	0,82	0,75	0,85	0,75	1,00	
Масса хвои, кг	0,91	0,91	0,90	0,95	0,90	0,93	1,00
<i>Естественные насаждения ели</i>							
Диаметр, см	1,00						
Высота, м	0,83	1,00					
Объем ствола, м <sup>3</sup>	0,86	0,97	1,00				
Надземная фитомасса, кг	0,87	0,97	1,00	1,00			
Масса ствола, кг	0,86	0,97	1,00	1,00	1,00		
Масса ветвей, кг	0,90	0,96	0,99	0,99	0,99	1,00	
Масса хвои, кг	0,83	0,90	0,96	0,96	0,94	0,93	1,00
<i>Искусственные насаждения сосны</i>							
Диаметр, см	1,00						
Высота, м	0,97	1,00					
Объем ствола, м <sup>3</sup>	0,96	0,97	1,00				
Надземная фитомасса, кг	0,97	0,97	1,00	1,00			
Масса ствола, кг	0,96	0,97	1,00	1,00	1,00		
Масса ветвей, кг	0,95	0,85	0,84	0,86	0,84	1,00	
Масса хвои, кг	0,99	0,97	0,98	0,99	0,98	0,91	1,00
<i>Искусственные насаждения ели</i>							
Диаметр, см	1,00						
Высота, м	0,96	1,00					
Объем ствола, м <sup>3</sup>	0,96	0,92	1,00				
Надземная фитомасса, кг	0,98	0,95	0,99	1,00			
Масса ствола, кг	0,97	0,93	1,00	1,00	1,00		
Масса ветвей, кг	0,98	0,97	0,93	0,97	0,94	1,00	
Масса хвои, кг	0,97	0,97	0,92	0,95	0,92	0,99	1,00

На основе данных табл. 3 можно заключить о сильной внутренней взаимозависимости компонентов фитомассы. Что касается влияния морфометрических параметров, то диаметр ствола является более информативным предиктором общей и компонентной биомассы, чем высота дерева. Это, вероятно, связано с существенно более широким размахом вариации диаметров в исследованной выборке. Анализ выявил статистически значимую зависимость высоты дерева от фитомассы ветвей и хвои. В то же время среди всех рассмотренных взаимосвязей наименее выраженной оказалась корреляция между диаметром ствола и массой хвои.

В табл. 4 представлены коэффициенты уравнений Маркклунда и соответствующие им коэффициенты детерминации ( $R^2$ ). Большинство полученных моделей характеризуются высокой объясняющей способностью, о чем свиде-

тельствуют значения  $R^2$ . Наиболее низкий показатель детерминации отмечен для уравнения фитомассы ветвей сосны, это, вероятно, обусловлено высокой морфологической изменчивостью крон в фазе активного роста данного вида. Существенно сниженное значение  $R^2$  также наблюдается у модели для фитомассы хвой ели, что может быть связано с выраженной вариабельностью этого признака у молодых особей. Таким образом, несмотря на указанные ограничения, созданные регрессионные уравнения обладают высокой эффективностью и точностью аппроксимации исходных данных, полученных в ходе полевых исследований.

Таблица 4

**Коэффициенты регрессионных уравнений Маркклунда для массы фракций сосны и ели в зависимости от диаметра и высоты деревьев**  
**Marklund regression equations for fraction weight of pine and spruce as a function of tree diameter and height**

Порода	Фракция фитомассы	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$g$	$R^2$
<i>Естественные насаждения</i>							
Сосна	Надземная	-1,7757	7,5549	-0,4150	2,6876	13,3819	0,99
	Ствол	-2,4885	7,9339	-0,8855	3,8047	8,7668	0,99
	Ветви	0,0453	0,1083	0,1173	0,1457	9,6250	0,21
	Хвоя	-3,1247	214,723	0,5208	-0,1583	1468,2	0,92
Ель	Надземная	-0,8702	-7,6512	0,0580	2,6863	36,9058	0,94
	Ствол	-1,2219	1917,07	0,3846	1,3634	-20 429,0	0,95
	Ветви	-2,8774	0	0,5003	1,1629	0	0,96
	Хвоя	-1,9269	1,0908	-1,0800	4,6208	0	0,72
<i>Искусственные насаждения</i>							
Сосна	Надземная	-6,1605	-10,156	-0,8982	8,78403	141,617	0,99
	Ствол	-1,8361	0,06697	0,37698	1,41594	-6,1836	0,99
	Ветви	0,02803	0,09588	0,09968	0,09108	14,1188	0,30
	Хвоя	-13,138	5,00001	-1,5267	10,2758	1,25534	0,99
Ель	Надземная	-1,60279	7,68774	-0,429283	2,4006	9,77823	0,97
	Ствол	-1,29915	3,40932	0,191758	1,03266	9,83464	0,94
	Ветви	-1,91649	5,57014	0,203835	1,30734	-98,7616	0,79
	Хвоя	-1,54624	-294,651	0,24302	1,03681	6207,35	0,77

Анализ удельных запасов фитомассы, выполненный на основе данных сплошного перечета для 1 га, приведен в табл. 5. Результаты показывают, что сосна формирует наибольший общий запас надземной биомассы на единицу площади. Сравнение расчетных данных выявило систематическую погрешность: общая фитомасса, полученная суммированием значений по фракциям (ствол, ветви, хвоя), превышает величину, рассчитанную по приведенному уравнению – на 6 % для сосны и на 64 % для ели. Данное расхождение закономерно и объясняется фундаментальным свойством биологических систем – естественной неаддитивностью компонентного состава фитомассы, когда целое не равно простой сумме отдельных частей из-за взаимовлияния процессов роста и развития.

Таблица 5

**Фракции надземной фитомассы хвойных пород на постагрогенных землях, т/га**  
**Calculated values of fractions of aboveground phytomass of coniferous species**  
**on post-aggro lands, tons per ha**

Фитомасса	Сосна		Ель	
	естественные насаждения	искусственные насаждения	естественные насаждения	искусственные насаждения
Надземная	13,25	53,33	9,81	19,37
Ствол	10,58	50,95	6,45	14,33
Ветви	2,98	5,30	0,19	3,15
Хвоя	3,11	1,95	3,11	3,96

На рис. 1 представлено распределение запасов надземной фитомассы по основным структурным компонентам (фракциям). Наибольшая доля стволовой фитомассы характерна для сосны. У ели на стволовую часть приходится значительно меньше фитомассы. У сосны в искусственном насаждении наименьшая часть надземной фитомассы – это хвоя, а в естественном – ветви, что, вероятно, связано с различным размещением деревьев. В искусственном насаждении густота стояния деревьев в рядах выше, чем в естественном. У ели наименьшая доля фитомассы приходится на ветви в естественном насаждении и на хвою – в искусственном.

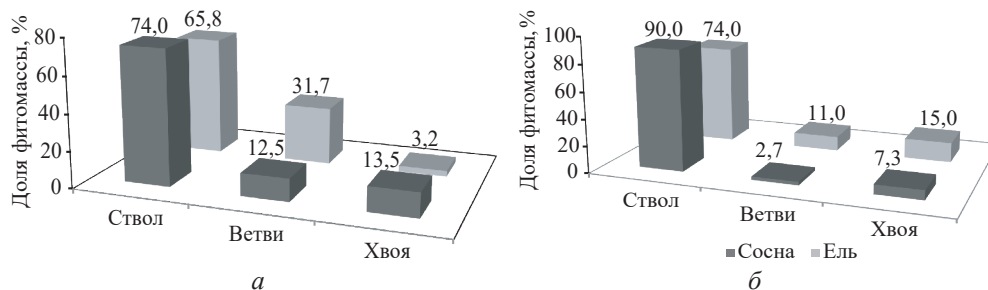


Рис. 1. Распределение средней надземной фитомассы по фракциям:  
 а – естественное насаждение; б – искусственное насаждение

Fig. 1. Distribution of average aboveground phytomass by fractions:  
 а – natural stand; б – artificial stand

Анализ распределения надземной фитомассы выявил выраженный дисбаланс между структурными компонентами дерева: массы ствола и ветвей значительно доминируют, в то время как доля хвои остается незначительной – у сосны она пренебрежимо мала, у ели составляет 3,2 % в естественных насаждениях и 15,0 % в искусственных.

Одной из наиболее важных качественных физико-технических характеристик древесины является ее плотность. От этого показателя зависит теплопроводная способность древесины и количество биомассы. Для выявления колебания базисной плотности древесины по высоте ствола все модельные деревья были условно разделены на 3 группы: до 2, 3 и 4 м высотой у ели и до 2, 3 и 5 м – у сосны.

Вопрос изменения базисной плотности древесины ствола по высоте хорошо изучен для спелых древостоев на лесных почвах, но остается нераскрытым для молодняков на постагрогенных землях. Знание закономерности изменения базисной плотности по высоте позволяет более полно моделировать распре-

деление стволовой биомассы, которая зависит не только от объема сегмента ствола, но и от плотности древесины. Дальнейшие исследования в данном направлении сделают возможным повышение точности расчета депонирования углерода древесной растительностью.

С помощью анализа базисной плотности древесины по высоте ствола у ели в естественных насаждениях установлено, что закономерности распределения наиболее последовательны для деревьев, высота которых не превышает 4 м. Типичная кривая изменения показателя имеет 2 выраженных минимума – в комлевой и вершинной частях, а также снижается в середине. При схожей плотности у основания деревьев высотой 2 и 3 м она падает по направлению к вершине. Однако у 3-метровых экземпляров на высоте более 2 м наблюдается обратный тренд – увеличение плотности. Указанные закономерности пространственной изменчивости исследуемого показателя, вероятно, связаны с особенностями формирования кроны на разной высоте и неоднородностью возрастной структуры рассматриваемой популяции ели.

В естественных насаждениях сосны для всех исследованных групп высот выявлена общая тенденция к снижению базисной плотности древесины по направлению от комля к вершине (рис. 2, б). Эта закономерность обусловлена анатомическим строением ствола – формированием конуса нарастания, в зоне которого увеличивается доля ранней (менее плотной) древесины.

Локальное повышение плотности на участках 1–1,3 и 3–4 м наблюдалось только в группе деревьев высотой 5 м. Это явление, предположительно, объясняется особенностью строения кроны сосны, у которой скелетные ветви расположены выше, чем у ели.

Сравнительный анализ также показал, что у сосны на постагрогенных территориях в среднем формируется менее плотная древесина, чем у ели (рис. 2, а). Это связано с большей интенсивностью радиального прироста и ускоренными темпами развития сосны в данных условиях.

Наименьшая изменчивость базисной плотности древесины ели по длине ствола наблюдается у деревьев с высотой не более 4 м. Для этой группы характерно снижение плотности древесины в средней части ствола относительно минимальных значений у комля и вершины. При схожей комлевой плотности у деревьев до 2 и 3 м она закономерно уменьшается по направлению к вершине. Исключением является группа до 3 м, где на высоте более 2 м фиксируется повторный рост этого показателя. Указанная пространственная изменчивость плотности у ели в естественных древостоях также объясняется анатомическими особенностями – формированием конуса нарастания с повышенным содержанием ранней ксилемы в верхней части ствола.

На рис. 2, в представлена динамика базисной плотности по высоте ствола для ели в искусственных посадках. Анализ графика распределения плотности выявил четкую закономерность для деревьев высотой до 4 м: показатель минимален у вершины и демонстрирует спад в средней части ствола. Для группы деревьев до 3 м характерно снижение плотности к середине ствола с ее последующим увеличением на приближенном к вершине участке. В группе до 2 м, напротив, показатель увеличивается по направлению к вершине. В искусственных насаждениях вариабельность плотности древесины ели обусловлена различиями в скорости роста одновозрастных деревьев и расстоянии между мутовками в кроновой части.

Согласно данным рис. 2, *з*, базисная плотность древесины в искусственных сосновых насаждениях имеет нелинейный характер изменения по высоте ствола. У деревьев высотой до 6 м отмечается увеличение показателя в интервале от 2 до 4 м с последующим снижением. Однако в группе до 3 м наблюдается иная динамика: рост плотности от комля до уровня 1,3 м и спад к 2-метровой отметке. Таким образом, характер изменения варьирует в зависимости от высотной группы деревьев. Эти закономерности распределения плотности, аналогично выявленным для естественных древостоев, связаны с архитектурой кроны (расположением ветвей по стволу) и формированием креновой древесины в зонах прикрепления сучьев.

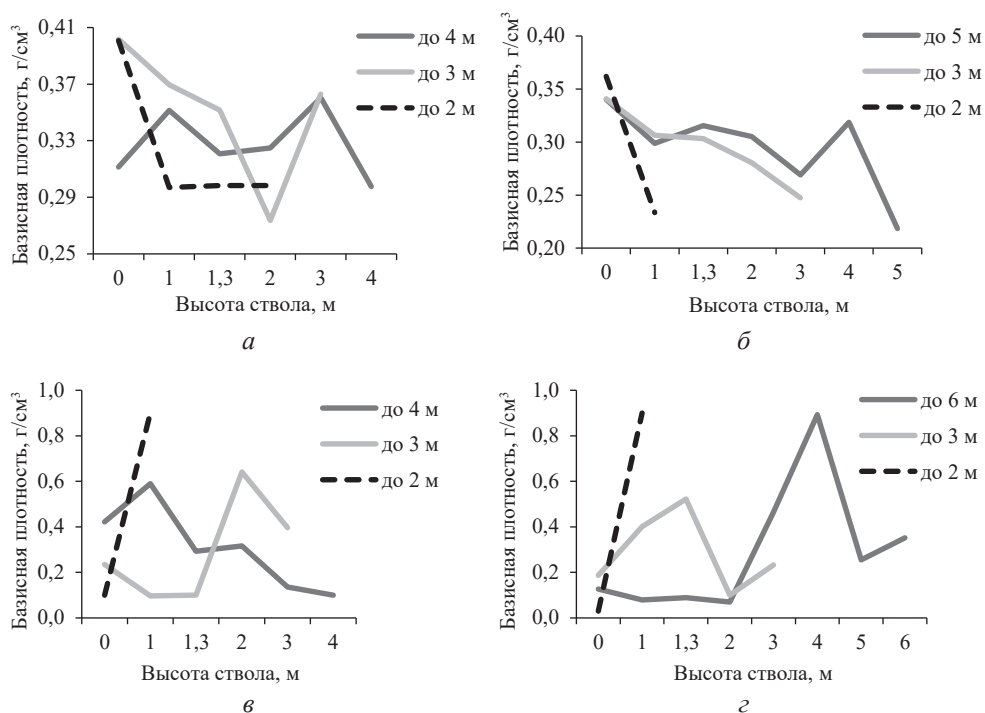


Рис. 2. Распределение базисной плотности древесины по стволу в зависимости от высоты дерева: *a* – у ели в естественном насаждении; *б* – у сосны в естественном насаждении; *в* – у ели в искусственном насаждении; *з* – у сосны в искусственном насаждении

Fig. 2. Distribution of basal wood density along the trunk as a function of tree: *a* – spruce in natural stand; *б* – pine in natural stand; *в* – spruce in artificial stand; *з* – pine in artificial stand

### Заключение

Разработанные регрессионные модели для оценки фракционного состава надземной фитомассы сосны и ели в естественных и искусственных насаждениях в целом характеризуются высокой точностью и значимыми коэффициентами детерминации. При этом для ели, за исключением моделей ветвей, точность уравнений несколько ниже, что объясняется повышенной изменчивостью биометрических параметров у данного вида.

Полученные уравнения позволяют выполнять расчет запасов надземной биомассы и ее компонентов для хвойных древостоев на постагрогенных территориях. Результаты исследования могут быть применены как в нормативно-справочной деятельности (например, для оценки депонирующей способности насаждений при расчете углеродного баланса), так и для прогнозирования объемов сырья, пригодного для промышленного использования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Статистическая обработка данных в лесном хозяйстве. СПб.: Политехн. ун-т, 2016. 125 с.

Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. *Statistical data processing in forestry: Tutorial*. St. Petersburg, Polytechnic University Press Publ., 2016. 125 p. (In Russ.).

2. Грибов С.Е., Корчагов С.А., Хамитов Р.С., Евдокимов И.В. Производительность древостоев, сформировавшихся на землях сельскохозяйственного назначения // Лесн. вестн. 2020. Т. 24, № 6. С. 19–25.

Gribov S.E., Korchagov S.A., Khamitov R.S., Evdokimov I.V. Productivity of Stands Formed on Agricultural Lands. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 19–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-19-25>

3. Данилов Д.А., Шестаков В.А., Шестакова Т.А., Эндерс О.О. Сукцессионные стадии восстановления древесной растительности на постагрогенных землях Ленинградской области // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2020. Вып. 233. С. 60–80.

Danilov D.A., Shestakov V.A., Shestakova T.A., Enders O.O. Successional Stages of Restoration of Woody Vegetation on Postagrogenic Lands of the Leningrad Region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoj akademii = Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*, 2020, iss. 233, pp. 60–80. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2020.233.60-80>

4. Данилов Д.А., Яковлев А.А., Суворов С.А., Крылов И.А., Корчагов С.А., Хамитов Р.С. Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагрогенных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 65–76.

Danilov D.A., Yakovlev A.A., Suvorov S.A., Krylov I.A., Korchagov S.A., Khamitov R.S. Formation of Aboveground Phytomass of Deciduous Tree Species on Postagricultural Land. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 1, pp. 65–76. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-65-76>

5. Карпин В.А., Петров Н.В., Туунен А.В. Восстановление лесных фитоценозов после различных видов сельскохозяйственного использования земель в условиях среднетаежной подзоны // Сиб. лесн. журн. 2017. № 6. С. 120–129.

Karpin V.A., Petrov N.V., Tuunenen A.V. Regeneration of Forest Phytocoenoses After Various Agricultural Land Use Practices in the Conditions of Middle Taiga Subzone. *Sibirskij Lesnoj Zurnal = Siberian Journal of Forest Science*, 2017, no. 6, pp. 120–129. (In Russ.).

<https://doi.org/10.15372/SJFS20170610>

6. Комаров А.С., Чертов О.Г., Михайлов А.В., Абакумов Е.В., Андриенко Г., Андриенко Н., Аппс М., Бобровский М.В., Бхатти Дж., Быховец С.С., Глухова Е.М., Грабарник П.Я., Зубкова Е.В., Зудин С.Л., Зудина Е.В., Кубасова Т.С., Лукьянов А.М., Мартынкин А.В., Морен Ф., Припутина И.В., Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Шанин В.Н., Шо С. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах. М.: Наука, 2007. 380 с.

Komarov A.S., Chertov O.G., Mikhailov A.V., Abakumov E.V., Andrienko G., Andrienko N., Appes M., Bobrovsky M.V., Bhatti J., Bykhovets S.S., Gluhova E.M., Grabarnik P.Y., Zubkova E.V., Zudin S.L., Zudina E.V., Kubasova T.S., Lukyanov A.M., Martynkin A.V., Morin F., Priputina I.V., Smirnov V.E., Khanina L.G., Shanin V.N., Shaw S. *Modeling the Dynamics of Organic Matter in Forest Ecosystems*. Moscow, Nauka Publ., 2007. 380 p. (In Russ.).

7. Новикова М.А., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Хетагуров Х.М., Нгуен В.З. Формирование лесных фитоценозов на заброшенных землях сельскохозяйственного назначения // *Аграрн. науч. журн.* 2016. № 6. С. 29–33.

Novikova M.A., Gryazkin A.V., Belyaeva N.V., Khetagurov H.M., Nguyen V.Z. Formation of Forest Phytocenoses on Abandoned Agricultural Land. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal* = Agrarian Scientific Journal, 2016, no. 6, pp. 29–33. (In Russ.).

8. Полуобояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.

Poluboyarinov O.I. *Density of wood*. Moscow, Forest Industry Publ., 1976. 160 p. (In Russ.).

9. Пристова Т.А. Фитомасса древесных растений в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // *Лесн. вестн.* 2020. Т. 24, № 1. С. 5–13.

Pristova T.A. Phytomass of Woody Plants in Deciduous Phytocenoses After Felling. *Lesnoy Vestnik* = Forestry Bulletin, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 5–13. (In Russ.).

<https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-1-5-13>

10. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 с.

Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Methodological Guidelines for the Study of Dynamics and Biological Cycling in Phytocenoses*. Leningrad, Nauka Publ., 1968. 145 p. (In Russ.).

11. Усольцев А.В., Ценордей И.С. Квалиметрия фитомассы лесных деревьев: плотность и содержание сухого вещества. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 178 с.

Usoltsev A.V., Tsepordei I.S. *Qualimetry of Phytomass of Forest Trees: Density and Dry Matter Content*. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2020. 178 p. (In Russ.).

12. Усольцев В.А., Усольцев А.В. Регрессионная модель предельных показателей фитомассы сосновых древостоев // *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2001. № 1. С. 7–13.

Usoltsev V.A., Usoltsev A.V. Regression Model of Limiting Indicators of Phytomass of Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2001, no. 1, pp. 7–13. (In Russ.).

13. Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Гульбе Т.А., Гульбе Я.И. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы, осины в европейской части России // *Лесоведение*. 1996. № 6. С. 36–46.

Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Gulbe T.A., Gulbe Y.I. Allometric Equations for Phytomass According to Pine, Spruce, Birch and Aspen Trees in European Russia. *Lesovedenie* = Forestry Science, 1996, no. 6, pp. 36–46. (In Russ.).

14. Феклистов П.А., Тюрикова Т.В., Аверина М.В. Роль типов леса в смене пород на старопашотных землях Кенозерского национального парка // *Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн.* 2016. Т. 20, № 6. С. 39–43.

Feklistov P.A., Tyurikova T.V., Averina M.V. The Role of Forest Types in the Change of Species in the Old-Fallow Lands of Kenozersky National Park. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2016, vol. 20, no. 6, pp. 39–43. (In Russ.).

15. Яковлев А.А. Влияние почвенных условий на формирование растительных сообществ на постагrogenных и лесных землях (на примере Ленинградской области): дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2024. 354 с.

Yakovlev A.A. *Influence of Soil Conditions on the Formation of Plant Communities on Postagrogenic and Forest Lands (on the Example of the Leningrad Region)*: Cand. Agric. Sci. Diss. Saint Petersburg, 2024. 354 p. (In Russ.).

16. Danilov D.A., Shestakova T.A., Shestakova V.I., Anders O.O., Ivanov A.A. The Effect of Living Ground Cover on the Development of the Young Generation of Tree Species on Post-Agrogenic Lands of the Boreal Zone. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 574, no. 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012015>

17. Domke G.M., Woodall C.W., Smith J.E., Westfall J.A., McRoberts R.E. Consequences of Alternative Tree-Level Biomass Estimation Procedures on U.S. Forest Carbon Stock Estimates. *Forest Ecology and Management*, 2012. vol. 270, pp. 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.01.022>

18. Gradinaru S.R., Kienast F., Psomas A. Using Multi-Seasonal Landsat Imagery for Rapid Identification of Abandoned Land in Areas Affected by Urban Sprawl. *Ecological Indicators*, 2019, no. 96, pp. 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.022>
19. Kukuls I., Klavins M., Nikodemus O., Kasparinskis R., Brumelis G. Changes in Soil Organic Matter and Soil Humic Substances Following the Afforestation of Former Agricultural Lands in the Boreal-Nemoral Ecotone (Latvia). *Geoderma Regional*, 2019, no. 16, pp. e00213. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00213>
20. Mahajan V., Choudhary P., Raina N.S., Sharma P. Carbon Sequestration Potential of Trees in Arable Land-use and Allometric Modelling for Dominant Tree Species in Sub-Tropics of Jammu and Kashmir. *Journal of Environmental Biology*, 2021, no. 42(2), pp. 414–419. [https://doi.org/10.22438/jeb/42/2\(SI\)/SI-245](https://doi.org/10.22438/jeb/42/2(SI)/SI-245)
21. Marklund L.G. *Biomass Functions for Pine, Spruce and Birch in Sweden*. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Survey, 1988, rep. 45, p. 73. (In Swed.).
22. Nogueira F.C.B., Dobe E.K., Silva Filho J.B., Rodrigues L.S. Allometric Equations to Estimate Aboveground Biomass of Dalbergia Cearensis Species in the Brazilian Seasonally Dry Tropical Forest. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 484, pp. 118920. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.118920>
23. Ovsepyan L., Kurganova L., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. Recovery of Organic Matter and Microbial Biomass After Abandonment of Degraded Agricultural Soils: The Influence of Climate. *Land Degradation and Development*, 2019, no. 30, pp. 1861–1874. <https://doi.org/10.1002/ldr.3387>
24. Pothong T., Elliott S., Chairuang Sri S., Chanthorn W., Shannon D., Wangpakapattanawong P. New Allometric Equations for Quantifying Tree Biomass And Carbon Sequestration in Seasonally Dry Secondary Forest in Northern Thailand. *New Forests*, 2022, no. 53, pp. 17–36. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09844-3>
25. Segura C., Navarro F.B., Jiménez M.N., Fernández-Ondoño E. Implications of Afforestation Vs. Secondary Succession for Soil Properties Under a Semiarid Climate. *Science of The Total Environment*, 2020, no. 704, pp. 135391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135393>
26. Tabacchi G., Di Cosmo L., Gasparini P. Aboveground Tree Volume and Phytomass Prediction Equations for Forest Species in Italy. *European Journal of Forest Research*, 2011, no. 130(6), pp. 911–934. <https://doi.org/10.1007/s10342-011-0481-9>
27. Volkova I., Solodunov A., Kondratenko L. Composition and Structure of Regrowth Forests on Abandoned Agricultural Land. *Journal of Forest Science*, 2020, no. 66, pp. 436–442. <https://doi.org/10.17221/100/2020-JFS>
28. Zethof J.H.T., Cammeraat E.L.H., Nadal-Romero E. The Enhancing Effect of Afforestation Over Secondary Succession on Soil Quality Under Semiarid Climate Conditions. *Science of the Total Environment*, 2019, no. 652, pp. 1090–1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.235>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 630.232

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-59-72

## Приживаемость сеянцев с закрытой корневой системой в лесостепных районах Забайкалья

**Е.А. Банщикова**<sup>✉</sup>, канд. с.-х. наук, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAF-6271-2021](https://orcid.org/0000-0002-7206-4893),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7206-4893>

**Т.В. Желибо**, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAZ-4061-2020](https://orcid.org/0000-0002-4444-2463),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4444-2463>

**Н.В. Помазкова**, канд. геогр. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [I-9691-2018](https://orcid.org/0000-0001-7569-4674),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7569-4674>

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ул. Недорезова, д. 16а,  
г. Чита, Россия, 672014; kait1986@mail.ru<sup>✉</sup>, zhelibob@mail.ru, naste2@yandex.ru

---

Поступила в редакцию 06.02.25 / Одобрена после рецензирования 05.05.25 / Принята к печати 07.05.25

---

**Аннотация.** Восстановление лесов, нарушенных в результате пожаров, в условиях циклических колебаний климата является актуальной задачей для лесного комплекса. Цель исследования – независимая оценка по результатам технической приемки и инвентаризации состояния лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с закрытой корневой системой на пирогенно нарушенных территориях за 2022–2023 гг. Основная задача – изучение приживаемости лесных культур сосны в зависимости от различных природно-климатических условий и времени посадок, а также анализ эффективности компенсационного лесовосстановления сеянцами с закрытой корневой системой в условиях Забайкальского края. Объектом исследования выбраны лесничества, согласно эколого-фитоценологическому районированию относящиеся к единому округу: объединены южно-таежные и подтаежные леса и лесостепи с теплыми и сухими, а также недостаточно влажными местообитаниями. Особое внимание уделялось определению первоначальной густоты посадки и приживаемости лесных культур. В ходе обследования лесокультурных площадей визуально отмечался значительный отпад сеянцев уже в 1-й год после посадки. Высота части стволика, засыпанной землей, над поверхностью почвы в среднем составляла от 3 до 12 см, а до шейки корня, расположенной ниже (в почве), – 13–15 см. Применение технологии посадки в стенку борозды не всегда продуктивно – верхний слой почвы осыпается и саженец засыпается песком. Механическое повреждение верхушечных почек приводит к усыханию и полной гибели посадочного материала. В условиях Забайкальского края рекомендуется рассмотреть возможность проведения лесопосадочных работ сеянцами с закрытой корневой системой в поздневесенний период, а также со 2-й декады июля и не осуществлять посадки с конца сентября. Предварительная независимая оценка показала, что на приживаемость лесных культур влияют природные и антропогенные факторы.

**Ключевые слова:** искусственное лесовосстановление, сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., пирогенно нарушенные территории, лесные культуры, сеянцы с закрытой корневой системой, приживаемость, приживаемость сеянцев, лесостепные районы Забайкальского края

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

*Для цитирования:* Банщикова Е.А., Желибо Т.В., Помазкова Н.В. Приживаемость сеянцев с закрытой корневой системой в лесостепных районах Забайкалья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 59–72. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-59-72>

Original article

## Survival Rate of Seedlings with Closed Root System in Forest-Steppe Regions of Transbaikalia

*Ekaterina A. Banshchikova*<sup>✉</sup>, Candidate of Agriculture, Junior Research Scientist;

ResearcherID: [AAF-6271-2021](https://orcid.org/0000-0002-7206-4893), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7206-4893>

*Tatyana V. Zhelibo*, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAZ-4061-2020](https://orcid.org/0000-0002-4444-2463),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4444-2463>

*Nadezhda V. Pomazkova*, Candidate of Geography, Research Scientist;

ResearcherID: [I-9691-2018](https://orcid.org/0000-0001-7569-4674), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7569-4674>

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, 16a, ul. Nedorezova, Chita, Russian Federation, 672014; [kait1986@mail.ru](mailto:kait1986@mail.ru)<sup>✉</sup>, [zhelibo@mail.ru](mailto:zhelibo@mail.ru), [naste2@yandex.ru](mailto:naste2@yandex.ru)

---

Received on February 6, 2025 / Approved after reviewing on May 5, 2025 / Accepted on May 7, 2025

---

**Abstract.** The restoration of forests damaged by fires in the context of cyclical climate fluctuations is an urgent task for the forestry sector. The aim of the study is to independently assess the results of technical acceptance and inventory of the condition of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest plantations with a closed root system in pyrogenically disturbed areas for 2022–2023. The main objective is to study the survival rate of pine forest plantations depending on various natural and climatic conditions and planting time, as well as to analyze the effectiveness of compensatory reforestation with seedlings with a closed root system in the conditions of the Trans-Baikal Territory. The object of the study was forestry areas that, according to the ecological-phytocenotic zoning, belong to a single district: southern taiga and subtaiga forests and forest-steppes with warm and dry, as well as insufficiently humid habitats were combined. Special attention was paid to determining the initial planting density and survival rate of forest crops. During the survey of forest cultivation areas, a significant loss of seedlings was visually noted already in the first year after planting. The height of the part of the trunk covered with soil above the soil surface averaged from 3 to 12 cm, and to the root collar located below (in the soil) – 13–15 cm. The use of the technology of planting in the furrow wall is not always productive – the top layer of soil crumbles and the seedling is covered with sand. Mechanical damage to the apical buds leads to drying out and complete death of the planting material. In the conditions of the Trans-Baikal Territory, it is recommended to consider the possibility of carrying out forest planting work with seedlings with a closed root system in the late spring period, as well as from the 2nd ten days of July, and not to carry out planting from the end of September. A preliminary independent assessment has shown that natural and anthropogenic factors affect the survival rate of forest crops.

**Keywords:** artificial reforestation, Scots pine, *Pinus sylvestris* L., fire-disturbed areas, forest crops, seedlings with a closed root system, survival rate, seedling survival, forest-steppe areas of the Trans-Baikal Territory

**Acknowledgements:** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

**For citation:** Banshchikova E.A., Zhelibov T.V., Pomazkova N.V. Survival Rate of Seedlings with Closed Root System in Forest-Steppe Regions of Transbaikalia. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 59–72. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-59-72>

### Введение

На современном этапе искусственного лесовосстановления в отечественной и международной практике все большие объемы набирает посадка лесных культур сеянцами или саженцами с закрытой корневой системой (ЗКС) [11, 17, 28, 30, 31, 34–39, 41]. Главным достоинством посадочного материала с ЗКС является возможность его высадки в любое время вегетационного периода. Такие сеянцы легче переносят транспортировку и пересадку, что сводит к минимуму риск повреждений и, как следствие, значительно улучшает приживаемость растений. Согласно правилам лесовосстановления, посадочного материала с ЗКС на 1 га требуется меньше по сравнению с посадочным материалом с открытой корневой системой (ОКС), что делает данный метод не только эффективным с лесоводственной точки зрения, но и экономически целесообразным.

Однако существует проблема низкой приживаемости лесных культур с ЗКС. Большинство исследователей считают, что одной из множества причин на ранних стадиях развития здесь являются почвенно-климатические условия – сильное испарение влаги из почвы [24, 32], а также несоблюдение технологии посадки, в частности, применение механизированной посадки и под меч Колесова [1]. На сухих песчаных почвах влажность верхнего слоя снижается до уровня завядания растений, что приводит к гибели сеянцев, не достигших корнями капиллярной влаги [6].

Анализ научных исследований подтверждает зависимость эффективности искусственного лесоразведения от ряда факторов – лесорастительных, климатических и почвенных условий региона, качества посадочного материала, биологических особенностей пород растений, технологии создания лесных культур и др. [7, 9, 23, 26, 29, 33, 40]. Кроме того, способ обработки почвы при создании лесных культур влияет на видовое разнообразие напочвенного покрова и его эколого-ценологическую структуру [12].

По данным Государственной лесной службы Забайкальского края, с 2018 по 2023 г. в границах участковых лесничеств административных районов проведены работы по искусственному лесовосстановлению (в т. ч. компенсационному) с использованием сеянцев и саженцев с ОКС и ЗКС на площади 13 017,24 га. Искусственное лесовосстановление в крае проводится в большей степени на площадях эксплуатационных лесов (80,9–83,9 %), в меньшей – защитных (14,1–18,6 %), лесопарковых (1,6 %) и орехопромысловых (0,3 %).

Традиционно в Забайкальском крае лесовосстановительные работы выполняются саженцами с ОКС. В рамках компенсационного лесовосстановления в Забайкалье стали применять и посадочный материал ЗКС – только с 2022 г. Объем данных посадок за год вырос в 5 раз, что составило в 2023 г. 1074,95 га. Посадки проводились сеянцами 1-й и 2-й ротаций, выращенными в теплицах и прошедшими закаливание.

Цель данного исследования заключается в независимой оценке состояния лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданных на пи-

рогенно нарушенных территориях посадочным материалом с ЗКС в условиях Забайкальского края с 2022 по 2023 гг., по результатам проведенной технической приемки и инвентаризации представителями лесного хозяйства. Задачей является изучение приживаемости лесных культур сосны в зависимости от различных природно-климатических условий и времени посадок, а также анализ эффективности компенсационного лесовосстановления с использованием сеянцев с ЗКС.

### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования являются лесные культуры, созданные сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС в рамках компенсационного лесовосстановления на участках сосновых лесов, погибших в результате пожаров. Местом – 3 лесничества – Ононское, Верх-Читинское и Читинское, т. к. в них проведены посадки наибольших объемов по Забайкальскому краю за указанный период. Территории данных лесничеств, согласно приказу Минприроды РФ от 18 авг. 2014 г. № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (с изменениями на 2 авг. 2023 г.), располагаются в 2 административных и лесорастительных районах: Забайкальском лесостепном районе Лесостепной зоны (Ононское лесничество); Забайкальском горном лесном районе Южно-Сибирской горной зоны (Верх-Читинское и Читинское лесничества).

Для территории характерен резко континентальный климат с недостатком осадков в летний период, продолжительной зимой и наличием поздних летних и ранних осенних заморозков. Согласно эколого-фитоценологическому районированию, выбранные лесничества относятся к единому округу, в котором объединены южно-таежные и подтаежные леса и лесостепи. При этом Ононское лесничество отнесено к теплым (сумма активных температур вегетационного периода – 1800–2000 °С) и сухим (индекс Будыко – 2,0) местообитаниям, а территория Верх-Читинского и Читинского лесничеств к теплым (1600–1800 °С) и недостаточно влажным (1,5–2,0) местообитаниям [13].

Предшествующим типом леса в Ононском районе являлся остепненный сосновый бор из сосны обыкновенной, образованный ее климатипом – сосной Крылова (*Pinus sylvestris* subsp. *krylovii* (Serg. et Kondr.) Busik), преимущественно мертвопокровный или злаково-разнотравный. Особенность остепненного травяного покрова заключается в его сходстве по составу с прилегающими к границам леса степями [16]. Цасучейский бор – аналог ленточных боров Западной Сибири. В Читинском районе лесным культурам предшествовали рододендроновые, бруснично-рододендроновые, а также травяные сосновые и сосново-лиственничные леса с примесью березы на склонах разных экспозиций. Преобладал подлесок из рододендрона даурского (*Rhododendron dauricum* L.), в травяно-кустарничковом ярусе отмечалась брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и косяника (*Rubus saxatilis* L.), широко представлено мезофильное разнотравье.

Сосновые леса Забайкалья связаны с мощной толщей песчаных и песчано-щебнистых отложений [27]. В пределах лесостепной зоны Ононского лесничества распространены светло-каштановые песчаные почвы. Почвы Южно-Сибирской горной зоны – горно-таежные дерновые, горные дерново-подтаежные.

Осенью 2022–2023 гг. на 188 га площади Ононского лесничества проведены серии посадок лесных культур сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС. В Верх-Читинском лесничестве посадки сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС осуществлялись в весенний и осенний периоды 2022–2023 гг. на общей территории 355,26 га; Читинского – однократно, только в летний период 2024 г., на площади 218 га.

Создание лесных культур сеянцами с ЗКС проводилось специальной лесопосадочной трубой Pottiputki и в некоторых случаях мечом Колесова вследствие дороговизны трубы, ее непрочности и сложности применения на почвах с повышенной плотностью.

Данные о технической приемке исследуемых лесных культур получены от Управления лесничествами Забайкальского края.

В 2024 г. на лесокультурных площадях, где были выполнены компенсационные посадки материалом с ЗКС, закладывались временные (учетные) пробные площадки (размером 50×50 м), включающие по 10–13 рядов главной породы. Обследование проводили в весенний и осенний периоды с использованием общепринятых методик [15, 23], а также приказа Минприроды РФ № 1024 от 4 дек. 2021 г. «Об утверждении правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления». Особое внимание уделялось определению первоначальной густоты посадки и приживаемости лесных культур, которую рассчитывали как отношение числа жизнеспособных растений к общему числу посадочных мест. Всего было заложено 10 учетных площадок в Ононском и Верх-Читинском лесничествах, а также 5 – в Читинском.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

По данным технической приемки за 2022–2023 гг., приживаемость и сохранность лесных культур по тем районам Забайкальского края, где проводились посадки материала с ЗКС, специалистами лесного хозяйства в большей степени оцениваются как «удовлетворительно» – 99 % и лишь 1 % – «хорошо».

После камеральной обработки полученной информации осуществлен первичный натурный выезд с целью рекогносцировки местности и независимой оценки лесовосстановительных работ на участках посадок сеянцев с ЗКС.

При проведении натуральных обследований на заложенных учетных площадках установлено различное расстояние между рядами: в лесостепном районе – 4–5 м с шагом посадки 0,50–0,75 м с произрастающей в межрядовом пространстве злаково-разнотравной растительностью; в горном лесном – 2,5–3,0 м при шаге посадки в рядах 1,00–1,30 м. Между рядами единично встречаются подрост осины (*Populus tremula* L.), березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew), также рододендрон даурский, брусника и злаково-осоковое редкотравье.

В ходе обследования лесокультурных площадей просматривается значительный отпад сеянцев уже в 1-й год после посадки. При этом состояние посадочного материала на подготовительном этапе, по мнению специалистов, было хорошим. При выкопке саженца спустя год после посадки прикорневой

ком торфяного субстрата сохраняется, наблюдается развитие корневой системы (рис. 1).

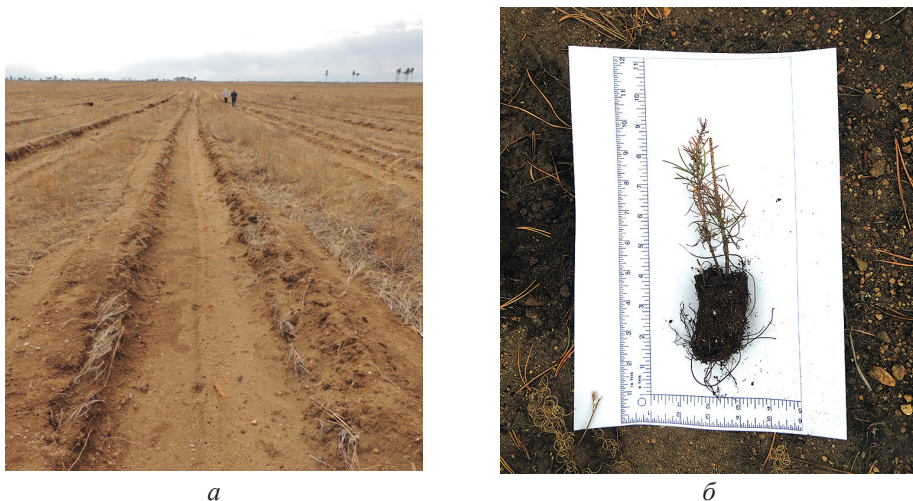


Рис. 1. Компенсационное лесовосстановление сеянцами сосны обыкновенной с ЗКС в лесничествах Забайкальского края: *а* – лесокультурная площадь с использованием сеянцев с ЗКС после полива; *б* – сеянец с ЗКС через год после посадки

Fig. 1. Compensatory reforestation with Scots pine seedlings in the forests of the Trans-Baikal Territory: *a* – silvicultural area using seedlings with closed root system after irrigation; *b* – seedling with closed root system one year after planting

Существенное влияние на приживаемость, рост и развитие лесных культур оказывает ряд факторов – погодно-климатические условия местности, такие как засушливые месяцы первой половины вегетационного периода, тип почвы и ее механический состав, увлажненность, технология посадки и др. Так, неоднократное перепахивание лесокультурных площадей приводит к истощению плодородного слоя почвы и биологического материала. В некоторых случаях следует заметить, что легкий механический состав и сухость почв лесостепной зоны приводят к активизации ветровой эрозии, при которой происходит засекание, а также занесение и замывание песком всего посаженного растения до верхушечной почки, что и наблюдалось в исследуемых районах. На заложенных площадках при линейных измерениях сеянцев было отмечено, что высота части стволика, засыпанной землей, над поверхностью почвы в среднем составляла от 3 до 12 см, а части стволика до шейки корня, расположенной ниже поверхности (в почве), – 13–15 см (рис. 2). Полные исследования линейного прироста, а также биометрических показателей лесных культур представляются затруднительным в связи со смещением песков с бортов лесопосадочной борозды.

При осуществлении подготовительных работ во всех районах применялись большеотвальные плуги, которые создали широкие («открытые») борозды. Верхние слои почвы в пропаханных бороздах прогреваются быстрее, чем необработанной (целик), что негативно сказывается на сохранности и росте культур в период адаптации к условиям лесокультурной площади [21]. В бороздах напочвенный покров местами практически отсутствует, видны проявления щебня мелкой фракции.

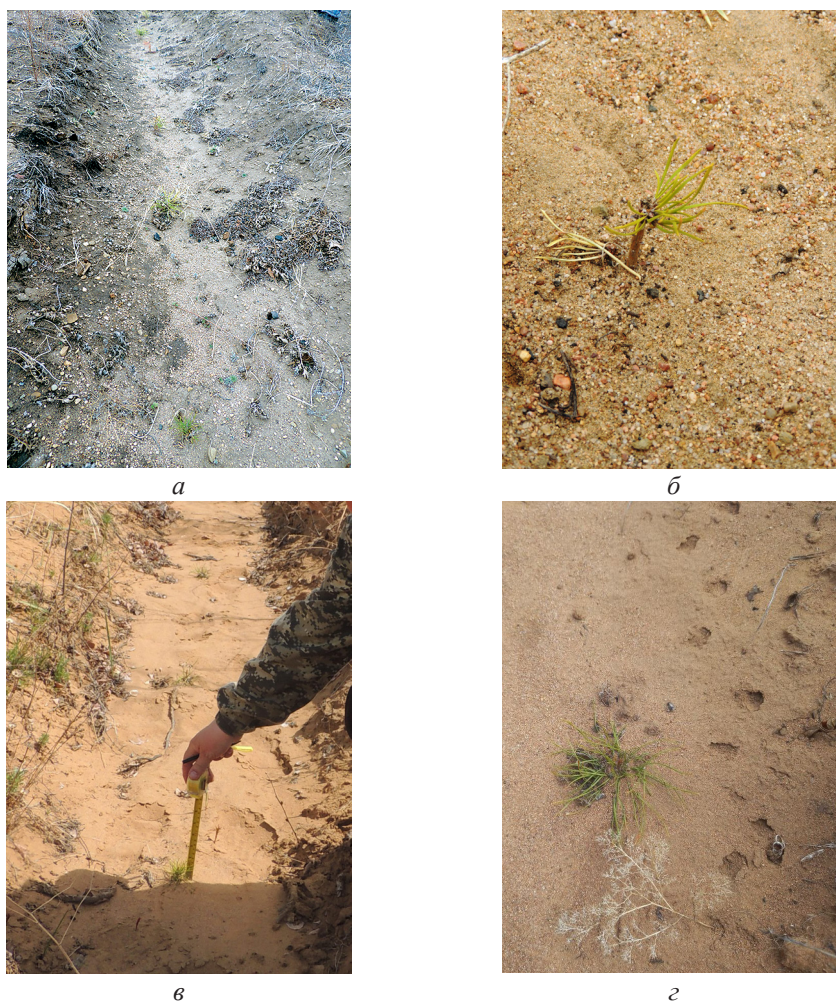


Рис. 2. Лесные культуры сосны обыкновенной с ЗКС в Ононском (а, б) и Верх-Читинском (в, з) лесничествах

Fig. 2. Forest plantations of Scots pine with a closed root system in Ononsky (a, б) and Verkh-Chitinsky (в, з) forest districts

В отдельных случаях из-за повышенной плотности почвы и образования почвенной корки стали применять технологию посадки в стенку борозды. Данный способ не всегда показывает положительный результат – происходит скатывание верхних слоев почвы и засыпание песком семян. Вследствие механического повреждения верхушечных почек происходит усыхание и полная гибель посадочного материала [4], особенно при отсутствии агротехнических уходов, таких как рыхление в борозде. К сожалению, комплекс приемов, направленных на улучшение приживаемости семян, игнорируется исполнителями компенсационных мероприятий или не проводится должным образом (см. рис. 2).

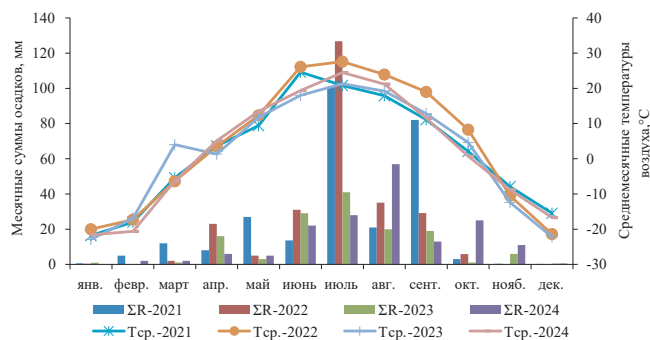
Выбор оптимального срока посадки сосны обыкновенной требует учета множества факторов. Ранневесенняя посадка позволяет сеянцам максимально использовать запасы почвенной влаги, накопленные за зиму. Однако для некоторых регионов присутствует риск вымокания или выжимания семян из-за неблагоприятных погодных и почвенных условий (застойного переувлажнения грунта, постепенного или резкого понижения температуры воздуха и верхне-

го слоя почвы). Посадка в конце лета – начале сентября позволяет избежать высоких температур и засухи, характерных для летнего периода. Осенью, до промерзания земли, пересаженные растения тратят свои силы только на укоренение. Кроме того, температура воздуха становится более комфортной, что способствует успешной адаптации растений к новым условиям.

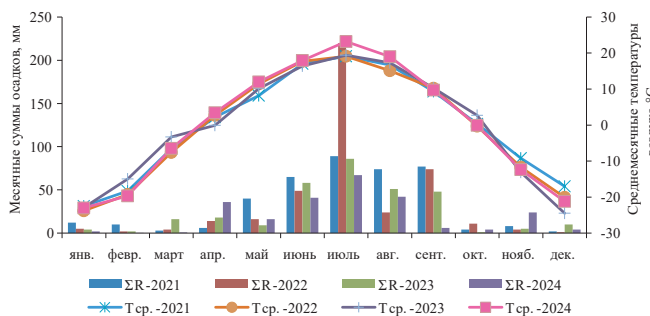
По данным авторов [2, 10, 22], в условиях Забайкальского края оптимальные сроки посадки лесных культур сосны обыкновенной как на горях, так и на вырубках наступают ранней весной (сразу после оттаивания почвы), а также в начале августа и сентябре. Следует отметить, что эти рекомендации были разработаны для посадок саженцев с ОКС и селекционным посадочным материалом в условиях фазы повышенного увлажнения в системе климатических циклов Забайкалья [3, 18, 19].

Согласно исследованиям погодных условий [8, 18–20, 25], начиная с 2000 г. для Забайкалья фиксируется уменьшение сумм осадков на фоне увеличения среднегодовой температуры воздуха, т. е. усиливается аридизация климата, особенно ярко проявляющаяся в степных и лесостепных районах. Исходя из этого, лесостепные районы края, характеризующиеся типичными для степей условиями, в фазу низкого увлажнения требуют особой корректировки как сроков, так и технологий высадки лесных культур.

Другой особенностью Забайкалья является неравномерное распределение осадков в вегетационный период: их низкое количество в мае–июне и максимум во второй половине лета (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Погодные данные по месяцам за вегетационный период 2021–2024 гг.:

а – с. Нижний Цасучей;

б – Чита (<http://www.pogodaiklimat.ru/history.php>;

<https://rp5.ru>;

Тср. – среднесуточные температуры воздуха, °C; ΣR – суммы осадков, мм)

Fig. 3. Monthly weather data during the growing season 2021–2024: а – Nizhny Tsasuchey village; б – Chita (Тср. – average daily air temperatures, °C; ΣR – total precipitation, mm)

Основным преимуществом посадок материала с ЗКС является возможность его высадки в течение всего вегетационного периода. Это позволяет корректировать сроки посадки в зависимости от условий увлажнения [5, 14]. Несмотря на высокие температуры воздуха, начиная с июля складываются

благоприятные условия для лесопосадочных работ с использованием семян с ЗКС. Позднеосенние посадки в Забайкальском крае – в 3-й декаде сентября – опасны из-за заморозков и понижений температур воздуха до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  в ночное время. Таким образом, в условиях Забайкальского края рекомендуется рассмотреть возможность проведения лесопосадочных работ сеянцами с ЗКС в поздневесенний период, а также со 2-й декады июля и не осуществлять посадки с конца сентября.

По данным сводной ведомости технической приемки лесных культур Управления лесничествами Забайкальского края, с 2022 по 2023 гг. качество лесохозяйственных работ в исследуемых районах удовлетворительное. Проведенное независимое обследование подтверждает низкую приживаемость лесных культур и несоблюдение требований к агротехническим уходам за посадками.

В ходе проведения натурного обследования выявлены дополнительные негативные явления: повреждение верхушечной почки дикими копытными (дзюрен *Procapra gutturosa*, сибирская косуля *Capreolus pygargus*) и домашним скотом (коровами) – приводит к развитию боковых побегов и кривизне стволика саженца, что не отвечает требованиям класса качества; наличие вредителей (шишковая огневка *Dioryctria adietella* и смолевка *Pissodes validirostris*) как на отдельно растущих деревьях, так и в куртинах, сохранившихся после пожара – это может привести к гибели прижившихся и подрастающих культур.

Низкая приживаемость становится причиной того, что единичные куртины не образуют сомкнутых древостоев. Другими словами, густота лесных культур не достигнет нормы и нарушенные лесные участки нельзя будет перевести в покрытые лесом площади. Затраченные на выращивание насаждений усилия не приведут к формированию высокопродуктивных искусственных насаждений. Для перевода лесных культур в покрытую лесом площадь и формирования сомкнутых древостоев целесообразно увеличить для лесостепных районов и степных боров количество высаживаемых сеянцев и саженцев с ЗКС с 2000 до 3000 экз./га.

### Выводы

1. Общая лесокультурная площадь компенсационного лесовозобновления в Забайкальском крае на территории исследуемых лесничеств с использованием посадочного материала с ЗКС в 2022–2023 гг. составила 761,27 га.

2. Рекогносцировочное обследование подтверждает итоги технической приемки лесных культур, предоставленные Управлением лесничествами Забайкальского края – приживаемость удовлетворительная. Предварительная независимая оценка показала, что на успешность искусственного лесовосстановления с использованием посадочного материала с ЗКС в Забайкальском крае влияют сроки проведения посадочных работ, их качество и выполнение уходов.

3. Рекомендуется провести научные изыскания для поиска наилучшего способа посадки, т. к. распаханые борозды на песчаных почвах приводят к образованию эрозионных процессов и гибели сеянцев, что, в свою очередь, обуславливает необходимость ежегодного пополнения.

4. Арендаторам земельных участков, в первую очередь в лесостепной зоне, рекомендуется проведение пополнения лесных культур весной следу-

ющего за годом посадки и во второй половине лета с корректировкой сроков в соответствии с оптимумом увлажнения. В условиях циклических колебаний климата необходимы превентивные меры на региональном уровне – ежегодное регулирование сроков высадки с ориентацией, прежде всего, на степень увлажнения песчаных почв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Ананьев Е.М.* Причины низкой приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с закрытой корневой системой // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2017. № 49. С. 58–62.

Ananyev E.M. The Reasons for the Low Survival Rate of Forest Crops Created by Seedlings with a Closed Root System. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = Urgent Problems of the Forest Complex*, 2017, no. 49, pp. 58–62. (In Russ.).

2. *Бобринев В.П., Пак Л.Н.* Сроки посадки лесных культур в лесной зоне Забайкальского края // Междунар. журн. приклад. и фундамент. исследований. 2014. № 5–1. С. 75–78.

Bobrinev V.P., Pak L.N. The Timing of Planting Forest Crops in the Forest area of the Trans-Baikal Territory. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2014, no. 5–1, pp. 75–78. (In Russ.).

3. *Вахнина И.Л., Носкова Е.В.* Изменения климатических условий Юго-Восточного Забайкалья за период вегетации по метеорологическим и дендрохронологическим данным // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 3(381). С. 80–98.

Vakhnina I.L., Noskova E.V. Changes in Climatic Conditions in Southeastern Transbaikalia During the Growing Season According to Meteorological and Dendrochronological Data. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy = Hydrometeorological Research and Forecasting*, 2021, no. 3(381), pp. 80–98. (In Russ.). <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-3-80-98>

4. *Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Кисова С.В., Содбоева С.Ч.* Анализ результатов искусственного лесовосстановления на территории Курбинского лесничества Республики Бурятия // Рациональное использование почвенных и растительных ресурсов в экстремальных природных условиях: материалы науч.-практ. конф. Улан-Удэ: Бурятск. гос. с.-х. акад. им. В.Р. Филиппова, 2022. С. 32–37.

Gladinov A.N., Konovalova E.V., Kisova S.V., Sodboeva S.Ch. Analysis of the Results of Artificial Reforestation in the Territory of the Kurbinsky Forestry District of the Republic of Buryatia. *Rational Use of Soil and Plant Resources in Extreme Natural Conditions: Materials of the Scientific and Practical Conference*. Ulan-Ude, Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, 2022, pp. 32–37. (In Russ.).

5. *Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Содбоева С.Ч.* Сравнительные результаты использования сеянцев сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья // Успехи соврем. естествознания. 2021. № 11. С. 7–12.

Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sodboeva S.Ch. Results of a Comparative Analysis of the Use of Scottal Pine Seedlings with Open and Closed Root System Under Artificial Forest Recovery in the Conditions of Western Transbaikalie. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Successes of Modern Natural Science*, 2021, no. 11, pp. 7–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37705>

6. *Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В.* Причины низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи соврем. естествознания. 2019. № 12. С. 9–13.

Goff A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. Reasons of Low Survival Rate of Common Pine Seedlings with a Closed Root System in Altay Strip-Pine Forests. *Uspekhi*

*sovremennogo estestvoznaniya* = Successes of Modern Natural Science, 2019, no. 12, pp. 9–13. (In Russ.).

7. Данилов Ю.И., Попова А.А., Бурцев Д.С. Влияние факторов технологии создания лесных культур ели на их приживаемость в Лисинском УОЛХ // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2009. № 22. С. 85–87.

Danilov Yu.I., Popova A.A., Burtsev D.S. The Influence of Factors of the Technology of Creating Spruce Forest Crops on Their Survival in Lisinsky WALH. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Actual Problems of the Forest Complex, 2009, no. 22, pp. 85–87. (In Russ.).

8. Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т. Тенденции изменения увлажнения на территории Забайкалья и Монголии в период потепления климата // Вестн. МГПУ. Сер.: Естеств. науки. 2014. № 2(14). С. 37–46.

Dmitrieva V.T., Naprasnikov A.T. Trends of Change of Humidification on the Territory of Transbaikalia and Mongolia During Global Warming. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* = MCU Journal of Natural Sciences, 2014, no. 2(14), pp. 37–46. (In Russ.).

9. Ильинцев А.С., Романов Е.М., Воронин В.В., Богданов А.П. Современная практика искусственного лесовосстановления в таежной зоне европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 1. С. 52–64.

Ilintsev A.S., Romanov E.M., Voronin V.V., Bogdanov A.P. Modern Practice of Artificial Reforestation in the Taiga Zone of the European Part of Russia. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 1, pp. 52–64. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-1-52-64>

10. Ковылина О.П., Ковылин Н.В., Кеня Е.С. Проблемы лесовосстановления в центральном Забайкалье // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2010. № 25. С. 25–28.

Kovylyina O.P., Kovylin N.V., Kenya E.S. Problems of Reforestation in Central Transbaikalia. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Urgent Problems of the Forest Complex, 2010, no. 25, pp. 25–28. (In Russ.).

11. Коновалова Д.А., Братилова Н.П., Мантулина А.В. Рост однолетних сеянцев сосны кедровой сибирской с открытой и закрытой корневой системой // Хвойные бореал. зоны. 2024. Т. 42, № 3. С. 41–50.

Konvalova D.A., Bratilova N.P., Mantulina A.V. Growing of One-year-old Seedlings of *Pinus Sibirica* du tour with Open and Closed Root System. *Hvojnye boreal'nye zony* = Coniferous Boreal Zones, 2024, vol. 42, no. 3, pp. 41–50. (In Russ.).

<https://doi.org/10.53374/1993-0135-2024-3-41-50>

12. Коновалова И.С., Коновалов Д.Ю., Бабич Н.А. Эколого-ценотическая активность видов растений напочвенного покрова на начальных стадиях формирования лесных культур средней подзоны тайги // Хвойные бореал. зоны. 2023. Т. 41, № 3. С. 231–237.

Konvalova I.S., Konvalov D.Yu., Babich N.A. Ecological and Cenotic Activity of Ground Cover Plant Species at the Initial Stages of Forest Crops Formation in Middle Taiga Subzone. *Hvojnye boreal'nye zony* = Coniferous Boreal Zones, 2023, vol. 41, no. 3, pp. 231–237. (In Russ.). <https://doi.org/10.53374/1993-0135-2023-3-231-237>

13. Корреляционная эколого-фитоценотическая карта 1977 М 1:7 500 000 / под ред. В.Б. Сочава, В.Н. Байбородин. Иркутск: Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1977.

*Correlation Ecological and Phytocenotic Map 1977 M 1:7,500,000*. Ed. by V.B. Sochava, V.N. Bayborodin. Irkutsk, Institute of Geography of Siberia and the Far East, 1977. (In Russ.).

14. Крук Н.К., Граник А.М. Разработка новых приемов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой // Тр. БГТУ. Сер. 1.: Лесн. хоз-во. 2015. № 1(174). С. 124–127.

Kruk N.K., Granik A.M. Development of New Methods of Growing Planting Material with a Closed Root System. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 1. Lesnoe hozyajstvo* = Proceedings of BSTU. № 1. Forestry, 2015, no. 1(174), pp. 124–127. (In Russ.).

15. Методические указания по планированию, проектированию, приемке, инвентаризации, списанию объектов лесовосстановления и лесоразведения и оценке эффективности мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению. М.: ВНИИЛМ, 2011. 98 с.

*Methodological Guidelines for Planning, Designing, Acceptance, Inventory, Write-Off of Reforestation and Afforestation Facilities and Assessment of the Effectiveness of Reforestation and Afforestation Activities*. Moscow, All-Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization Publ., 2011. 98 p. (In Russ.).

16. Макаров В.П. Состояние островного соснового бора в степной зоне Забайкалья // Аридные экосистемы. 2015. Т. 21, № 3. С. 56–63.

Makarov V.P. The State of the Island Pine Forest in the Steppe Zone of Transbaikalia. *Aridnye ekosistemy* = Arid Ecosystems, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 56–63. (In Russ.).

17. Морозов А.Е., Батуринов С.В. Эффективность лесовосстановления на сплошных вырубках после применения комплексов многооперационных лесозаготовительных машин в условиях Бисерского лесничества Пермского края // Леса России и хозяйство в них. 2020. № 2(73). С. 50–57.

Morozov A.E., Baturin S.V. Efficiency of Forest Recovery on Continuous Felling After Application of Complexes Multi-Operation Forestry Machines in the Conditions of Bead Forestry of the Perm Region. *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih* = Forests of Russia and Economy in Them, 2020, no. 2(73), pp. 50–57. (In Russ.).

18. Носкова Е.В., Вахнина И.Л. Анализ современных пространственно-временных изменений температуры воздуха в Забайкальском крае // Географич. вестн. 2023. № 1(64). С. 116–126.

Noskova E.V., Vakhnina I.L. Analysis of Modern Spatio-Temporal Changes in Air Temperature in the Trans-Baikal Territory. *Geograficheskij vestnik* = Geographical Bulletin, 2023, no. 1(64), pp. 116–126. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2023-1-116-126>

19. Носкова Е.В., Обызов В.А., Вахнина И.Л. Изменения приземной температуры воздуха на юге Сибири и их взаимосвязь с крупномасштабными циркуляционными процессами в атмосфере // Географич. вестн. 2021. № 2(57). С. 75–84.

Noskova E.V., Obyazov V.A., Vahnina I.L. Variations in the Surface Air Temperature in the South of Siberia and Their Relationship with Large-Scale Circulation Processes in the Atmosphere. *Geograficheskij vestnik* = Geographical Bulletin, 2021, no. 2(57), pp. 75–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-75-84>

20. Обызов В.А., Кирилюк В.Е., Кирилюк А.В. Торейские озера как индикатор многолетних изменений увлажненности Юго-Восточного Забайкалья и Северо-Восточной Монголии // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 3, № 3. С. 204–232.

Obyazov V.A., Kirilyuk V.E., Kirilyuk A.V. Torey Lakes as an Indicator of Moisture Long-Term Changes in Southeastern Transbaikalia and Northeastern Mongolia. *Gidrosfera. Opasnye Processy i Yavleniya* = Hydrosphere. Hazard Processes and Phenomena, 2021, vol. 3, no. 3, pp. 204–232. (In Russ.). <https://doi.org/10.34753/HS.2021.3.3.204>

21. Пак Л.Н., Банщикова Е.А. Сохранность и рост сосновых культур в возрасте 3–5 лет, созданных по обработанной и необработанной почве // Успехи соврем. естествознания. 2016. № 5. С. 64–68.

Pak L.N., Banshikova E.A. The Safety and Growth of Pine Cultures in the Age of 3–5 Years, Created by Treated and Untreated Soil. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* = Successes of Modern Natural Science, 2016, no. 5, pp. 64–68. (In Russ.).

22. Пак Л.Н., Бобринев В.П. Приживаемость, сохранность и рост лесных культур сосны в Цасучейском бору // Изв. СамНЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3-3. С. 1056–1059.

Pak L.N., Bobrinev V.P. Survival, Preservation and Growth of Pine Forest Cultures in Chasucheykiy Forest. *Izvestiya samarskogo nauchnogo centra rossijskoj akademii nauk* = Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2013, vol. 15, no. 3-3, pp. 1056–1059. (In Russ.).

23. Проказин Н.Е., Родин С.А., Турчин Т.Я., Казаков В.И., Лобанова Е.Н. Приживаемость лесных культур, созданных стандартным и укрупненным посадочным материалом, в боровых и судубравных условиях степной зоны // Лесхоз. информ. 2023. № 4. С. 41–52.

Prokazin N., Rodin S., Turchin T., Kazakov V., Lobanova E. Survival Rate of Forest Crops Created by Standard and Enlarged Planting Material in Pine Forests and Forest Conditions of the Steppe Zone. *Lesokhozyajstvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2023, no. 4, pp. 41–52. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.4.04>

24. Саксонов С.С. Влияние засух на приживаемость лесных культур // Самарская Лука: пробл. регион. и глоб. экологии. 2020. Т. 29, № 4. С. 37–42.

Saksonov S.S. Influence of Droughts on the Survival Rate of Forest Crops. *Samarskaya Luka: Problemy Regional'noj i Global'noj Ekologii* = Samara Onion: Problems of Regional and Global Ecology, 2020, vol. 29, no. 4, pp. 37–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2073-1035-20120-10354>

25. Смахтин В.К. Оценка изменений температуры воздуха и осадков на территории Забайкалья // Гидрометеорологич. исследования и прогнозы. 2021. № 2(380). С. 138–146.

Smakhtin V.K. Assessment of Changes in Air Temperature and Precipitation in Transbaikalia. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* = Hydrometeorological Research and Forecasting, 2021, no. 2, pp. 138–146. (In Russ.). <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-2-138-146>

26. Степанова О.П., Бурцев Д.С. Влияние почвообрабатывающей скандинавской техники на плотность почвы и приживаемость лесных культур // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2007. № 17. С. 245–247.

Stepanova O.P., Burtsev D.S. The Influence of Scandinavian Tillage Techniques on Soil Density and Survival of Forest Crops. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Actual Problems of the Forest Complex, 2007, no. 17, pp. 245–247. (In Russ.).

27. Типы местности и природное районирование Читинской области. М.: АН СССР, 1961. 157 с.

*Types of Terrain and Natural Zoning of the Chita Region*. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1961. 157 p. (In Russ.).

28. Третьякова Р.А., Паркина О.В., Якубенко О.Е., Якубенко А.А. Биометрические показатели саженцев хвойных пород с открытой и закрытой корневой системой // Лесхоз. информ. 2023. № 2. С. 136–145.

Tretyakova R., Parkina O., Yakubenko O., Yakubenko A. Biometric Indicators of Seedlings of Coniferous Species with an Open and Closed Root System. *Lesokhozyajstvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2023, no. 2, pp. 136–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2023.2.11>

29. Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. Impact of Heavy Traffic on Forest Soils: A Review. *Forest Ecology and Management*, 2015, no. 338, pp. 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>

30. Christiansen A., Putney J., Bennett M., Ahrens G. Reforestation in Oregon. *Tree Planters' Notes*, 2023, vol. 66(2), pp. 4–27. <https://doi.org/10.1007/s11056-023-10020-y>

31. Clabo D.C., Clatterbuck W.K. Establishment and Early Development of Even-Age Shortleaf Pine-Hardwood Mixtures Using Artificially Regenerated Shortleaf Pine and Various Site Preparation and Release Treatments. *Forest Science*, 2020, vol. 66, no. 3, pp. 351–360. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxz082>

32. Cregg B., Zhang J. Physiology and Morphology of *Pinus Sylvestris* Seedlings from Diverse Sources Under Cyclic Drought Stress. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 154(1/2), pp. 131–139. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00626-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00626-5)
33. Derbina M.A. Growing of Seedlings in the Closed Soil with Addition of Biohumus. *Journal of International Scientific Publication: Ecology & Safety*, 2013, vol. 7(4), pp. 61–73.
34. Hypponen M. Artificial Forest Regeneration Techniques in Finland. *Forest Regeneration in the Northern Parts of Europe: Proceedings of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar*. Vuokatti, Finland, 2000, pp. 159–168. <https://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1757-9>
35. Landis Th.D., Amaranthus M.A. Inoculate with Mycorrhizae, Rebuild Your Soil, and Help Stop Global Warming. *Forest Nursery Notes*, 2009, vol. 29(1), pp. 13–16.
36. Mainhart D., Christoffersen B., Thompson R., Reemts Ch., Fierro-Cabo A. Preparing for the Worst: Enhancing Seedling Traits to Reduce Transplant Shock in Semi-Arid Regions. *Forests*, 2024, vol. 15(9), p. 1607. <https://doi.org/10.3390/f15091607>
37. Mc Carthy R., Rytter L., Hjelm K. Effects of Soil Preparation Methods and Plant Types on the Establishment of Poplars on Forest Land. *Annals of Forest Science*, 2017, vol. 74, art. no. 47. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0647-9>
38. Preece N., Van Oosterzee P., Lawes M. Reforestation Success Can Be Enhanced by Improving Tree Planting Methods. *Journal of Environmental Management*, 2023, vol. 336, p. 117645. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117645>
39. Uehara I. New Reforestation by Planting and Natural Regeneration and Welfare Utilization in Japan. *Journal of Forest and Human Health Promotion Research*, 2023, vol. 4, p. 11–19.
40. Wallenius P. Planting of Regeneration Areas in Finland. *Forest Regeneration in the Northern Parts of Europe: Proceedings of the Finnish-Russian Forest Regeneration Seminar*. Vuokatti, Finland, 2000, pp. 41–48.
41. Zhang J., Webster J., Powers R.F., Mills J. Reforestation After the Fountain Fire in Northern California: An Untold Success Story. *Journal of Forestry*, 2008, vol. 106(8), pp. 425–430. <https://doi.org/10.1093/jof/106.8.425>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 576.316

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-73-87

## Технология клонального микроразмножения реликтовых голосеменных растений *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.

С.М. Зайцева<sup>1,3</sup>✉, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [AAE-5391-2022](https://orcid.org/0000-0001-9137-3774),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9137-3774>

Е.Л. Болотина<sup>1</sup>, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9006-6044>

Е.А. Калашникова<sup>2</sup>, д-р биол. наук, проф.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2655-1789>

Р.Н. Киракосян<sup>1</sup>, канд. биол. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5244-4311>

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, д. 49, Москва, Россия, 127434; smzaytseva@yandex.ru✉, lizavetarodbol@yandex.ru, mia41291@mail.ru

<sup>2</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, ул. Ботаническая, д. 35, Москва, Россия, 127276; kalash0407@mail.ru

<sup>3</sup>Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, ул. Академика Скрябина, д. 23, Москва, Россия, 109472; smzaytseva@yandex.ru✉


Поступила в редакцию 12.02.25 / Одобрена после рецензирования 18.05.25 / Принята к печати 19.05.25

**Аннотация.** *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. – самое высокое реликтовое растение, способное накапливать уникальные вторичные метаболиты, которые могут найти применение в фармакогнозии. Секвойя вечнозеленая репродуктивно уязвима, поэтому особую актуальность приобретают методы биотехнологии для создания генетических банков и биоресурсных коллекций *in vitro*. Объектом исследования служили черенки *S. sempervirens*, заготовленные с дерева, произрастающего в фондовой оранжерее Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (Москва). В работе изучали связь минерального и гормонального составов питательной среды, а также расположения части побега, с которой изолирован черенок, и эффективности размножения секвойи *in vitro*. Ступенчатая стерилизация 0,1%-м раствором хлорида ртути в течение 18 мин приводила к получению хорошо растущей стерильной культуры (более 80 %). Установлено, что первоначально необходимо выращивать черенки на безгормональной питательной среде, содержащей минеральные соли по MS, а в дальнейшем на среде, в состав которой включены 2 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты + 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина + 0,5 мг/л нафталинуксусной кислоты либо 2 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты + 2 мг/л N6-(дельта-2-изопентенил)-аденина для размножения. Для укоренения целесообразно переносить регенеранты на питательную среду с 2 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты + 0,5 мг/л 6-бензиламинопурина + 0,5 мг/л нафталинуксусной кислоты в составе. После формирования клонами корневой системы они помещаются в почвенный субстрат под полиэтиленовое укрытие при 16-часовом фотопериоде для адаптации к условиям *ex vitro*.

**Ключевые слова:** *Sequoia*, клоны, реликтовые голосеменные растения, *in vitro*

**Благодарности:** Коллектив авторов выражает признательность агроному Главного Ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН Кучерову Антону Валерьевичу за предоставление растительного материала. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 24-76-00070 «Получение клеточных культур *in vitro* реликтовых и находящихся под угрозой исчезновения голосеменных растений рода *Sequoia* и изучение биологической активности ее метаболитов» (РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева).

© Зайцева С.М., Болотина Е.Л., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Для цитирования:** Зайцева С.М., Болотина Е.Л., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н. Технология клонального микроразмножения реликтовых голосеменных растений *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 73–87. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-73-87>

Original article

## Clonal Micropropagation Technology of Relict Gymnosperms *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.

**Svetlana M. Zaytseva**<sup>1,3</sup>✉, *Candidate of Biology, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [AAE-5391-2022](https://orcid.org/0000-0001-9137-3774), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9137-3774>

**Elizaveta L. Bolotina**<sup>1</sup>, *Postgraduate Student*; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9006-6044>

**Elena A. Kalashnikova**<sup>2</sup>, *Doctor of Biology, Prof.*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2655-1789>

**Rima N. Kirakosyan**<sup>1</sup>, *Candidate of Biology, Assoc. Prof.*;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5244-4311>

<sup>1</sup>Department of Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, ul. Timiryazevskaya, 49, Moscow, Russian Federation, 127434; [smzaytseva@yandex.ru](mailto:smzaytseva@yandex.ru)✉, [lizavetarodbol@yandex.ru](mailto:lizavetarodbol@yandex.ru), [mia41291@mail.ru](mailto:mia41291@mail.ru)

<sup>2</sup>Department of Cell Biology and Biotechnology, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, ul. Botanicheskaya, 35, Moscow, Russian Federation, 127276; [kalash0407@mail.ru](mailto:kalash0407@mail.ru)

<sup>3</sup>Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, ul. Akademika Skryabina, 23, Moscow, Russian Federation, 109472; [smzaytseva@yandex.ru](mailto:smzaytseva@yandex.ru)✉

Received on February 12, 2025 / Approved after reviewing on May 18, 2025 / Accepted on May 19, 2025

**Abstract.** *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. is the tallest relict plants capable of accumulating unique secondary metabolites that can be used in pharmacognosy. Given the documented reproductive vulnerability of the coast redwood, biotechnological methods for establishing *in vitro* genetic banks and bioresource collections are increasingly relevant for the preservation of its gene pool. This study utilized nodal segments of *S. sempervirens* harvested from a donor tree maintained in the stock greenhouse of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences (Moscow). The research investigates the effects of mineral and hormonal nutrient media compositions, as well as the explant's original position on the shoot, on *in vitro* propagation efficiency. Stepwise sterilization using a 0.1 % (w/v) mercuric chloride solution for 18 min resulted in a successful sterile culture rate exceeding 80 %. Findings indicate that explants should initially be cultured on a hormone-free Murashige and Skoog (MS) basal medium, followed by a proliferation medium supplemented with either 2 mg/L 2,4-D + 0.5 mg/L BAP + 0.5 mg/L NAA or 2 mg/L 2,4-D + 2 mg/L 2iP for effective multiplication. For rooting, it is advisable to transfer regenerants to a medium containing 2 mg/L 2,4-D + 0.5 mg/L BAP + 0.5 mg/L NAA. Following the development of the root system, the resulting clones are prepared for *ex vitro* transfer. Acclimatization is conducted in a soil substrate under a polyethylene cover with a 16-hour photoperiod to support the transition to *ex vitro* conditions.

**Keywords:** *Sequoia sempervirens*, clones, relict plants, *in vitro*

**Acknowledgements:** The team of authors expresses its gratitude to Anton V. Kucherov, agronomist of the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences, for providing plant material. The study was carried out as part of the research project No. 24-76-00070.

**For citation:** Zaytseva S.M., Bolotina E.L., Kalashnikova E.A., Kirakosyan R.N. Clonal Micropropagation Technology of Relict Gymnosperms *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 73–87. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-73-87>

### Введение

*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. – это эндемичное и самое высокое реликтовое растение, характеризующееся ограниченным ареалом – узкая полоса вдоль тихоокеанского побережья Северной Америки, от штата Калифорния до штата Орегон. Доступность почвенной влаги и частота образования туманов являются решающими факторами для определения среды обитания секвойи вечнозеленой [18, 21]. В природных популяциях высота единичных экземпляров этого растения достигает более 100 м, а возраст некоторых деревьев оценивается более чем в 2500 лет [12, 13, 15, 16, 23, 33, 34, 36].

Несмотря на уникальные климатические условия в естественном ареале, коэффициент размножения секвойи вечнозеленой при помощи семян невысокий, в т. ч. из-за аномалии в развитии эмбрионов и низкого уровня выработки пыльцы. Только одно из миллиона семян гигантской секвойи прорастает в естественных условиях. При этом выживаемость саженцев в течение 1,5 года составляет всего 1,4 %. Взрослое дерево крайне редко способно дать больше 1 выжившего саженца за десятилетие [27].

Для секвойи вечнозеленой отмечена физиологическая особенность, способствующая сохранению этого уникального растения, – способность возобновляться порослью [30]. Молодые побеги отрастают от пня или сломанного живого ствола, формируя новый молодой ствол. В ходе исследования возрастных насаждений обнаружено, что значительное количество стволов секвойи не обособлены генетически, а представляют собой отростки более крупных деревьев и, таким образом, являются результатом клонирования, а не размножения семенами [32]. Однако в некоторых случаях отмечено, что не все стебли в «волшебном кольце» были идентифицированы как часть одного и того же клона [17]. Предполагается, что молодая поросль растений, входящих в структуру «волшебного кольца», может получать углеводы, воду и питательные вещества от деревьев, растущих рядом с ними, что позволяет секвойям вытеснять другие хвойные деревья и восстанавливаться даже в глубокой тени под собственным пологом. Это объясняет феномен выживания «белых секвой», лишенных хлорофилла, когда они полностью зависят от корневой системы деревьев, растущих рядом с ними. Таким образом, распространение клонов может влиять на генетическую структуру внутри и между популяциями секвойи, эффективную численность популяции, естественный отбор и эволюцию географического ареала [19].

Для секвойи характерен еще один способ вегетативного размножения, в основе которого лежат метаморфозы ткани ствола в виде множественных наплывов с латентными почками внутри – капами. Формирование капа (стволового или прикорневого) всегда связано с развитием спящих почек. Хвойные породы значительно реже образуют капы по сравнению с покрытосеменными растениями [4].

Секвойя имеет ценную древесину, характеризующуюся долговечностью, устойчивостью к огню, гниению и патогенам, накоплением уникальных метаболитов, не имеющих синтетических аналогов [14, 15, 22, 29, 35, 37]. Растительные

экстракты секвойи вечнозеленой оказывают мощное антиоксидантное действие и могут использоваться в качестве препаратов с широким спектром действия, в частности, ингибировать рост раковых клеток человека [24]. Вероятно, такие свойства обусловлены активным синтезом вторичных метаболитов, что характерно для определенных представителей голосеменных растений [8, 10]. Ранее нами было показано, что клеточные культуры секвойи вечнозеленой способны накапливать значительное количество вторичных метаболитов, в т. ч. и фенольной природы, которые могут найти применение в фармакогнозии [2]. Итак, секвойя представляет интерес не только для лесной, но и для фармакологической промышленности.

В настоящее время особенно остро стоит вопрос истощения природных популяций дикорастущих растений. Под угрозу исчезновения в первую очередь попадают реликтовые и имеющие высокую народно-хозяйственную ценность растения. Как правило, это происходит из-за чрезмерной антропогенной нагрузки, включающей уничтожение ареала произрастания, в т. ч. в связи со слишком большим и неконтролируемым сбором продуктов леса. Несмотря на уникальные морфо-физиологические особенности секвойи, способствующие реализации стрессотолерантной стратегии выживания, эти растения относятся к реликтовым видам и имеют ограниченный, узкоспециализированный эндемичный ареал распространения в природе [9, 13, 31]. Поэтому на данный момент большое практическое значение приобретают технологии, позволяющие проводить возобновление растительного материала секвойи без его изъятия из природной среды. В связи с этим для сохранения биоразнообразия редких, лекарственных, а также исчезающих видов растений целесообразно применять методы биотехнологии и создавать генетические банки *in vitro*. К таким технологиям относятся методы культуры тканей *in vitro*, среди которых наиболее результативным является метод клонального микроразмножения. Он позволяет исследователям круглогодично работать с ограниченным объемом исходного материала в лабораторных условиях и в дальнейшем получать генетически стабильный, здоровый посадочный материал с высоким коэффициентом размножения. Например, исследователями был представлен способ размножения *in vitro* секвойядендрона гигантского (*Sequoiadendron giganteum*) и кедра сибирского (*Pinus sibirica*) [5, 6]. Однако недостатком методов является получение растений-регенерантов из каллусной ткани, что приводит к проявлению соматоклональной вариабельности и не обеспечивает генетической стабильности посадочного материала.

Анализ литературных данных показывает, что большинство исследований направлено на разработку методов, повышающих естественное возобновление секвойи и учитывающих ее морфо-физиологические особенности [17, 22]. Что касается работ по получению культур *in vitro* растений рода *Sequoia* как потенциальных источников гомогенных и генетически стабильных популяций, обладающих ценными вторичными метаболитами, то они малочисленны [1, 20]. Необходима разработка технологии *in vitro* для быстрого получения высококачественных растений *S. sempervirens*, обладающих устойчивостью к биотическим стрессам окружающей среды и высокой продуктивностью по отношению к синтезу вторичных метаболитов. Кроме того, особую актуальность приобретает разработка мероприятий, способствующих стабильному укоренению [26] и адаптации растений-регенерантов в условиях *ex vitro*.

Цель настоящей работы – предложить высокоэффективную технологию массового получения в условиях *in vitro* клонов *S. sempervirens* с их последующей адаптацией к условиям *ex vitro*.

*Объекты и методы исследования*

Объектом исследования служили черенки *S. sempervirens*, заготовленные с дерева (возраст – 11 лет, инвентарный номер – 2015.10612 01), произрастающего в оранжерее на территории Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (Москва), с ноября по декабрь 2022 г, с побегов 1-го года вегетации из нижнего яруса.

Первичные экспланты перед введением в культуру *in vitro* подвергали стерилизации. Для этого черенки промывали в слабом растворе перманганата калия в течение 5 мин, затем споласкивали проточной водой. После этого в условиях ламинар-бокса черенки обрабатывали стерилизующими веществами – 0,1%-м раствором хлорида ртути (экспозиция воздействия составила 15–20 мин) и 7%-м раствором гипохлорита натрия (15 мин). После этого экспланты 3 раза промывали стерильной дистиллированной водой и подсушивали на стерильной фильтровальной бумаге для удаления лишней влаги. Затем все черенки выдерживали в 0,2%-м растворе индолил-3-масляной кислоты (ИМК) в течение 2 ч, разрезали скальпелем на сегменты длиной до 2 см с сохранением хвои и помещали вертикально в биологические пробирки на агаризованную безгормональную питательную среду Мурасига и Скуга (MS) или Woody plant medium (WPM) [25, 28], в качестве антиоксидантного компонента добавляли 1 г/л поливинилпирролидона. рН питательной среды во всех вариантах составлял 5,8. Пробирки помещали в световую комнату на стеллажи под белые линейно-люминесцентные лампы, интенсивность – 150 мкмоль/м<sup>2</sup>·с и выращивали при температуре 23 ± 1 °С и 16-часовом фотопериоде. После 2 циклов культивирования (каждый цикл по 35–40 сут.) сформировавшиеся микропобеги переносили на питательную среду с тождественным минеральным составом, дополненную различными гормонами с ауксиновой и цитокиновой активностью. В работе изучали влияние 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д), 6-бензиламинопурина (БАП), нафталин- и индолилуксусной кислот (НУК и ИУК соответственно), N6-(дельта-2-изопентенил)-аденина (2iP), ИМК в различных концентрациях и сочетаниях:

- 1) MS без гормонов;
- 2) ½ минеральных солей по MS без гормонов;
- 3) MS + 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л БАП;
- 4) MS + 2,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП;
- 5) MS + 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 2iP;
- 6) MS + 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК;
- 7) MS + 3 мг/л ИУК;
- 8) WPM без гормонов.

Все вещества являются продуктами производства немецкой фирмы Merck.

Пересадку культуры осуществляли каждые 5–6 нед., при этом учитывали биометрические и морфологические показатели сформировавшихся микропобегов: количество побегов (шт.), их длину (см), количество адвентивных почек (шт.), ризогенез (%), коэффициент размножения (произведение количества побегов/эксплантов) рассчитывали согласно общепринятой методике [3].

Сформировавшиеся клоны секвойи вечнозеленой переносили в условия *ex vitro* для адаптации. Использовали почвенный субстрат (садовая земля, песок, перлит – 1:1:1). Клоны помещали в контейнеры вместимостью 0,5 л, за-

полненные увлажненным почвенным субстратом, и накрывали прозрачным «колпаком» из полиэтилена для предотвращения хаотичной транспирации и обезвоживания побегов. Контейнеры с клонами размещали в гроу-боксах, в которых поддерживали температуру 22 °С, 16-часовой фотопериод и освещение белыми люминесцентными лампами с интенсивностью 150 мкмоль/м<sup>2</sup>·с. После 2–3 нед. полиэтиленовое укрытие снимали и продолжали выращивать растения-регенеранты в гроу-боксах с сохранением влажности воздуха не менее 85–90 %.

Выполняли 20 биологических и 2–3 аналитические повторности. Средние показатели рассчитаны с использованием Microsoft Office Excel (Microsoft, США). В таблице и на диаграммах представлены средние арифметические значения и доверительные интервалы.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Установлено, что наибольший выход стерильных эксплантов (более 80 %) был получен при временной экспозиции воздействия хлорида ртути на черенки секвойи вечнозеленой 18 мин. В этом варианте на 20–30-е сутки культивирования отмечалось формирование из спящих почек побегов, которые характеризовались активным ростом и имели ярко-зеленую хвою. Увеличение экспозиции воздействия хлорида ртути до 20 мин приводило к формированию стерильных эксплантов, часть из которых (40 %) была нежизнеспособна.

Использование гипохлорита натрия в качестве стерилизатора оказалось неэффективно из-за низкой жизнеспособности эксплантов и образования по всей поверхности черенков некротических очагов (табл. 1).

Таблица 1

### **Влияние стерилизующих агентов на получение асептической культуры черенков секвойи вечнозеленой** **Effect of sterilizing agents on the establishment of an aseptic culture in evergreen redwood cuttings**

Стерилизатор	Концентрация, %, w/v	Продолжительность воздействия, мин	Стерильные черенки, %	Зараженные черенки, %	Примечание
Гипохлорит натрия	7,0	15	28,4±1,4	71,6±3,1	Низкая жизнеспособность эксплантов, повсеместные некротические очаги
Хлорид ртути (II)	0,1	15	30,6±1,4	69,4±3,1	После 5–7 дн. культивирования эксплантов наблюдается выход внутритканевой инфекции
		18	82,1±3,3	17,9±1,2	15 % стерильных эксплантов нежизнеспособны
		20	91,1±3,8	8,9±0,7	Более 40 % стерильных эксплантов нежизнеспособны

Успех клонального микроразмножения зависит от различных факторов, в частности, от минерального и гормонального составов питательной среды [3, 5]. Минеральный состав питательной среды (минеральные соли по MS и WPM) оказал существенное влияние на морфогенетический потенциал первичных микрочеренков (табл. 2). Среда MS отличается высокой концентраци-

ей неорганических солей, сбалансированный состав которых позволяет удовлетворять при культивировании потребности различных типов растительных тканей. Напротив, в среде WPM содержание неорганических солей ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) ниже, чем в среде MS, либо они отсутствуют ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ), что обеспечивает более подходящие условия для роста тканей древесных растений.

Таблица 2

**Влияние минерального состава питательной среды на биометрические показатели побегов и коэффициент размножения секвойи вечнозеленой**  
**Effect of nutrient medium mineral composition on shoot biometrics and multiplication rate of evergreen redwood**

Питательная среда	Коэффициент размножения	Средняя длина побегов, см
MS	9,4±1,2	12,5±2,1
WPM	1,3±0,2	7,3±1,1

Визуальные наблюдения показали, что на среде MS, как правило, формировались побеги правильной морфологии (рис. 1, а), в то время как на среде WPM отмечалось образование дедифференцированных клеток в базальной части микрочеренков, которые быстро делились с формированием рыхлой каллусной ткани. Это приводило к ингибированию роста апикальной меристемы и затрудняло процесс развития микропобегов. Однако в единичных случаях из апикальных меристем формировались микропобеги, которые характеризовались медленным ростом и низким коэффициентом размножения. Кроме того, в этом варианте наблюдалась витрификация вновь сформировавшихся микропобегов с одновременной некротизацией хвои (рис. 1, б, в). Вероятно, сформировавшаяся каллусная ткань, которая состояла из крупных, оводненных, слабо лигнифицированных клеток и имела увеличенные межклеточные пространства, обуславливает большее поглощение воды из питательной среды из-за уменьшения давления клеточной стенки.

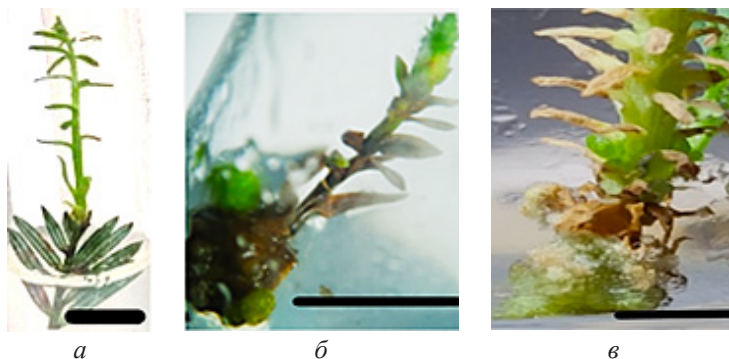


Рис. 1. Побег секвойи вечнозеленой: а – рост меристемы и формирование микропобега на питательной среде MS *in vitro*; б – формирование каллусной ткани на среде WPM; в – витрифицированные микропобеги на среде WPM (шкала измерений: а, б – 1 см; в – 0,5 см)

Fig. 1. *Sequoia sempervirens in vitro* culture: а – meristem growth and microshoot formation on MS medium; б – callus tissue formation on WPM medium; в – itrified microshoots on WPM medium. Scale bars: а, б – 1 cm; в – 0.5 cm

Полученные результаты согласуются с данными по итогам работ других исследователей, которые отмечали формирование витрифицированных побегов

на питательной среде WPM [7]. О преимуществе питательной среды с минеральным составом по прописи MS свидетельствуют исследования размножения в культуре *in vitro* некоторых редких и реликтовых хвойных растений, таких как *Taxus chinensis*, *T. brevifolia*, *T. wallichiana*, *Sequoiadendron* и др.: показаны индукция образования адвентивных почек, формирование микропобегов с последующим укоренением [29, 34].

При разработке технологии клонального микроразмножения растений необходимо учитывать не только состав питательной среды, но и происхождение экспланта, в частности, с какой части (верхняя, средняя, нижняя) микропобегов был взят микрочеренок.

С целью исключения влияния фитогормонов на ростовые и морфо-физиологические характеристики микрочеренков, полученных из различных частей микропобегов, все работы проводили на безгормональной питательной среде MS.

Наилучшими ростовыми характеристиками обладали микрочеренки из верхней части микропобегов, а микрочеренки, изолированные из нижней части, уступали по темпам роста (рис. 2). Причем эта закономерность начинала проявляться уже на 15-е сутки с начала культивирования и сохранялась на протяжении всего цикла выращивания (35 сут.).

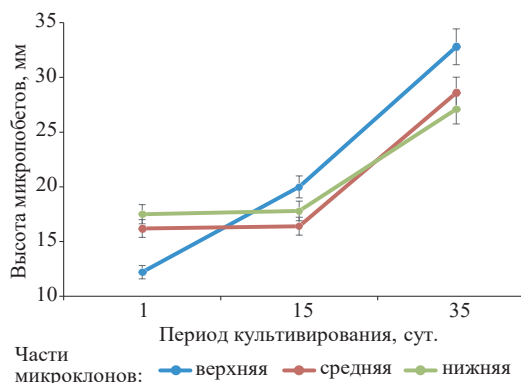


Рис. 2. Влияние происхождения микрочеренков на высоту сформировавшихся микропобегов секвойи вечнозеленой

Fig. 2. Effect of explant origin on the height of *Sequoia sempervirens* microshoots

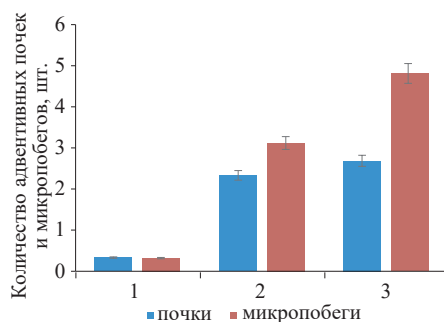
Анализ эффективности образования адвентивных почек с последующим развитием из них микропобегов демонстрирует влияние происхождения микрочеренков (верхняя, средняя, нижняя часть микропобега) на этот процесс. Установлено, что наибольшим потенциалом образовать адвентивные почки обладали микрочеренки, изолированные с нижних частей микропобегов (в среднем 5 шт. на микрочеренок), а наименьшим – микрочеренки с верхних частей клонов (в среднем 0,3 шт. на микрочеренок) (рис. 3). Полученные результаты достоверны на 5%-м уровне значимости. Вероятно, такая ответная реакция обусловлена неравномерным распределением эндогенных питательных веществ по микропобегам при выращивании.

На следующем этапе клонального микроразмножения необходимо установить оптимальные условия, обеспечивающие не только высокий коэффициент размножения, но и быстрое формирование микропобегов. Для этого в питательную среду, как правило, добавляют гормоны с ауксиновой и цитокининовой активностью. В работе использовали микрочеренки длиной 2–3 см, изолированные с верхней части микропобегов, для культивирования на питательной среде MS, дополненной различным сочетанием гормонов. Данная среда была выбрана на основании ранее проведенных нами исследова-

ний с доказательством эффективности ее применения для культивирования *S. sempervirens in vitro*.

Рис. 3. Зависимость образования адвентивных почек и микропобегов от зоны происхождения микрочеренков секвойи вечнозеленой (1–3 – верхняя, средняя и нижняя части микроклонов соответственно)

Fig. 3. Relationship between the formation of adventitious buds/microshoots and the origin zone of *Sequoia sempervirens* microcuttings (1–3 – upper, middle, and lower parts of microclones, respectively)



Установлено, что гормональный состав питательной среды оказывает существенное влияние на индукцию образования адвентивных почек (рис. 4, табл. 3), что коррелирует с коэффициентом размножения. Наибольший коэффициент размножения (12,6–17,2) был отмечен на питательных средах MS при следующих сочетаниях гормонов: 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК; 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 2iP; 2,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП. Такой показатель в 6–8 раз превышал контрольный вариант. Полученные результаты достоверны на 5%-м уровне значимости. В этих же условиях культивирования наблюдали высокую способность микропобегов к укоренению. Причем наилучшие результаты по коэффициенту размножения были отмечены для среды, дополненной 2iP. Эти данные согласуются с информацией других авторов. Так, например, в работах E. Asensio с соавт. показано, что замена цитокинина БАП на 2iP также способствовала повышению коэффициента размножения у растений *Thymus × josephi-angeli* [10].

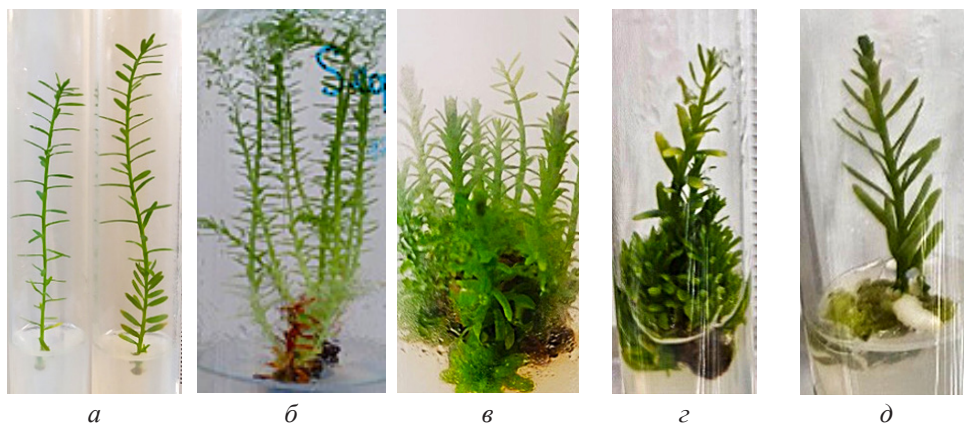


Рис. 4. Микропобегов секвойи вечнозеленой, полученные на разных питательных средах MS: а – без гормонов; б – с добавлением 2,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП; в – с добавлением 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК; г – с добавлением 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 2iP; д – с добавлением 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л БАП (наблюдения выполнены в конце цикла выращивания – 40-е сутки)

Fig. 4. *Sequoia sempervirens* microshoots cultured on different MS media formulations: а – hormone-free; б – supplemented with 2.5 mg/L 2,4-D + 0.5 mg/L BAP; в – with 2 mg/L 2,4-D + 0.5 mg/L BAP + 0.5 mg/L NAA; г – with 2 mg/L 2,4-D + 2 mg/L 2iP; д – with 2 mg/L 2,4-D + 2 mg/L BAP. Observations were made at the end of the 40-day growth cycle

Таблица 3

**Влияние регуляторов роста на коэффициент размножения и укоренение микропобегов секвойи вечнозеленой на питательной среде MS**  
**Effect of growth regulators on the multiplication rate and rooting of *Sequoia sempervirens* microshoots on MS medium**

Питательная среда	Коэффициент размножения	Образование адвентивных почек на одном побеге, шт.	Средняя длина побега, см	Доля растений с корнями, %	Среднее число корней, шт.
Без гормонов	2,2±0,1	3,7±0,1	7,8±0,2	20,6±1,1	1,3±0,1
½ минеральных солей, без гормонов	1,3±0,1	2,1±0,1	5,5±0,2	0	0
2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л БАП	6,4±0,1	7,2±0,2	5,2±0,2	37±1,6	14,4±0,3
2,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП	12,6±0,1	8,2±0,2	3,5±0,1	60,3±2,8	5,8±0,2
2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 2iP	17,2±0,3	14,1±0,3	4,8±0,2	52,7±2,4	12,7±0,3
2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК	14,8±0,3	8,6±0,2	3,8±0,1	70,4±2,9	2,1±0,1
3 мг/л ИУК	1,9±0,1	1,3±0,1	2,9±0,1	0	0

Культивирование микропобегов на безгормональной питательной среде, содержащей полный или половинный состав минеральных солей по MS, не способствовало высокой эффективности укоренения микроклонов. В нашем случае уменьшение минеральных компонентов до ½ от нормы минеральных солей (MS) не приводило к удлинению микропобегов. Хотя в работах по культивированию побегов, изолированных с 90-летних растений секвойи вечнозеленой, на питательной среде, содержащей ½ минеральных солей по прописи MS, такой состав обеспечивал элонгацию побегов [11].

Кроме того, следует отметить, что в этих вариантах, а также в варианте питательной среды с 2,0 мг/л 2,4-Д + 2,0 мг/л БАП наблюдали одновременно формирование каллусной ткани в базальной части главного побега и массовое образование адвентивных почек, которые в процессе культивирования развивались в побеги, а образование корней происходило через каллусную ткань (рис. 5).

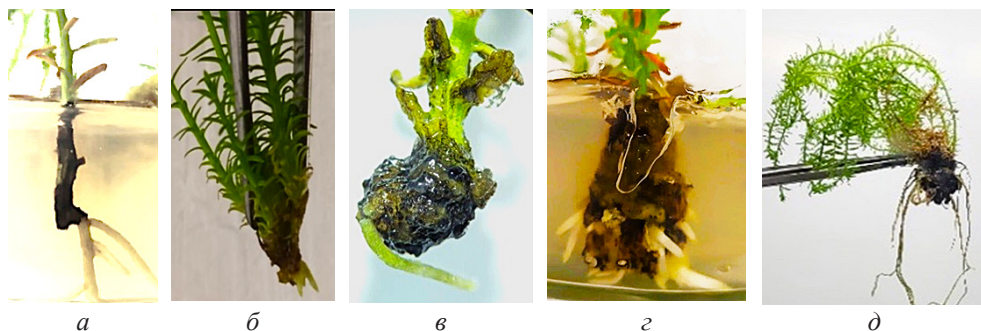


Рис. 5. Укоренение микропобегов секвойи вечнозеленой на питательных средах MS разного гормонального состава: а – без гормонов; б – с добавлением гормонов 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л БАП; в – 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК; г – 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 2iP; д – 2,5 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП

Fig. 5. Rooting of *Sequoia sempervirens* microshoots on MS media with different hormonal compositions: а – without hormones; б – supplemented with 2 mg/L 2,4-D + 2 mg/L BAP; в – with 2 mg/L 2,4-D + 0.5 mg/L BAP + 0.5 mg/L NAA; г – with 2 mg/L 2,4-D + 2 mg/L 2iP; д – with 2.5 mg/L 2,4-D + 0.5 mg/L BAP

В исследуемом варианте питательной среды MS без добавления гормонов также наблюдали ризогенез, но с меньшей интенсивностью. Экспериментально показано, что в большинстве вариантов формирование корней происходило также через каллусную ткань, либо в редких случаях непосредственно из нижней части микрочеренка. В этих вариантах коэффициент размножения составил от 5 до 17 в зависимости от гормонального состава питательной среды, а наилучшая частота укоренения достигала 70 % в варианте питательной среды, дополненной 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК. Применение питательной среды, содержащей только ауксин (3 мг/л ИУК) не приводило к индукции образования корней, но стимулировало формирование каллусной ткани в базальной части микропобегов.

Полученные на предлагаемых типах питательных сред растения-регенеранты секвойи вечнозеленой с хорошо развитой корневой системой в дальнейшем переносили в условия *ex vitro*. Установлено, что описанные в этой статье состав субстрата и методика адаптации способствовали приживаемости клонов в нестерильных условиях в 87,5 % случаев. В ходе изучения эффективности адаптации растений к почвенным условиям выявлено, что критическим фактором является соблюдение условий увлажнения почвенного субстрата и поддержание влажности воздуха не менее 85 %. После 5 мес. выращивания в почве растения достигали высоты 26–30 см и имели хорошо выраженный рост боковых побегов (рис. 6).



Рис. 6. Клоны секвойи вечнозеленой после пересадки в почвенный субстрат:  
а – через 3 нед.; б – через 2 мес.; в – через 5 мес.

Fig. 6. *Sequoia sempervirens* clones after transplantation to soil substrate:  
а – at 3 weeks; б – at 2 months; в – at 5 months

Согласно данным исследований [39], касающихся вопросов естественного возобновления растений секвойи, в течение 1-го года прирост поросли секвойи составляет менее 1 м. Если сравнивать ростовые характеристики растений в условиях *ex vitro* с темпами роста поросли в природном ареале, то они несколько уступают последним. Однако следует принимать во внимание такие факторы, как ограниченность объема почвенного субстрата и искусственное освещение, а также отсутствие туманов.

## Заключение

В результате проведенных исследований разработан эффективный метод клонального микроразмножения секвойи вечнозеленой *Sequoia sempervirens* (D. Don), включающий предварительную обработку черенков 0,2%-м раствором ИМК, ступенчатую стерилизацию, культивирование сегментов черенков на безгормональной питательной среде MS с последующим выращиванием на среде MS, дополненной 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК или 2 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 2iP для размножения и 2 мг/л 2,4-Д + 0,5 мг/л БАП + 0,5 мг/л НУК для укоренения. Полученные нами клоны могут быть использованы для реинтродукции секвойи вечнозеленой в естественные места произрастания, расширения коллекций ботанических садов и переноса в подходящие по метеорологическим показателям природные зоны России в качестве ценной реликтовой древесной хвойной породы, устойчивой к патогенам.

Кроме того, разработанный способ ускоренного размножения растений секвойи вечнозеленой *in vitro* возможно применять для массового получения качественного и гомогенного посадочного материала редких и реликтовых хвойных растений, в частности, секвойи гигантской, секвойи прибрежной и метасеквойи глиптостробовидной, которая находится на грани полного вымирания и занесена в Международную Красную книгу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Болотина Е.А., Зайцева С.М., Голиванов Я.Ю., Тацкий Г.Р., Бисембаев Т.Н. Агробактериальная трансформация микроклонов *Sequoia sempervirens* (D. Don) endl. Геном GFP // Тез. докл. XII Междунар. науч. конф. молодых ученых. М., 2024. С. 78–82.  
Bolotina E.A., Zaytseva S.M., Golovanov Ya.Yu., Tatsiy G.R., Bisembaev T.N. Agrobacterial Transformation of *Sequoia sempervirens* (D. Don) Microclones Endl. The GFP Genome. *Proceedings of the XII International Scientific Conference of Young Scientists*. Moscow, 2024, pp. 78–82. (In Russ.).
2. Зайцева С.М., Калашикова Е.А., Киракосян Р.Н. Влияние эндогенных полифенолов, фотопериода и минерального состава питательной среды на формирование каллусной ткани реликтовых голосеменных растений *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. // Вопр. биологич., фармацевтич. и медицинск. хим. 2023. № 3(26). С. 46–57.  
Zaytseva S.M., Kalashnikova E.A., Kirakosyan R.N. The Influence of Endogenous Polyphenols, Photoperiod and Mineral Composition of the Nutrient Medium on the Formation of Callus Tissue of Relict Gymnosperms *Sequoia sempervirens*. *Voprosy Biologicheskoy, Farmatsevticheskoy i Meditsinskoy Khimii* = Questions of Biological, Pharmaceutical and Medicinal Chemistry, 2023, no. 3(26), pp. 46–57. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.29296/25877313-2023-03-06>
3. Калашикова Е.А., Чередниченко М.Ю., Киракосян Р.Н., Зайцева С.М., Карсункина Н.П., Халилуев М.Р., Хлебникова Д.А., Поливанова О.Б., Лобанова В.А. Основы биотехнологии. Практикум. М., 2023, 160 с.  
Kalashnikova E.A., Cherednichenko M.Yu., Kirakosyan R.N., Zaytseva S.M., Korsunkina N.P., Khaliluyev M.R., Khlebnikova D.A., Polivanova O.B., Lobanova V.A. Fundamentals of Biotechnology. Practical work. Moscow, 2023. 160 p. (In Russ.).
4. Коровин В.В., Курнос Г.А. Капы // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2000. № 4. С. 29–34.  
Korovin V.V., Kurnosov G.A. Kapу. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2000, no. 4, pp. 29–34. (In Russ.).

5. Султонова М.С. Особенности микроклонального размножения и органогенез некоторых представителей хвойных пород (*Sequoiadendron giganteum* Lindl и *Biota orientalis* L.): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2016. 24 с.

Sultanova M.S. *Features of Microclonal Reproduction and Organogenesis of Some Representatives of Coniferous Species (Sequoiadendron giganteum Lindl. and Biota orientalis L.)*: Cand. Agric. Sci. Abs. St. Petersburg, 2016. 24 p. (In Russ.).

6. Третьякова И.Н., Ворошилова Е.В., Шуваев Д.Н., Лукина А.С. Образование каллуса и индукция соматических зародышей в культуре *in vitro* у *Pinus sibirica* Du Tour // Журн. СФУ. Сер.: Биология. 2013. Т. 6, № 1. С. 44–60.

Tretyakova I.N., Voroshilova E.V., Shuvaev D.N., Lukina A.S. Callus Formation and Induction of Somatic Embryos, in *in vitro* Culture in *Pinus sibirica* Du Tour. *Zhurnal SFU = SibFU Journal. Biology*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 44–60. (In Russ.).

7. Филиппова И.П. Витрификация у эксплантов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в культуре *in vitro* // Вестн. Красноярск. гос. аграрн. ун-та. 2009. № 8. С. 85–88.

Filippova I.P. Vitrification in Explants of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in *in vitro* Culture. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universitetata = Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2009, no. 8, pp. 85–88. (In Russ.).

8. Abbasin Z., Zamani S., Movahedi S., Khaksar G., Sayed Tabatabaei B.E. *In vitro* Micropropagation of Yew (*Taxus baccata*) and Production of Plantlets. *Biotechnology*, 2010, no. 9, pp. 48–54. <https://doi.org/10.3923/biotech.2010.48.54>

9. Ahuja M.R. Strategies for Conservation of Germplasm in Endemic Redwoods in the Face of Climate Change: A Review. *Plant Genetic Resources*, 2011, no. 9(03), pp. 411–422. <https://doi.org/10.1017/S1479262111000153>

10. Asensio E., de Medinacelli Juan-Méndez R., Juan-Vicedo J. *In vitro* Propagation and Phytochemistry of Thymol-Producing Plants From a Horticultural Form of *Thymus* × *josephi-angeli* Mansanet & Aguil. (Lamiaceae). *Horticulturae*, 2022, no. 8, p. 1188. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8121188>

11. Balogh B., Anderson A.B. Chemistry of the Genus Sequoia – II: Isolation of Sequirins, New Phenolic Compounds from the Coast Redwood (*Sequoia sempervirens*). *Phytochemistry*, 1965, vol. 4, iss. 4, pp. 569–575. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)86218-4](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)86218-4)

12. Bon M-C., Riccardi F., Monteuis O. Influence of Phase Change Within a 90-Year-Old *Sequoia sempervirens* on Its *in vitro* Organogenic Capacity and Protein Patterns. *Trees*, 1994, no. 8, pp. 283–287. <https://doi.org/10.1007/BF00202672>

13. Brown P.M. OLDLIST: A Database of Maximum Tree Ages. Radiocarbon. *Tree Rings, Environment, and Humanity*. Eds. J.S. Dean, D.M. Meko, T.W. Swetnam. The University of Arizona, Tucson, 1996, pp. 727–731.

14. Carroll A.L., Sillett S.C., Kramer R.D. Millennium-Scale Crossdating and Inter-Annual Climate Sensitivities of Standing California Redwoods. *Plos One*, 2014, no. 9(7), e102545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102545>

15. Christian T. *Sequoiadendron Giganteum*. From the Website Trees and Shrubs Online. Available at: <https://www.treesandshrubsonline.org/articles/sequoiadendron/sequoiadendron-giganteum/> (accessed 21.06.25).

16. Clark J.W. Natural Decay Resistance of the Heartwood of Coast Redwood *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. *Forest Products Journal*, 1983, vol. 33, no. 5, pp. 15–20.

17. Disney M., Burt A., Wilkes P., Armston J., Duncanson L. New 3D Measurements of Large Redwood Trees for Biomass and Structure. *Scientific Reports*, 2020, no. 10, art. no. 16721.

18. Douhovnikoff V., Dodd R.S. Intra-Clonal Variation and a Similarity Threshold for Identification of Clones: Application to *Salix exigua* Using AFLP Molecular Markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, no. 106, pp. 1307–1315.

<https://doi.org/10.1007/s00122-003-1200-9>

19. Eckert Christopher G. The Loss of Sex in Clonal Plants. *Ecology and Evolutionary Biology of Clonal Plants: Proceedings of Clone-2000. An International Workshop Held in Obergurgl*. Springer Netherlands, 2002, pp. 279–298.
20. El-Hawary S.S., Abd El-Kader E.M., Rabeh M.A., Abdel Jaleel G.A., Arafat M.A., Schirmeister T., Abdelmohsen U.R. Eliciting Callus Culture for Production of Hepatoprotective Flavonoids and Phenolics from *Sequoia sempervirens* (D. Don Endl). *Nat Prod Res*, 2020, no. 34(21), pp. 3125–3129. <https://doi.org/10.1080/14786419.2019.1607334>
21. Francis E., Asner G.P., Mach K.J., Field C.B. Landscape Scale Variation in the Hydrological Niche of California Coast Redwood. *Ecography*, 2020, no. 43, pp. 1305–1315. <https://doi.org/10.1111/ecog.05080>
22. Hall G.D., Langenheim J.H. Temporal Changes in the Leaf Monoterpenes of *Sequoia sempervirens*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 1986, vol. 14, no. 1, pp. 61–69. [https://doi.org/10.1016/0305-1978\(86\)90086-4](https://doi.org/10.1016/0305-1978(86)90086-4)
23. Ishii H.T., Jennings G.M., Sillett S.C., Koch G.W. Hydrostatic Constraints on Morphological Exploitation of Light in Tall *Sequoia sempervirens* Trees, *Oecologia*, 2008, vol. 156, pp. 751–763. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1032-z>
24. Kirakosyan R.N., Kalasnikova E.A., Bolotina E.A., Saleh A., Balakina A.A., Zaytseva S.M. Localization of Secondary Metabolites in Relict Gymnosperms of the Genus *Sequoia in vivo* and in Cell Cultures *in vitro*, and the Biological Activity of Their Extracts. *Life*, 2024, no. 14, p. 1694. <https://doi.org/10.3390/life14121694>
25. McCown B.H., Lloyd G. Woody Plant Medium (WPM) – A Mineral Nutrient Formulation for Microculture of Woody Plant Species. *HortScience*, 1981, no. 16, pp. 453–453.
26. Mihaljevic S. Root Formation in Micropropagated Shoots of *Sequoia sempervirens* Using Agrobacterium. *Plant science*, 1999, vol. 141, no. 1, pp. 73–80. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00223-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00223-4)
27. Moraes C., Navroski M.C., de Oliveira Pereira M., de Oliveira L.M., Miranda I.A., Nascimento B., Angelo A.C., Nicoletti M.F., Mantovani A., Pereira da Silva Filho D. Seed Quality and Seedling Production of *Sequoia sempervirens*, *Sequoiadendron giganteum*, and *Pseudotsuga menziesii*. *Forests*, 2025, no. 16(2), p. 352. <https://doi.org/10.3390/fl6020352>
28. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bioassays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiol. Plant*, 1962, vol. 15, pp. 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
29. Nydick K.R., Stephenson N.L., Ambrose A.R., Asner G.P., Baxter W.L., Das A.J., Dawson T., Martin R.E., Paz-Kagan T. Leaf to Landscape Responses of Giant *Sequoia* to Hotter Drought: An Introduction and Synthesis for the Special Section. *Forest Ecology and Management*, 2018, vol. 419, pp. 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.03.028>
30. O'Hara K.L., Berrill J.P. Epicormic Sprout Development in Pruned Coast Redwood: Pruning Severity, Genotype, and Sprouting Characteristics. *Annals of Forest Science*, 2009, vol. 66, p. 409. <https://doi.org/10.1051/forest/2009015>
31. Hartesveldt R.J., Harvey T.H., Shellhammer H.S., Stecker R.D. *Sequoias'* Dependence on Fire. *Science*, 1969, vol. 166, iss. 3905, pp. 552–553. <https://doi.org/10.1126/science.166.3905.552.b>
32. Rogers D.L. *Spatial patterns of allozyme variation and clonal structure in Coast redwood (Sequoia sempervirens)*. University of California, Berkeley, 1994. 342 p.
33. Sârbu A., Cogalniceanu G., Smarandache D., Pascale G. Morpho-Anatomical Studies on Vegetative Organs of *Sequoia sempervirens*, *in vitro* Culture on Carbon Microstructure Substrates. *Acta Horti Botanici Bucurestiensis*, 2008, no. 35, pp. 51–59.
34. Sillett S.C. et al. How Do Tree Structure and Old Age Affect Growth Potential of California Redwoods? *Ecological Monographs*, 2015, vol. 85, iss. 2, pp. 181–212. <https://doi.org/10.1890/14-1016.1>

35. Sillett S.C., Antoine M.E., Carroll A.L., Graham M.E., Chin A.R., Van Pelt R. Rangelwide Climatic Sensitivities and Non-Timber Values of Tall *Sequoia sempervirens* Forests. *Forest Ecology and Management*, 2022, vol. 526, 120573.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120573>

36. Sillett S.C., Van Pelt R. Trunk Reiteration Promotes Epiphytes and Water Storage in an Old-Growth Redwood Forest Canopy. *Ecological Monographs*, 2007, no. 77(3), pp. 335–359. <https://doi.org/10.1890/06-0994.1>

37. Biblin S., Russell W., Wilkin K. Long-Term Influence of Prescribed Burning on Subsequent Wildfire in an Old-Growth Coast Redwood Forest. *Fire Ecology*, 2025, vol. 21, no. 11. <https://doi.org/10.1186/s42408-025-00356-5>

38. Thomas H.H., Shellhammer H.S., Stecker R.S. *National Park Service Giant Sequoia Ecology*. U.S. Department of the Interior, National Park Service, 1980. 182 p.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 582.475+581.143

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-88-100

## Стимуляторы роста для контейнерных семян *Pinus sylvestris* L. второй ротации

**Е.А. Копосова, стажер-исследователь;** ResearcherID: [ODM-1685-2025](https://orcid.org/0009-0005-1804-9042),  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1804-9042>

**Н.П. Чернобровкина<sup>✉</sup>, д-р биол. наук, доц.;** ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

**К.Г. Нелаева, аспирант;** ResearcherID: [GYJ-7223-2022](https://orcid.org/0000-0002-3283-4451),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-4451>

**Е.В. Робонен, науч. сотр.;** ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

**А.В. Егорова, канд. с.-х. наук, мл. науч. сотр.;** ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

Институт леса КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910;  
[elena-kpv@yandex.ru](mailto:elena-kpv@yandex.ru), [chernobrovkina50@bk.ru](mailto:chernobrovkina50@bk.ru)<sup>✉</sup>, [nelaevakg@krc.karelia.ru](mailto:nelaevakg@krc.karelia.ru), [er51@bk.ru](mailto:er51@bk.ru),  
[egorova.anast@mail.ru](mailto:egorova.anast@mail.ru)

---

Поступила в редакцию 07.02.25 / Одобрена после рецензирования 03.05.25 / Принята к печати 05.05.25


---

**Аннотация.** Совершенствуется технология производства посадочного материала с закрытой корневой системой основных лесообразующих пород с использованием многоротационного режима выращивания. В лесных питомниках подзоны среднетаежных лесов России с коротким вегетационным периодом внедрение такого режима затруднено из-за риска неподготовленности семян второй ротации к пересадке на лесокультурную площадь, их низкой стрессоустойчивости. Для выращивания семян хвойных пород в лесных питомниках предлагается использование стимуляторов роста, которые не только увеличивают морфометрические показатели семян, но и улучшают их адаптивные реакции. В данной статье показано влияние внекорневой обработки стимуляторами роста Экорост, Циркон и Эпин-экстра в различных концентрациях на морфометрические показатели, морозоустойчивость, приживаемость и рост при посадке на модельной площади контейнерных семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) второй ротации, выращенных в условиях высоких широт. Исследовали индекс повреждения мембран клеток хвои при воздействии низких температур (–5...–32 °С) в весенний период при переходе растений от состояния покоя к вегетации. Показано, что Экорост и Эпин-экстра повышали морозоустойчивость семян при –15 °С. Все испытанные стимуляторы роста положительно повлияли на высоту семян – до 23 % прироста по сравнению с контролем. Они повышали массу семян (до 68 %), особенно корней (до 97 %). Также увеличился прирост саженцев при выращивании в условиях модельной площади, что значимо для их развития при создании лесных культур. Таким образом, препараты можно рекомендовать к применению для совершенствования агроприемов при двухротационном выращивании в условиях высоких широт посадочного материала хвойных пород.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris*, контейнерные семена, двухротационное выращивание, стимуляторы роста, морфометрия, морозоустойчивость, высокие широты

---

© Копосова Е.А., Чернобровкина Н.П., Нелаева К.Г., Робонен Е.В., Егорова А.В., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>, а также за счет финансирования по теме госзадания Института леса КарНЦ РАН на научном оборудовании Центра коллективного пользования КарНЦ РАН.

**Для цитирования:** Копосова Е.А., Чернобровкина Н.П., Нелаева К.Г., Робонен Е.В., Егорова А.В. Стимуляторы роста для контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 88–100.  
<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-88-100>

Original article

## Growth Stimulators for Container Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the Second Rotation

*Elena A. Kuposova*, Intern-researcher; ResearcherID: [ODM-1685-2025](https://orcid.org/0009-0005-1804-9042),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1804-9042>

*Nadezhda P. Chernobrovkina*<sup>✉</sup>, Doctor of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [K-6120-2018](https://orcid.org/0000-0002-9716-003X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9716-003X>

*Karina G. Nelaeva*, Postgraduate Student; ResearcherID: [GYJ-7223-2022](https://orcid.org/0000-0002-3283-4451),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-4451>

*Elena V. Robonen*, Research Scientist; ResearcherID: [AAD-1958-2019](https://orcid.org/0000-0001-7926-8672),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7926-8672>

*Anastasiya V. Egorova*, Candidate of Agriculture, Junior Researcher Scientist;

ResearcherID: [K-6095-2018](https://orcid.org/0000-0002-1691-1269), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1269>

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Russian Federation, 185910; elena-kpv@yandex.ru, chernobrovkina50@bk.ru<sup>✉</sup>, nelaevakg@krc.karelia.ru, er51@bk.ru, egorova.anast@mail.ru

---

Received on February 7, 2025 / Approved after reviewing on May 3, 2025 / Accepted on May 5, 2025

---

**Abstract.** The technology for the production of planting stock with a closed root system of the main forest-forming species using a multi-cropping growing regime is being improved. The introduction of such a regime in the forest nurseries of the subzone of the middle taiga forests of Russia with a short growing season is difficult due to the risk of unpreparedness of the second rotation seedlings for transplanting them to a forested area and their low stress resistance. Growth stimulants that have a positive effect on seedlings of forest species, improving their morphometric parameters and increasing their adaptive responses are proposed to be used in growing coniferous seedlings in forest nurseries as agrotechnical techniques. This article shows the effect of foliar treatment with growth stimulants – Ecorost, Zircon and Epin-extra in various concentrations on morphometric parameters, frost resistance, survival rate and growth when planting in a model plot, container seedlings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of the second rotation grown in high-latitude conditions. The damage index of pine needle cell membranes exposed to low temperatures (from –50 to –320 °C) in the spring during the transition of plants from dormancy to vegetation was studied. Studies have shown that Ecorost and Epin-extra increased the frost resistance of seedlings at –15 °C. The tested growth stimulants had a positive effect on the height of seedlings – up to 23 % compared with the control. They increased the mass of seedlings (up to 68 %), especially roots (up to 97 %), which indicates the potential for their use to improve key indicators of seedling quality –

survival and growth in a forest cultivation area. The tested growth stimulators increased the height gain of seedlings when growing in a model plot, which is important for their further development when creating forest crops. The preparations are of practical importance for improving agricultural practices in the cultivation of coniferous planting material during double-cropping cultivation at high latitudes.

**Keywords:** *Pinus sylvestris*, container seedlings, double-cropping cultivation, growth stimulators, morphometry, frost resistance, high latitudes

**Acknowledgements:** The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-26-00192, <https://rscf.ru/project/23-26-00192/>, as well as by funding from the state assignment of the Institute of Forest of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (IL KRC RAS).

**For citation:** Kuposova E.A., Chernobrovkina N.P., Nelaeva K.G., Robonen E.V., Egorova A.V. Growth Stimulators for Container Seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the Second Rotation. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 88–100. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-88-100>

### Введение

Совершенствуется технология выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой основных лесообразующих пород при использовании многоротационного режима. В лесных питомниках подзоны среднетаежных лесов России с коротким вегетационным периодом затруднено внедрение такого режима из-за риска неподготовленности сеянцев второй ротации к пересадке на лесокультурную площадь, их низкой стрессоустойчивости. При выращивании сеянцев хвойных пород в лесных питомниках перспективно применение стимуляторов роста, которые улучшают морфометрические показатели сеянцев и повышают их адаптивные реакции.

Стимуляторы роста, оказывая положительное влияние на всхожесть семян, рост сеянцев хвойных пород, включая рост корневой системы, увеличивают выход качественного посадочного материала [1, 6, 7, 10–13, 15, 17, 21, 22]. В литературе отмечается, что регуляторы роста могут не только повышать посевные качества семян, ростовую активность сеянцев, но и обеспечивать их устойчивость к неблагоприятным факторам [8, 16, 26, 29, 30]. Применение абсцизовой кислоты, естественного регулятора роста растений, а также ее синтетических аналогов повышало морозоустойчивость растений [29, 30]. Обработка 1-летних сеянцев ели (*Picea glauca*, *P. mariana*) непосредственно перед заложением почек синтетическим соединением со свойствами замедления роста – паклобутразолом – увеличивала холодоустойчивость через 4 мес. после его применения, однако рост после посадки у обработанных сеянцев замедлялся [25]. Сформирован перечень эффективных препаратов различной природы для обработки семян сосны: Агат-25К ( $1 \cdot 10^{-2}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$  %), Вэрва-ель (0,025 мл препарата на 10 мл воды), Крезацин (1 мл/3 л – 1 мл/5 л), Новосил (2 кап./л), Оберег (7 кап./500 мл), Рибав-Экстра (1 мл/4 л – 1 мл/5 л), Циркон (1 мл/5 л – 1 мл/6 л), Экогель (20 мл/л), Экопин (1 мл/3 л – 1 мл/5 л), Эмистим-С (2 мл/л), Эпин-Экстра ( $1 \cdot 10^{-2}$  %); для ели: Гетероауксин (4 г/л), Гумат (0,01 %), Экогель (30 мл/л) [11, 23–25].

К наиболее перспективным регуляторам роста для улучшения качества сеянцев хвойных пород исследователи относят Циркон, Эпин-Экстра, Биостим, Рибав-экстра, Экорост и другие гуминовые препараты [5]. В нашем эксперименте

были использованы стимуляторы, оказывающие значительное влияние на рост растений и их устойчивость к неблагоприятным воздействиям – Экорост (универсальное жидкое гуминовое удобрение из торфа, действующее вещество – гуматы), Циркон (гидроксикоричные кислоты), Эпин-Экстра (24-эпинбрасинолид).

Препарат Экорост состоит из веществ природного происхождения, которые образуются при распаде растительных остатков в почве [20]. Гуматы относятся к стимуляторам роста, но не к удобрениям и характеризуются наиболее «чистым» составом. Гуминовые стимуляторы не только положительно влияют на обменные процессы растений, но и улучшают почву, повышают адаптивность растений и усвоение питательных веществ [3].

Стимулятор роста Циркон производится на основе цветка эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea* (L.) Moench) и содержит сложные эфиры на основе растворенных в спирте гидроксикоричных кислот. Соединение экологически чистое, используется как регулятор роста комплексного характера. Циркон влияет на ростовые процессы, формирование корней, способствует адаптации растений к неблагоприятным условиям путем стимуляции метаболизма [17]. Препарат повышает активность фитогормонов и усиливает защитные функции растений ингибированием активности ауксиноксидазы, оказанием антибактериального и фунгипротекторного действий, активацией иммунных функций растений. Циркон улучшает устойчивость растений к действию ионизирующего излучения, неблагоприятных температурного, водного, светового режимов и других видов стресса [9].

Эпин-Экстра является синтетическим аналогом естественных фитогормонов [14]. Механизм его действия заключается в регулировании синтеза растением собственных фитогормонов, которые значимы на каждом этапе его развития – ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, абсцизовой кислоты и этилена. Эпин-Экстра принимает участие в синтезе белков холодового шока, тем самым повышая устойчивость к заморозкам [18]. Препарат активизирует защитные функции, способствующие адаптации растений к стрессовым факторам (перепады температур, засуха, засоление и т. д.), ускоряет прорастание семян, повышает их всхожесть, стимулирует рост, запускает синтез хлорофилла [14].

Цель исследования – выявление влияния внекорневой обработки контейнерных семян *Pinus sylvestris* L. второй ротации стимуляторами роста при двухротационном режиме выращивания в условиях короткого вегетационного периода в высоких широтах.

#### Объекты и методы исследования

Исследование проводили в тепличном комплексе «Вилга» (61°49' с. ш. 34°04' в. д.) на Северо-Западе Европейской части России в Республике Карелия. Регион характеризуется коротким вегетационным периодом.

Объект исследования – 1-летние контейнерные семена сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) второй ротации, выращиваемые в условиях закрытого грунта. Посев проводили 27 июня 2023 г. В качестве контроля использовали семена второй ротации без обработки. В эксперименте применяли стимуляторы роста: Экорост, Циркон, Эпин-Экстра. Препараты разводили до концентраций, приведенных в табл. 1, по вариантам эксперимента. Внекорневую обработку семян растворами осуществляли путем опрыскивания до полного увлажнения

ния хвои 2 раза за вегетационный период 2023 г. – через 3 недели (18.07.2023) и через 5 недель (01.08.2023) после посева.

Таблица 1

**Концентрации применяемых стимуляторов роста при внекорневой обработке контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации**  
**Concentrations of growth stimulators used in the experiment during foliar treatment of container seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the second rotation**

Препарат	Концентрация, мл/л		
Экорост	1,0	1,5	2,0
Циркон	0,01	0,05	0,10
Эпин-экстра	0,1	0,2	0,3

В апреле 2024 г. определяли морфометрические показатели сеянцев контрольного и опытных вариантов. В каждом варианте обработки случайным образом отбирали по 30 сеянцев и измеряли высоту надземной части от корневой шейки до основания терминальной почки и диаметр стволика у корневой шейки. Каждый сеянец разделяли на органы, определяли гравиметрическим методом сырую массу сеянца, надземной части и корней, устанавливали их влажность и рассчитывали сухую массу.

Определение морозоустойчивости сеянцев второй ротации проводили в 3-й декаде апреля 2024 г. на растениях контрольных вариантов и вариантов с применением регуляторов роста в дозах, максимально стимулирующих увеличение высоты: Экорост – 1,5 мл/л, Циркон – 0,1 мл/л и Эпин-экстра – 0,2 мл/л. Использовали кондуктометрический метод по утечке электролитов (кондуктометр «КП-150МИ», Россия) через клеточные мембраны хвои после низкотемпературного воздействия (от –5 до –32 °С) посредством выдерживания в морозильной камере (Позис ММ-180/20/35, Россия). Степень повреждения клеточных мембран в различных вариантах оценивали по индексу повреждения [28]:

$$It = 100 \left( \frac{ECf}{ECk} - \frac{ECc}{ECk} \right) / \left( 1 - \frac{ECc}{ECk} \right),$$

где  $ECf$ ,  $ECc$  – электропроводность опытных и контрольных растворов соответственно после экстрагирования навески,  $мСм \cdot см^{-1}$ ;  $ECk$  – электропроводность соответствующих растворов после автоклавирования с последующим экстрагированием (общая электропроводность),  $мСм \cdot см^{-1}$ .

В мае 2024 г. создана площадка на территории тепличного комплекса «Вилга» для выявления приживаемости и роста саженцев опытных и контрольного вариантов. Перед высадкой у всех сеянцев проводили замеры высоты и диаметра стволика. Высаживали по 30 сеянцев контрольного варианта и каждого варианта с применением регуляторов роста в тех же концентрациях, которые испытывали на морозоустойчивость – Экорост – 1,5 мл/л; Циркон – 0,1 мл/л; Эпин-экстра – 0,2 мл/л. В сентябре 2024 г. проводили учет приживаемости саженцев и измеряли приросты по высоте и диаметру стволика у корневой шейки.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Под воздействием внекорневой обработки стимуляторами роста контейнерных сеянцев сосны второй ротации высота стволиков увеличивалась во всех

вариантах за исключением варианта с Цирконом в концентрации 0,01 мл/л, где высота стволика достоверно не отличалась от контроля (табл. 2). Циркон в концентрации 0,1 мл/л и Эпин-экстра в концентрации 0,2 мл/л оказывали наибольшее влияние на высоту стволиков, повышая ее на 23 и 22 % соответственно. По мере увеличения концентрации Циркона росло и его положительное воздействие. Рост стволиков в высоту после использования Экороста и Эпина-экстра практически не зависел от концентрации препаратов. На диаметр стволиков испытанные препараты во всех концентрациях не оказали стимулирующего влияния.

Таблица 2

**Средние с ошибкой, максимальные и минимальные линейные размеры контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации, обработанных стимуляторами роста**

**The average ( $\pm$ SU), maximum and minimum values of linear dimensions container seedlings of *Pinus sylvestris* L. in the second rotation, treated with growth stimulants**

Показатель	Значение показателя	Контроль	Экорост			Циркон			Эпин-экстра		
			Концентрация препарата, мл/л								
			1,00	1,50	2,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30
Высота, см	Mean	5,39 с	6,02 а	6,36 ab	6,14 а	5,18 с	5,88 а	6,65 ab	6,32 а	6,55 b	6,34 ab
	$\pm$ SU	0,53	0,82	0,82	0,71	0,72	0,93	0,80	0,99	1,29	1,22
	Min	4,50	4,00	4,80	4,50	4,00	4,00	5,00	4,50	4,40	3,50
	Max	6,20	7,70	7,80	7,50	7,00	7,90	9,00	8,00	9,20	8,80
Диаметр стволика у корневой шейки, мм	Mean	2,01 ab	2,13 а	2,13 а	2,21 а	1,72 b	2,07 ab	2,07 ab	2,12 ab	1,96 ab	2,06 а
	$\pm$ SU	0,56	0,55	0,44	0,39	0,25	0,35	0,33	0,40	0,37	0,33
	Min	1,26	1,23	1,35	1,44	1,08	1,58	1,44	1,4	1,23	1,36
	Max	2,97	3,27	3,31	2,87	2,17	2,99	2,92	3,33	2,68	2,74

Примечание: F-value – 3,75; p-level – 0; df – 207 и 227 для высоты и диаметра соответственно. Замеры проводили 23.04.2024 г. Значения с разными буквами статистически различались в соответствии с тестом Тьюки при  $\alpha = 0,05$  – здесь и далее.

Экорост в концентрациях 1,0 и 1,5 мл/л, Циркон в концентрации 0,1 мл/л и Эпин-экстра во всех концентрациях значительно повышали массу надземной части сеянцев (табл. 3). Особенное влияние оказал Циркон в концентрации 0,1 мл/л – увеличивал массу надземной части на 65 % по сравнению с контролем. Ощутимое положительное воздействие (до 97 %) на массу корней отмечено для всех стимуляторов, особенно для Экороста в концентрации 2 мл/л, что отразилось на понижении отношения надземной части к подземной (до 1,9).

Таблица 3

**Средние с ошибкой, максимальные и минимальные сухие массы (г) контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации, обработанных стимуляторами роста**

**The average ( $\pm$ SU), maximum and minimum values of mass of the second rotation *Pinus sylvestris* L. container seedlings, treated with growth stimulants**

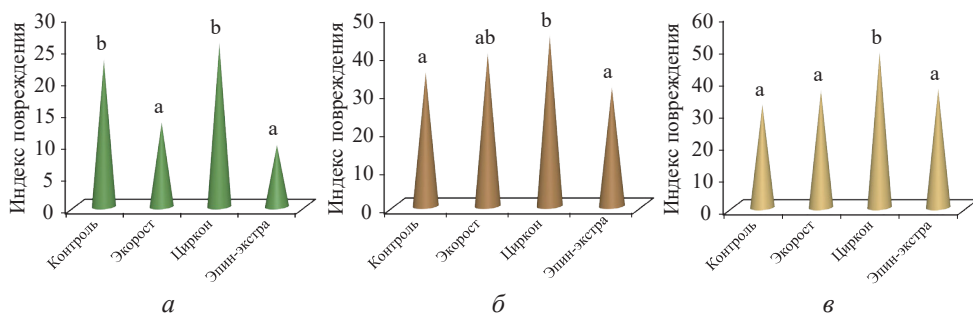
Часть растения	Значение показателя	Контроль	Экорост			Циркон			Эпин-экстра		
			Концентрация препарата, мл/л								
			1,00	1,50	2,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30
Надземная	Mean	0,78 b	1,03 ac	0,87 а	0,89 bd	0,73 b	0,53 b	0,87 а	1,03 ac	0,88 cd	0,91 ac
	$\pm$ SU	0,17	0,38	0,21	0,21	0,16	0,19	0,20	0,22	0,24	0,17
	Min	0,36	0,27	0,43	0,39	0,45	0,18	0,43	0,44	0,41	0,60
	Max	1,19	1,96	1,32	1,17	1,06	0,88	1,20	1,41	1,35	1,28

Окончание табл. 3

Часть растения	Значение показателя	Контроль	Экорост			Циркон			Эпин-экстра		
			Концентрация препарата, мл/л								
			1,00	1,50	2,00	0,01	0,05	0,10	0,10	0,20	0,30
Корни	Mean	0,35 b	0,46 b	0,18 b	0,98 c	0,23 a	0,20 a	0,26 a	0,46 a	0,44 a	0,29 a
	±SU	0,16	0,23	0,06	0,33	0,08	0,17	0,10	0,17	0,12	0,06
	Min	0,07	0,05	0,08	0,17	0,04	0,05	0,08	0,13	0,21	0,21
	Max	0,61	1,11	0,29	1,67	0,39	1,00	0,58	0,93	0,73	0,41
Сеянец	Mean	2,01 ab	2,13 a	2,13 a	2,21 a	1,72 b	2,07 ab	2,07 ab	2,12 ab	1,96 ab	2,06 a
	±SU	0,56	0,55	0,44	0,39	0,25	0,35	0,33	0,40	0,37	0,33
	Min	1,26	1,23	1,35	1,44	1,08	1,58	1,44	1,40	1,23	1,36
	Max	2,97	3,27	3,31	2,87	2,17	2,99	2,92	3,33	2,68	2,74

Примечание: F-value – 12,10; 58,66; 26,28 для надземной части, корней и сеянца соответственно; p-level – 0; df – 288; 296; 213 для надземной части, корней и сеянца соответственно. Замеры проводили 23.04.2024.

Результаты анализа морозостойчивости обработанных стимуляторами сеянцев показали, что при  $-5^{\circ}\text{C}$  индекс повреждения мембран клеток хвои сеянцев всех вариантов, включая контроль, был низкий ( $It_{-5} \leq 2$ ). При  $-15^{\circ}\text{C}$  индекс повреждения повышался во всех вариантах, при этом был ниже, чем в контроле, в вариантах с Экоростом (1,5 мл/л) и особенно с Эпином-экстра (0,2 мл/л) (см. рисунок). При  $-25^{\circ}\text{C}$  и  $-32^{\circ}\text{C}$  индекс повреждения оказался высоким во всех вариантах и положительного эффекта на морозостойчивость от воздействия препаратами не отмечалось ( $It_{-32} \leq 48$ ).



Индекс повреждения клеточных мембран хвои контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. второй ротации выращенных и обработанных стимуляторами роста в 2023 г. (измерения 23.04.2024 г.). Температуры воздействия:  $-15^{\circ}\text{C}$  (а);  $-25^{\circ}\text{C}$  (б);  $-32^{\circ}\text{C}$  (в). Концентрации: Экорост – 1,5 мл/л; Циркон – 0,1 мл/л; Эпин-экстра – 0,2 мл/л. Значения с разными буквами статистически различались в соответствии с тестом Тьюки при  $\alpha = 0,05$

Cell membrane damage index of needles in second-rotation container-grown *Pinus sylvestris* L. container seedlings, cultivated and treated with growth stimulators in 2023 (measurements taken on 23.04.2024). Exposure temperatures:  $-15^{\circ}\text{C}$  (a);  $-25^{\circ}\text{C}$  (b);  $-32^{\circ}\text{C}$  (c). Concentrations: Ecorost – 1.5 ml/l; Zircon – 0.1 ml/l; Epin-extra – 0.2 ml/l. Values with different letters are statistically different according to Tukey's test at  $\alpha = 0.05$

Учет приживаемости контейнерных сеянцев сосны, обработанных стимуляторами роста, после высадки на площадку в тепличном комплексе показал, что она составила 100 % во всех вариантах, включая контрольный. Прирост высоты стволика у сеянцев второй ротации опытных вариантов был больше по сравнению с контрольными растениями – до 55 % (табл. 4). Так, прирост в высоту в варианте с использованием препарата Экорост в концентрации

1,5 мл/л составил 4,4 см, в контроле – 1,7 см. Достоверных отличий между опытными вариантами не отмечалось. Исследуемые препараты не оказали стимулирующего влияния на прирост по диаметру стволика за вегетационный период во всех вариантах.

Таблица 4

**Средние с ошибкой, максимальные и минимальные морфометрические параметры саженцев *Pinus sylvestris* L., выращенных из контейнерных семян второй ротации, обработанных стимуляторами роста**  
**The average ( $\pm$ SE), maximum and minimum values of morphometric parameters of *Pinus sylvestris* L. seedlings, grown from second rotation container seedlings, treated with growth stimulants**

Вариант	Значение статистического показателя	Высота сеянца, см		$\Delta$ SH	Диаметр стволика у корневой шейки, мм		$\Delta$ RCD
		16.05.2024	18.09.2024		16.05.2024	18.09.2024	
Контроль	Mean	7,17 ab	8,88 b	1,71 b	2,28 a	3,34 b	1,07 b
	$\pm$ SU	1,06	1,80	1,52	0,33	0,75	0,72
	Min	4,60	4,90	0	1,50	1,90	0
	Max	8,70	14,50	7,20	2,90	5,60	3,20
Экорост	Mean	7,36 ab	11,69 a	4,36 a	1,95 b	2,90 a	0,97 ab
	$\pm$ SU	1,18	2,75	2,52	0,42	0,56	0,49
	Min	5,70	6,40	0,30	1,10	1,50	0
	Max	10,50	16,80	9,50	2,60	3,90	1,80
Циркон	Mean	6,46 a	10,75 a	4,29 a	2,12 ab	2,81 a	0,69 a
	$\pm$ SU	0,94	1,58	1,56	0,37	0,44	0,46
	Min	5,00	7,60	1,20	1,30	2,00	0
	Max	8,40	13,50	6,80	2,80	3,60	1,80
Эпин-экстра	Mean	7,60 b	11,91 a	4,31 a	2,22 a	3,20 ab	0,97 ab
	$\pm$ SU	0,84	2,18	2,33	0,45	0,64	0,69
	Min	5,90	8,90	0,80	1,20	1,60	0
	Max	9,90	17,50	10,50	2,90	4,30	2,50
F-value*		5,11	11,59	25,17	4,93	5,07	3,86
p-level		0	0	0	0	0	0,01

Примечание:  $\Delta$ SH,  $\Delta$ RCD – разница между высотой сеянца и диаметром стволика у корневой шейки соответственно, измеренными 18.09 и 16.05.2024. Концентрации стимуляторов – см. рисунок; df = 118.

Результаты исследования показали, что испытанные стимуляторы роста растений в определенных концентрациях эффективны при выращивании контейнерных сеянцев сосны обыкновенной второй ротации в условиях короткого вегетационного периода. Для увеличения высоты сеянцев наилучшими оказались Циркон в концентрации 0,1 мл/л, Экорост в концентрациях 1,5 и 2,0 мл/л и Эпин-экстра в концентрации 0,2 мл/л. Циркон и Эпин-экстра максимально воздействовали на высоту сеянцев второй ротации – до 23 %, что имеет практическое значение для совершенствования технологии двухротационного выращивания контейнерных сеянцев сосны в условиях высоких широт. Ранее нами было показано, что контейнерные сеянцы сосны второй ротации отставали по морфометрическим показателям от сеянцев безротационного выращивания в условиях высоких широт [33].

Масса сеянцев хвойных пород относится к особенно значимым показателям их качества [19]. Препараты в определенных дозах значительно

повышали массу надземной части сеянцев. Особенно сильное влияние оказал Циркон в концентрации 0,1 мл/л, увеличивая массу надземной части на 65 % по сравнению с контролем. Значительное положительное влияние (до 97 %) всех стимуляторов на массу корней отразилось на понижении отношения надземной части к подземной. Снижение этого показателя до определенного уровня (до 2,5) у сеянцев хвойных указывает на рост их приживаемости и потенциал к дальнейшему улучшенному развитию на лесокультурной площади [19]. Одной из причин возможной низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой при посадке на лесокультурную площадь является задержка выхода корней в окружающий грунт из торфяного брикета, что при пересыхании верхних горизонтов почвы может приводить к гибели растений [2, 4].

Одним из значимых показателей качества посадочного материала хвойных пород в условиях высоких широт является морозоустойчивость, которая определяет выживаемость сеянцев в осенне-зимне-весенний период на открытой площадке, а также при их хранении в морозильной камере. В апреле в условиях северных широт возможны заморозки, поэтому в этот период существует риск повреждения низкими температурами тронувшихся в рост сеянцев. Так, при воздействии низких температур ( $-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) после посадки сеянцев сосны алеппской (*Pinus halepensis* Mill.) на лесокультурную площадь в марте (при  $It_{25} \leq 70\%$ ) погибло 80 % сеянцев [32].

Анализ морозоустойчивости контейнерных сеянцев сосны второй ротации показал, что в третьей декаде апреля хвоя сеянцев всех вариантов была устойчива к температуре  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  индекс повреждения мембран хвои во всех вариантах указывал на неустойчивость сеянцев к этой температуре. Экорост в концентрации 1,5 мл/л и Эпин-экстра в концентрации 0,2 мл/л понижали индекс повреждения мембран хвои при  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , однако ее морозоустойчивость оставалась низкой ( $It_{15} \leq 13$  в опытных вариантах и  $It_{15} = 23$  в контроле). При  $-25$  и  $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$  хвоя имела высокие индексы повреждения (до 48) и препараты не снижали их. Под воздействием Циркона в концентрации 0,1 мл/л происходило уменьшение морозоустойчивости хвои сеянцев при очень низких температурах. Это можно объяснить снижением интенсивности адаптационных реакций у растений в результате их более активного роста в вегетационный период по сравнению с контролем.

В практике питомнических хозяйств для исключения рисков повреждения сеянцев в зимний период используется их хранение в морозильных камерах с температурой от  $-3$  до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [27]. Низкая морозоустойчивость у контейнерных сеянцев *Pinus sylvestris* L. и *Picea abies* (L.) Karst., выявленная при закладке на хранение в морозильные камеры, коррелировала с большой гибелью растений в тесте на выращивание после хранения [31]. По наблюдениям авторов, сеянцы сосны и ели можно считать подготовленными к зимнему хранению в морозильных камерах ( $-3 \dots -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), если у верхушечной части побега индекс повреждения при температуре воздействия  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $It_{25}$ ) не превышает 4.

Рост морозоустойчивости хвои сеянцев под воздействием препаратов Экорост и Эпин-экстра в определенных концентрациях и при определенной температуре позволяет считать их перспективными для стимуляции адаптационных способностей сеянцев к низким температурам. Особую значимость приемов повышения

морозоустойчивости семян хвойных следует отметить в связи с внедрением в условиях высоких широт с коротким вегетационным периодом двухротационного режима выращивания, при котором семена второй ротации имеют риск быть недостаточно устойчивыми к низким температурам.

### Заключение

Испытанные стимуляторы роста растений – Экорост, Циркон, Эпин-экстра – в определенных концентрациях эффективны при выращивании контейнерных семян сосны обыкновенной второй ротации в условиях короткого вегетационного периода в высоких широтах. Экорост и Эпин-экстра повышали морозоустойчивость семян при  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Стимуляторы роста положительно влияли на высоту семян – до 23 % по сравнению с контролем. Препараты увеличивали массу семян (до 68 %) и особенно корней (до 97 %). Стимуляторы роста повышали прирост саженцев в высоту при выращивании в условиях школьного отделения. Положительное влияние изученных стимуляторов роста на семена и саженцы сосны указывает на их значимость для успешного создания лесных культур. Препараты рекомендуются к применению для совершенствования агроприемов при получении посадочного материала хвойных пород при двухротационном выращивании в условиях высоких широт.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ageev A.A., Saltsevich Yu.V., Buryak L.V. Комплексное применение биостимуляторов при выращивании семян ели (*Picea obovata* L.) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 73–87.  
Ageev A.A., Saltsevich Yu.V., Buryak L.V. Complex Application of Biostimulators in the Cultivation of Spruce Seedlings. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 2, pp. 73–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-73-87>
2. Ананьев Е.М. Причины низкой приживаемости лесных культур, создаваемых сеянцами с закрытой корневой системой // Актуальн. проблемы лесн. комплекса. 2017. № 49. С. 58–62.  
Ananyev E.M. The Reasons for the Low Survival Rate of Forest Crops Created by Seedlings With a Closed Root System. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Current Problems of the Forest Complex, 2017, no. 49, pp. 58–62. (In Russ.).
3. Бобушкина С.В. Приемы повышения эффективности производства посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой в Архангельской области // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 6. С. 45–54.  
Bobushkina S.V. Efficiency Production Methods of Conifers Ball-Rooted Planting Stock in Arkhangelsk Region. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2021, vol. 25, no. 6, pp. 45–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-6-45-54>
4. Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В. Причины низкой приживаемости семян сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи соврем. естествознания. 2019. № 12. С. 9–13.  
Gough A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. The Reasons for the Low Survival Rate of Seedlings of Scots Pine With a Closed Root System in The Ribbon Forests of Altai. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* = Advances in Current Natural Sciences, 2019, no. 12, pp. 9–13. (In Russ.).
5. Демина Н.А., Васильева Н.Н., Дуркина Т.М., Файзулин Д.Х. Влияние стимуляторов на рост и развитие семян ели с закрытой корневой системой // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 11(51). С. 1–6.

Demina N.A., Vasiljeva N.N., Durkina T.M., Faizulin D.K. Influence of Stimulants on Growth and Development of Spruce Seedlings With Root-Balled Tree System. *Journal of Agriculture and Environment*, 2024, no. 11(51), pp. 1–6 (In Russ.).  
<https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.19>

6. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В. Влияние хвойного препарата на рост и элементный состав семян *Pinus sylvestris* L. в условиях лесного питомника // Химия раст. сырья. 2017. № 2. С. 171–180.

Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. Effects of Application of a Conifer-derived Chemical on the Growth and Elemental Composition of *Pinus sylvestris* L. Seedlings in a Forest Nursery. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Materials, 2017, no. 2, pp. 171–180. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017021720>

7. Егорова А.В., Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И. Способ получения водных экстрактов из листьев ивы козьей с учетом суточной динамики их биологической активности для повышения всхожести семян сосны обыкновенной // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 5. С. 394–400.

Egorova A.V., Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaytseva M.I. The Technique of Water Extract RepARATION From Goat Willow Leaves With Allowance for Circadian Rhythm of Their Biological Activity to Stimulate Scots Pine Seed Germination. *Fiziologiya rastenij* = Russian Journal of Plant Physiology, 2019, vol. 66, no. 5, pp. 394–400. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.1134/S0015330319040031>

8. Кириенко М.А., Гончарова И.А. Влияние концентрации стимуляторов роста на грунтовую всхожесть семян и сохранность семян главных лесообразующих видов Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2016. № 1. С. 39–45.

Kirienko M.A., Goncharova I.A. The Influence of Growth Stimulants at Different Concentrations on Ground Seed Germination and Survival of Seedlings of the Main Forest Forming Species of Central Siberia. *Sibirskij lesnoj zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2016, no. 1, pp. 39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20160104>

9. Малеванная Н.Н. Циркон – иммуномодулятор нового типа // Циркон – природный регулятор роста, применение в сельском хозяйстве. М., 2010. С. 3–9.

Malevannaya N.N. Zircon is a New Type of Immunomodulator. In the Collection *Zircon – Natural Growth Regulator; Application in Agriculture*. Moscow, 2010, pp. 3–9. (In Russ.).

10. Немков П.С., Грехова И.В. Влияние гуминового препарата на семена хвойных пород // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 96–99.

Nemkov P.S., Grekhova I.V. The Effect of a Humic Preparation on Coniferous Seedlings. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology, 2015, no. 1, pp. 96–99. (In Russ.).

11. Никитенко Л.А., Гуль Л.П., Король Л.А. Изучение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала дальневосточных древесных пород // Проблемы охраны лесов и многоцелевого лесопользования. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2005. Вып. 38. С. 171–175.

Nikitenko L.A., Gul L.P., Korol L.A. The Study of Growth Stimulants in the Cultivation of Planting Material of Far Eastern Tree Species. *Problemy ohrany lesov i mnogocелеvogo lesopol'zovaniya* = Problems of Forest Protection and Multipurpose Forest Management. Khabarovsk, DalnIILKH Publ., 2005, iss. 38, pp. 171–175. (In Russ.).

12. Острошенко В.В., Акимов Р.Ю., Гаман А.В. Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании однолетних семян сосны корейской (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.) // Вестн. ИрГСХА. 2013. № 54. С. 87–93.

Ostroshenko V.V., Akimov R.Yu., Gaman A.V. The Effectiveness of Growth Stimulants in the Cultivation of Annual Seedlings of Korean Pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.). *Vestnik IrGSHA* = Bulletin of the IrGSHA, 2013, no. 54, pp. 87–93. (In Russ.).

13. Острошенко В.В., Зборовский А.В. Влияние внекорневой подкормки цирконом на рост саженцев лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr.) // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2009. № 23. С. 1–4.

Ostroshenko V.V., Zborovsky A.V. The Influence of Foliar Fertilizing With Zircon on the Growth of Seedlings of Cajander Larch (*Larix cajanderi* Mayr.). *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* = Current Problems of the Forestry Complex, 2009, no. 23, pp. 1–4. (In Russ.).

14. *Острошенко В.Ю.* Влияние стимулятора роста «Эпин-Экстра» на энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 11. С. 208–218.

Ostroshenko V.Yu. The Effect of the Growth Stimulator "Epin-Extra" on the Germination Energy and Laboratory Germination of Seeds of the Common Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Vestnik KrasGAU* = Bulletin of KrasGAU, 2017, no. 11, pp. 208–218. (In Russ.).

15. *Острошенко В.Ю., Чекушкина Т.Н.* Эффективность применения стимулятора роста Циркон при проращивании семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Изв. СамНЦ РАН. 2017. Т. 19, № 2–3. С. 491–495.

Ostroshenko V.Yu., Chekushkina T.N. The Effectiveness of the Growth Stimulator Zircon in the Germination of Pine Seeds (*Pinus sylvestris* L.). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2017, vol. 19, no. 2–3, pp. 491–495. (In Russ.).

16. *Пентелькина Н.В.* Влияние новых стимуляторов на качество сеянцев хвойных пород // Лесной комплекс: состояние и перспективы развития: сб. науч. тр. БГИТА. Брянск: БГИТА, 2003. Вып. 5. С. 122–125.

Pentelkina N.V. The Influence of New Stimulants on the Quality of Coniferous Seedlings. *Forest Complex: State and Prospects of Development. Sb. Nauch. Tr. BGITA*. Bryansk, BGITA Publ., 2003, iss. 5, pp. 122–125. (In Russ.).

17. *Пентелькина Н.В., Пентелькина Ю.С.* Стимулирующее действие циркона на рост сеянцев хвойных интродуцентов // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2002. № 2. С. 24–29.

Pentelkina N.V., Pentelkina Yu.S. Stimulating Effect of Zircon on the Growth of Seedlings of Introduced Conifers. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2002, no. 2, pp. 24–29. (In Russ.).

18. Полифункциональность действия brassinosterоидов: сб. науч. тр. М.: НЭСТ М, 2007. 357 с.

*The Multifunctional Effect of Brassinosteroids. Collection of Scientific Papers.* Moscow, NEST M Publ., 2007. 357 p. (In Russ.).

19. *Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Егорова А.В., Зайцева М.И., Нелаева К.Г.* Морфометрические критерии оценки качества контейнерных сеянцев хвойных пород // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 5. С. 42–57.

Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Egorova A.V., Zaitseva M.I., Nelaeva K.G. Morphometric Criteria for Assessing the Containerized Conifers Seedlings Quality. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 5, pp. 42–57. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-5-42-57>

20. *Савина О.В., Афиногенова С.Н.* Влияние некорневых подкормок комплексными микроудобрениями и гуматом на биометрические параметры роста и развития растений картофеля // Вестн. РГАТУ. 2021. № 1. С. 59–66.

Savina O.V., Afinogenova S.N. The Effect of Foliar Top Dressing With Complex Micro Fertilizers and Humate on Biometric Parameters of Potato Plant Growth and Development. *Vestnik RGATU* = Bulletin of RGATU, 2021, no. 1, pp. 59–66. (In Russ.).

<https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.49.1.009>

21. *Скозарева И.А., Чернодубов А.И.* Эффективность применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев сосны обыкновенной // Лесотехн. журн. 2019. Т. 9, № 3. С. 87–95.

Skozareva I.A., Chernodubov A.I. Efficiency of Using Growth Stimulants When Growing Scots Pine Seedlings. *Lesotekhnicheskij zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 87–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.3/8>

22. *Сунгурова Н.Р., Дрочкова А.А., Гаевский Н.П., Вольхина Н.В., Бабич Н.А.* Конденсат сушки древесины как активатор энергии прорастания и всхожести семян сосны обыкновенной *Pinus sylvestris* L. // Лесн. Вестн. / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 4. С. 39–45.

Sungurova N.R., Drochkova A.A., Gaevsky N.V., Volykhina N.V., Babich N.A. Pine Wood *Pinus sylvestris* L. The Seed Germination Activator Uses Two Years of Energy to Dry Ordinary Condensate. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 4, pp. 39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-39-45>

23. Тюкавина О.Н., Демина Н.А. Практика повышения посевных качеств семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и ели европейской (*Picea abies* L.) // Лесн. вестн. / *Forestry Bulletin*. 2022. Т. 26, № 6. С. 75–91.

Tyukavina O.N., Demina N.A. The Practice of Improving the Sowing Qualities of Seeds of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and European Spruce (*Picea abies* L.). *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 75–91. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-6-75-91>

24. Устинова Т.С., Зуров Р.Н. Влияние препарата Гумат+7 на ростовые процессы хвойных пород // Актуал. проблемы лесн. комплекса. 2010. № 26. С. 115–118.

Ustinova T.S., Zurov R.N. The Effect of the Drug Humate+7 on the Growth Processes of Coniferous Species. *Aktualnie problemy lesnogo kompleksa = Current Problems of the Forest Complex*, 2010, no. 26, pp. 115–118. (In Russ.).

25. Хуришкяйнен Т.В., Андреева Е.М., Стеценко С.К., Терехов Г.Г., Кучин А.В. Влияние биопрепаратов Вэрва и Вэрва-ель на рост сеянцев сосны обыкновенной // Химия растит. сырья. 2019. № 1. С. 295–300.

Khurshkaynen T.V., Andreyeva Ye.M., Stetsenko S.K., Terekhov G.G., Kuchin A.V. Influence of Biopreparation Verva and Verva-spruce on the Scots Pine Seedlings Growth. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of Plant Materials*, 2019, no. 1, pp. 295–300. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014248>

26. Calvo P.L., Nelson L., Kloepper J.W. Agricultural Uses of Plant Biostimulants. *Plant Soil*, 2014, vol. 383, pp. 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>

27. Colombo S.J. Second-year Shoot Development in Black Spruce *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 1986, vol. 16, pp. 68–73. <https://doi.org/10.1139/x86-011>

28. Flint H.L., Boyce B.R., Beattie D.J. Index of Injury – A Useful Expression of Freezing Injury to Plant Tissues as Determined by the Electrolytic Method. *Canadian Journal of Plant Science*, 1967, vol. 47, pp. 229–230. <https://doi.org/10.4141/cjps67-043>

29. Grossnickle S.C., Folk R.S. Abscisic Acid Analogs Reduce Planting Stress in Newly Planted Seedlings. *Forest Ecology and Management*, 1994, vol. 64, no. 1, pp. 214–222.

30. Ishikawa M., Robertson A.J., Gusta L.V. Comparison of Viability Tests for Assessing Cross-adaptation to Freezing, Heat, and Salt Stresses Induced by Abscisic Acid in Bromegrass (*Bromus inermis* Leyss) Suspension Cultured Cells. *Plant Science*, 1995, vol. 107, pp. 83–93. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(95\)04100-9](https://doi.org/10.1016/0168-9452(95)04100-9)

31. Lindström A., Stattin E., Daniel Gräns D., Wallin E. Storability Measures of Norway Spruce and Scots Pine Seedlings and Assessment of Post-storage Vitality by Measuring Shoot Electrolyte Leakage. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, vol. 29, no. 8, pp. 717–724. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.977340>

32. Pardos M., Royo A., Gil L., Pardos J.A. Effect of Nursery Location and Outplanting Date on Field Performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* Seedlings. *Forestry*, 2003, vol. 76, no. 1, pp. 67–81. <https://doi.org/10.1093/forestry/76.1.67>

33. Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Raevsky B.V., Zaitseva M.I., Nelaeva K.G. Double-Cropping of *Pinus sylvestris* L. Containerized Seedlings under Short Growing Season Conditions at High Latitudes. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 6, pp. 50–65. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-6-50-65>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the manuscript

Научная статья

УДК 631.523.13

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-101-112

**Генетическая паспортизация сортов яблони  
(*Malus domestica* Borkh.) из Ботанического сада  
им. В.М. Крутовского**

**Т.В. Сухих**<sup>✉</sup>, науч. сотр.; ResearcherID: [MHR-2563-2025](https://orcid.org/0009-0001-1148-8991),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1148-8991>

**А.А. Ибе**, канд. с.-х. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [JWA-2951-2024](https://orcid.org/0000-0002-3534-532X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3534-532X>

**М.А. Шеллер**, канд. биол. наук, науч. сотр.; ResearcherID: [AAD-1288-2022](https://orcid.org/0000-0001-9306-1627),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-1627>

**Н.В. Моксина**, канд. с.-х. наук, доц., гл. науч. сотр.;

ResearcherID: [KGM-8849-2024](https://orcid.org/0000-0002-1387-0529), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1387-0529>

**Н.П. Братилова**, д-р с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр.;

ResearcherID: [AAF-3074-2019](https://orcid.org/0000-0002-2918-9690), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2918-9690>

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; [cherkesova-tv@yandex.ru](mailto:cherkesova-tv@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [aaibis@mail.ru](mailto:aaibis@mail.ru), [maralexsheller@mail.ru](mailto:maralexsheller@mail.ru), [n.moksina2010@yandex.ru](mailto:n.moksina2010@yandex.ru), [nbratilova@yandex.ru](mailto:nbratilova@yandex.ru)

---

Поступила в редакцию 17.03.25 / Одобрена после рецензирования 07.06.25 / Принята к печати 09.06.25

---

**Аннотация.** Ботанический сад им. В.М. Крутовского Сибирского государственного университета им. М.Ф. Решетнёва объединяет уникальные коллекции плодовых культур. Особая роль среди них отводится коллекции яблони домашней (*Malus domestica* Borkh.), состоящей из 39 сортов российской и зарубежной селекции, адаптированных к сибирским условиям. Для проведения генетической паспортизации были отобраны 18 сортов яблони. ДНК сортов выделяли из свежих листьев с применением СТАВ-метода. Дифференциация сортов выполнена с помощью 11-ядерных микросателлитных локусов: CH01h01, CH01h10, CH04c07, Hi02c07, GD12, CH01f02, CH01f0b, CH02c09, CH02c11, CH02d08, CH04e05. Осуществлен подбор 3 мультиплексных панелей, включающих 3–4 локуса при постановке 1 полимеразной цепной реакции (ПЦР). Фрагментный анализ позволил зарегистрировать четкий и воспроизводимый результат в виде определенного спектрального диапазона ПЦР-продуктов. Проведены анализ показателей генетической дифференциации, идентификация генотипов и оценка вероятности их случайного совпадения. Все использованные микросателлитные локусы характеризуются высоким уровнем полиморфизма. Всего в локусах выявлено от 7 (CH01h01, CH01h10, Hi02c07) до 13 (CH01f02, CH02c11) аллельных вариантов. Средние показатели генетической изменчивости составили: число аллелей на локус – 9,727; эффективное число аллелей – 5,515; наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность – 0,636 и 0,790 соответственно. Обнаружено, что все отобранные образцы имеют разный генотип. Эффективность использованного набора SSR-маркеров подтверждена низкой вероятностью случайного совпадения у особей с неродственным генотипом. На основе полиморфизма микросателлитных локусов составлены генетические паспорта 18 сортов яблони домашней, культивируемых на территории Ботанического сада им.

---

© Сухих Т.В., Ибе А.А., Шеллер М.А., Моксина Н.В., Братилова Н.П., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

В.М. Крутовского. Данные ДНК-паспортов могут быть использованы для подтверждения сортовой аутентичности деревьев яблони. Проведенное исследование служит началом создания базы молекулярно-генетических паспортов коллекционных сортов *Malus domestica* Borkh. Ботанического сада им. В.М. Крутовского.

**Ключевые слова:** яблоня, сорт, генетический полиморфизм, генотип, микросателлиты, генетическая паспортизация, Ботанический сад им. В.М. Крутовского

**Благодарности:** Исследование проведено в рамках госзадания по заказу Министерства науки и высшего образования РФ коллективом научной лаборатории «Селекция древесных растений» по теме «Селекционно-генетические основы формирования целевых насаждений и рационального использования древесных ресурсов Красноярского края (Енисейской Сибири)» (№ FEFE–2024–0013).

**Для цитирования:** Сухих Т.В., Ибе А.А., Шеллер М.А., Моксина Н.В., Братилова Н.П. Генетическая паспортизация сортов яблони (*Malus domestica* Borkh.) из Ботанического сада им. В.М. Крутовского // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 101–112.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-101-112>

Original article

## Genetic Certification of Apple Varieties (*Malus domestica* Borkh.) from the Krutovsky Botanical Garden

**Tatyana V. Sukhikh**<sup>✉</sup>, *Research Scientist*; ResearcherID: [MHR-2563-2025](https://orcid.org/0009-0001-1148-8991),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1148-8991>

**Aleksey A. Ibe**, *Candidate of Agriculture, Research Scientist*; ResearcherID: [JWA-2951-2024](https://orcid.org/0000-0002-3534-532X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3534-532X>

**Marina A. Sheller**, *Candidate of Biology, Research Scientist*;

ResearcherID: [AAD-1288-2022](https://orcid.org/0000-0001-9306-1627), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9306-1627>

**Natalya V. Moksina**, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof., Chief Research Scientist*;

ResearcherID: [KGM-8849-2024](https://orcid.org/0000-0002-1387-0529), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1387-0529>

**Natalia P. Bratilova**, *Doctor of Agriculture, Prof., Chief Research Scientist*;

ResearcherID: [AAF-3074-2019](https://orcid.org/0000-0002-2918-9690), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2918-9690>

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prosp. Krasnoyarskii Rabochii, 31, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660037; [cherkesova-tv@yandex.ru](mailto:cherkesova-tv@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [aaibis@mail.ru](mailto:aaibis@mail.ru), [maralexsheller@mail.ru](mailto:maralexsheller@mail.ru), [n.moksina2010@yandex.ru](mailto:n.moksina2010@yandex.ru), [nbratilova@yandex.ru](mailto:nbratilova@yandex.ru)

---

Received on March 13, 2025 / Approved after reviewing on June 7, 2025 / Accepted on June 9, 2025

---

**Abstract.** The Krutovsky Botanical Garden unites unique collections of fruit crops. A special role among them is given to the collection of apple trees (*Malus domestica* Borkh.), which includes 39 varieties of Russian and foreign breeding adapted to Siberian conditions. Eighteen apple varieties were selected for genetic certification. The DNA of all analyzed varieties was isolated from fresh leaves using the CTAB method. The varieties were differentiated using 11 nuclear microsatellite loci: CH01h01, CH01h10, CH04c07, Hi02c07, GD12, CH01f02, CH01f0b, CH02c09, CH02c11, CH02d08, CH04e05. In the course of the study, three multiplex panels have been selected. Each panel contained 3–4 loci in a single polymerase chain reaction (PCR). Fragment analysis allowed us to obtain a clear and reproducible result for each microsatellite locus, revealing a certain range of amplification products. Based on

the results of the study, an analysis of indicators of genetic differentiation, identification of genotypes and assessment of the probability of their accidental coincidence were performed. All studied microsatellite loci showed a high level of polymorphism. The number of alleles per loci varied from seven (CH01h01, CH01h10, Hi02c07) to 13 (CH01f02, CH02c11). The average values of the genetic variability indicators were: number of alleles per locus – 9.727; number of effective alleles – 5.515; observed and expected heterozygosity 0.636 and 0.790, respectively. It was found that all selected samples have a different genotype. The low probability of accidental coincidence of unrelated genotypes confirmed the effectiveness of the selected set of microsatellite markers. Data on the polymorphism of microsatellite loci, genetic passports of the studied 18 apple varieties of the Krutovsky Botanical Garden were compiled. The DNA passport data can subsequently be used to confirm varietal authenticity. This research is the beginning of the creation of a molecular genetic database of *Malus domestica* Borkh. varieties from the collection of the Krutovsky Botanical Garden of the Reshetnev Siberian State University.

**Keywords:** apple, variety, genetic polymorphism, genotype, microsatellites, genetic certification, Krutovsky Botanical garden

**Acknowledgements:** The study was carried out within the framework of the state assignment commissioned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation by the staff of the "Breeding of Woody Plants" scientific laboratory on the topic "Breeding and Genetic Foundations for the Formation of Target Plantations and the Rational Use of Wood Resources in the Krasnoyarsk Territory (Yenisei Siberia)" (FEFE–2024–0013).

**For citation:** Sukhikh T.V., Ibe A.A., Sheller M.A., Moksina N.V., Bratilova N.P. Genetic Certification of Apple Varieties (*Malus domestica* Borkh.) from the Krutovsky Botanical Garden of The Reshetnev Siberian State University of Science and Technology. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 101–112. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-101-112>

### Введение

Яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.) внесена в перечень сельскохозяйственных растений, выращивание которых обеспечивает продовольственную безопасность страны (распоряжение Правительства РФ № 3835-р от 8 дек. 2022 г., ред. от 03.08.2023). Яблоня является одной из наиболее распространенных и значимых плодовых культур. Это обусловлено особенностями данного вида: приятный вкус и низкокалорийность плодов, содержание в них биологически активных веществ, высокая урожайность, гибкость по отношению к комплексу экологических факторов. Всего насчитывается более 7,5 тыс. сортов яблони. Однако в число наиболее используемых входят лишь 20 [18]. В мировой селекции приоритет отдается выведению высокопродуктивных сортов, устойчивых к фитопатогенам, энтомовамителям, а также абиотическим стрессовым факторам [19].

Создание с помощью традиционных методов нового сорта яблони с определенными признаками может длиться более 30 лет. Повышение эффективности селекционного процесса становится возможным благодаря применению генетических маркеров тех или иных признаков, наличие которых подтверждено объективной оценкой. Особенно актуальными становятся ДНК-методы, позволяющие идентифицировать подлинность сортовой принадлежности [5]. В настоящее время использование ряда молекулярных маркеров качественных признаков, таких как устойчивость к болезням, «лежкость» плодов, их окраска,

развитие растения, его реакция на окружающую среду и др., стало возможным после расшифровки генома яблони сорта Голден Делишес, полученного в ходе полногеномного секвенирования (WGS – whole genome sequencing) [8]. Результаты данного исследования были анонсированы в 2010 г. международной группой ученых. Практической целью являлось ускорение селекции этого экономически важного вида плодовых культур [27, 28].

В число наиболее эффективных методов генетической идентификации отдельных особей, определения степени сходства и исследования видового разнообразия входит SSR-маркирование (Simple Sequence Repeats). Метод позволяет получать сведения о специфичности некоторых участков генома на основе анализа полиморфизма микросателлитных локусов – участков ДНК, содержащих короткие тандемные повторы длиной в 2–9 пар нуклеотидов (чаще 2–4 п. н.) [7, 9]. Полиморфизм микросателлитных локусов – это наличие нескольких аллелей (вариантов) в 1 локусе. Каждый организм обладает индивидуальной комбинацией аллелей в разных локусах и, следовательно, отличается от другого организма практически неповторимым многолокусным генотипом. В настоящее время для яблони известно несколько сотен SSR-маркеров (микросателлитов) с высоким уровнем полиморфности [25]. Чаще всего они не имеют выраженного фенотипического эффекта [14]. Одним из основных применений SSR-маркеров является их использование для идентификации и паспортизации объектов [22].

На сегодняшний день исследования селекции и размножения яблони домашней разных сортов проводятся в Ботаническом саду Сибирского государственного университета науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва (СибГУ им. Решетнёва). Сад был создан в 1904 г. В.М. Крутовским – основоположником интродукции теплолюбивых сортов древесных видов в условиях Сибири, разработчиком арктической стелющейся формы кроны плодовых деревьев. С 1988 г. изучение сортовой и индивидуальной изменчивости деревьев разных сортов по фенологии и плодоношению, а также по гибридизации и выращиванию посадочного материала при семенном и вегетативном размножении продолжили сотрудники Сибирского технологического института (сегодня в составе СибГУ им. М.Ф. Решетнёва) [3, 6]. В настоящее время в уникальную коллекцию Ботанического сада им. В.М. Крутовского входит 39 сортов яблони домашней, выведенных российскими и зарубежными селекционерами. Сорта отличаются разным географическим происхождением, периодом и характеристиками плодоношения. Из общего числа сортов 12 относятся к группе летних, 27 – к группе зимних. Группы отличаются временем сбора плодов и сроками хранения. В условиях Ботанического сада оптимальным месяцем сбора урожая для летних сортов является август, а для зимних – сентябрь. К данным месяцам плоды этих групп приобретают характерные окраску и размер. Большинство сортов интродуцировано из европейской части России. Деревья адаптированы к суровым условиям Сибири, некоторые экземпляры дают урожай в возрасте 113 лет [1]. По результатам многолетней работы сотрудников СибГУ им. М.Ф. Решетнёва были изучены морфологические и физиологические особенности сортов яблони, однако их исследование с помощью молекулярно-генетических методов ранее не проводилось.

Целью данной работы стала генетическая паспортизация 18 сортов яблони домашней из Ботанического сада им. В.М. Крутовского на основе анализа ядерных микросателлитных локусов.

### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования послужили 18 яблонь, произрастающих на территории Ботанического сада им. В.М. Крутовского СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, следующих сортов и фенологических форм: Красноярский сибиряк (зимний), Аркад стаканчатый (летний), Бисмарк (зимний), Аврора (летний), Генерал Орлов, № 22 (зимние), Папировка (летний), Антоновка обыкновенная, Антипасхальное (зимние), Нобилис (летнее), Апорт среднерусский, Восковое, Бельфлер-китайка, Пепин шафранный, Зеленое Крутовского, Малиновка, Красноярское, Воронежский воргуль (зимние).

Исследование состояло из таких основных этапов, как отбор образцов, выделение тотальной ДНК, постановка ПЦР (полимеразная цепная реакция) по 11 микросателлитным локусам в 3 мультиплексах, очистка ПЦР-продуктов для дальнейшего фракционирования в генетическом анализаторе, разделение фрагментов методом капиллярного электрофореза, интерпретация данных, детектированных в ходе фрагментного анализа.

ДНК выделяли из свежего листового материала отдельных деревьев, используя модифицированный СТАВ-метод [12, 15, 16]. Выделенную ДНК растворяли в 50 мкл деионизированной воды, хранили при температуре  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Концентрацию и чистоту ДНК оценивали на нано-спектрофотометре P330 Implen (Германия) с помощью измерения степени поглощения раствора в областях с длинами волн 260 и 280 нм [10]. Для проведения ПЦР образцы разводили до концентрации 30 мкг/мкл.

Отобраны 11 широко используемых ядерных микросателлитных локусов, разработанных для яблони и утвержденных Европейской программой сотрудничества по генетическим ресурсам растений (ЕСPGR) [4, 13, 20, 21]. Праймеры, содержащие флуоресцентную метку (6-FAM TAMRA, R6G, ROX), были распределены на 3 группы для постановки мультиплексной ПЦР (табл. 1).

Таблица 1

**Характеристика ядерных микросателлитных локусов [20, 21]**  
**Characterization of nuclear microsatellite loci**

Мультиплекс	Локус	Мотив	Последовательность праймера (5'-3')	Число аллелей	Диапазон размера ампликона, п. н.	Флуорофор (канал)
M1	CH01h01	(AG) <sub>25</sub>	F: GAAAGACTTGCAGTGGGAGC R: GGAGTGGGTTTGAGAAGGTT	17	114–134	6-FAM (синий)
	CH01h10	(GA) <sub>n</sub>	F: TGCAAAGATAGGTAGATATATGCCA R: AGGAGGGATTGTTTGTGCAC	8	94–114	TAMRA (чёрный)
	CH04c07	(GA) <sub>n</sub>	F: GGCCTTCCATGTCTCAGAAG R: CCTCATGCCCTCCACTAACA	14	98–135	R6G (зеленый)
	Hi02c07	(GA) <sub>n</sub>	F: AGAGCTACGGGGATCCAAAT R: GTTAAAGCATCCCGATTGAAAGG	1	108–149	ROX (красный)

Окончание табл. 1

Мульти-плекс	Локус	Мотив	Последовательность праймера (5'-3')	Число аллелей	Диапазон размера ампликона, п. н.	Флуорофор (канал)
M2	GD12	(CT) <sub>32</sub>	F: TTGAGGTGTTTCTCCCATTGGA R: СТААСГААСССГССАТТСТТТ	3	141–191	6-FAM (синий)
	CH01f02	(GA) <sub>n</sub>	F: ACCACATTAGAGCAGTTGAGG R: СТGGTTTGTТТТСТСССAGC	12	174–206	TAMRA (черный)
	CH01f03b	(GA) <sub>n</sub>	F: GAGAAGCAAATGCAAAAACCC R: СТСССГГСТССТАТТСТАС	9	139–183	R6G (зеленый)
M3	CH02c09	(GA) <sub>n</sub>	F: ТТАТГАТССААСТТТГСТААССТС R: АГААГСАГСАГАГГАГГАТГ	15	233–257	ROX (красный)
	CH02c11	(GA) <sub>n</sub>	F: TGAAGGCAATCACTCTGTGC R: TTCCGAGAATCCTCTTCGAC	10	219–239	6-FAM (синий)
	CH02d08	(GA) <sub>n</sub>	F: TCCAAAATGGCGTACCTCTC R: GCAGACACTCACTCACTATCTCTC	11	210–254	R6G (зеленый)
	CH04e05	(GA) <sub>n</sub>	F: AGGCTAACAGAAATGTGGTTTGT R: ATGGCTCCTATTGCCATCAT	7	174–227	TAMRA (черный)

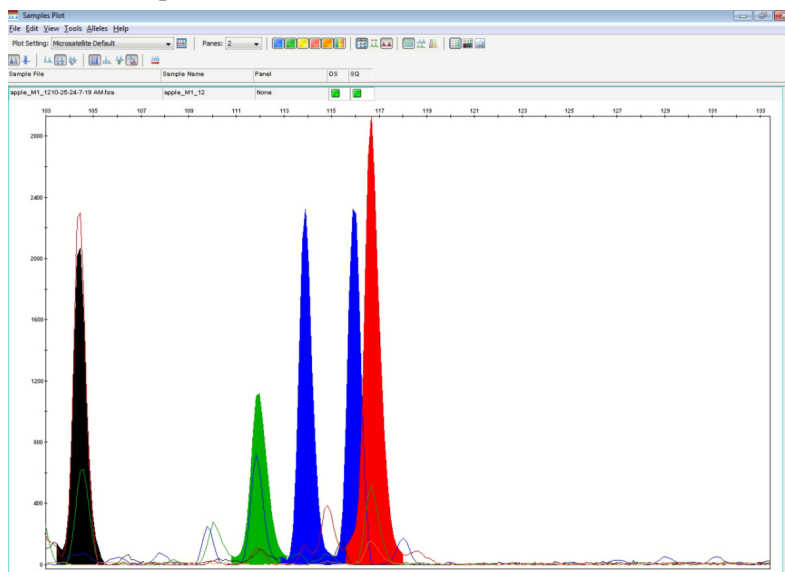
Для амплификации всех локусов использовали наборы реакционной смеси GenPak®PCR MasterMixCore производства Isogen (Россия). ПЦР проводили в термоциклере T100 BioRad (США) по следующей программе: начальная денатурация ДНК – 3 мин при +94 °С; далее 30 циклов: 30 с плавления при +94 °С, 1 мин отжига праймеров при +60 °С, 1 мин элонгации при +72 °С; заключительная элонгация – 5 мин при +72 °С.

Фрагментный анализ продуктов амплификации проводили на генетическом анализаторе ABI Prism 310 Applied Biosystems (США) в соответствии с протоколом, рекомендованным производителем прибора [17]. В качестве электрофоретического стандарта использовали маркер молекулярного веса СД-450 (канал LIZ) производства Синтол (Россия). Для оценки размера и количества аллелей применяли программный пакет GeneMapper Version 4.0. Оценку показателей генетической дифференциации, идентификацию генотипов и оценку вероятности случайного совпадения многолокусных генотипов проводили с использованием программы GenA1Ex 6.5 [23, 24]. Для выявления ошибок генотипирования и наличия нуль-аллелей использовали программу Micro-Cheker [26].

#### Результаты исследования и их обсуждение

В результате фрагментного анализа по каждому SSR-локусу были получены стабильные, четко интерпретируемые электрофоретические спектры, которые соответствуют различным аллелям микросателлитов. Амплификация нескольких SSR-локусов в 1 пробе не приводит к наложению диапазонов их спектров. Присутствие на электрофореграмме 2 пиков у 1 локуса указывает на его гетерозиготность (см. рисунок). Программа Micro-Cheker не выявила ошибок генотипирования, однако нуль-аллели отмечены для локусов Ni02c07, CH02d08, CH04e05 (>0,20). Анализ общего аллельного состава по исследованным микросателлитным локусам показал, что каждый изученный сорт яблони обладает уникальным набором аллелей, отличающим его от других сортов. Ге-

нотипирование выявило полиморфность всех SSR-локусов: от 7 до 13 аллельных вариантов на локус. Наибольшее аллельное разнообразие было установлено для локусов CH01f02 и CH02c11 (13 аллелей). Наименее изменчивыми оказались локусы CH01h01, CH01h10 и Hi02c07, у которых амплифицировалось 7 аллельных вариантов.



Электрофореграмма продуктов амплификации локусов мультиплекса № 1 у сорта Генерал Орлов

Electrophoregram of amplification products from multiplex 1 loci in the General Orlov variety

Ввиду ограниченного количества в Ботаническом саду деревьев выбранных для исследования сортов была проведена общая оценка их генетического разнообразия. Определено, что среднее число аллелей на локус ( $N_A$ ) варьировало от 7,0 до 13,0, эффективное число аллелей ( $N_E$ ) – от 2,842 до 9,672, наблюдаемая ( $H_O$ ) и ожидаемая гетерозиготность ( $H_E$ ) – от 0,278 до 0,889 и от 0,648 до 0,897 соответственно (табл. 2).

Дефицит гетерозиготных генотипов отмечается по 10 микросателлитным локусам. Исключение составил только локус GD12, у которого наблюдается избыток гетерозиготных генотипов (индекс фиксации  $F = -0,1487$ ).

Таблица 2

**Показатели генетического разнообразия исследованных деревьев яблони**  
**Indicators of genetic variability of the studied apple trees**

Локус	$N_A$	$N_E$	$H_O$	$H_E$	$F$
CH01h01	7,000	3,484	0,667	0,713	0,065
CH01h10	7,000	2,842	0,556	0,648	0,143
CH04c07	11,000	5,786	0,778	0,827	0,060
Hi02c07	7,000	3,767	0,278	0,735	0,622
CH01f02	13,000	6,894	0,778	0,855	0,090
CH01f03b	11,000	6,968	0,778	0,856	0,092
GD12	8,000	3,100	0,778	0,677	-0,148
CH02c09	11,000	8,000	0,778	0,875	0,111

Окончание табл. 2

Локус	$N_A$	$N_E$	$H_O$	$H_E$	$F$
CH02c11	13,000	9,672	0,889	0,897	0,009
CH02d08	10,000	5,492	0,444	0,818	0,457
CH04e05	9,000	4,662	0,278	0,785	0,646
<i>Среднее</i>	<i>9,727</i>	<i>5,515</i>	<i>0,636</i>	<i>0,790</i>	<i>0,195</i>

В программе GenAlEx был также проведен анализ данных для идентификации многолокусных генотипов и оценки вероятности их случайного совпадения (метод популяционной вероятности совпадения). Данные расчеты широко используются в судебной экспертизе ДНК как показатель статистической значимости применяемого набора маркерных локусов [11]. В генотипах особей, не состоящих в родстве, показатель вероятности случайного совпадения аллелей в каждом локусе не должен составлять более 5 %. В то же время, если брать весь набор локусов, возможность ошибочной констатации генетической идентичности не должна превышать  $1 \times 10^{-6}$  [2]. Расчеты показали, что вероятность случайного совпадения неродственных генотипов в нашем исследовании составила  $3 \times 10^{-14}$ , что оправдывает выбор использованного набора маркеров для генетической паспортизации сортов яблони домашней.

Дальнейший анализ мультилокусных комбинаций аллелей по 11 микросателлитным локусам позволил установить, что все 18 исследованных образцов относятся к разным генотипам:

Красноярский сибиряк.....114114104122116116116116178178145151151155247257221241220220182182g  
 Аркад стаканчатый.....11211410410410411611812019421415115114915125126121722722222180180g  
 Бисмарк.....114118104104116116122122186194151185149153249261217227220230206208g  
 Аврора.....1141309898104112122116178208145151149185255263225225218218180180g  
 Генерал Орлов.....114116104104112112118118178178151177149149251255223237234236180180g  
 № 22.....1121129898102116116132178178141177149185257261217239218230180180g  
 Папировка.....112112104108118134116116130194145151149151251255219225224232210210g  
 Антоновка обыкновенная.....114114108122102118130130188194167167161185251261217227224224224228g  
 Антипасхальное.....114114104110112116116116186186151177149157251263225243220224208208g  
 Нобилис.....112114104104108128120120194214151157149155251263219221220236182198g  
 Апорт среднерусский.....112114104108102116116116178196177185149149245245227231226226204204g  
 Восковое.....114116104104112112116116188212185185149163261261219241220220182198g  
 Бельфлер-китайка.....114130104110100118120120186194167177149149259263219237226220182182g  
 Пепин шафранный.....130130104110116118120120190196167177149185247257235235220220182182g  
 Зеленое Крутовского.....114116106108104114112116178196145167149155247263219237234234208208g  
 Малиновка.....12212810410898116112112184194137137149155253253221227220220182182g  
 Красноярское.....112114104104104112116116172194149157149149241263209221220226182198g  
 Воронежский воргуль.....112116100104102116112116180208153179153155247247209219228228182182g

Число совпадений между образцами во всех случаях равно 0. Это означает, что полученные многолокусные генотипы не повторяются и являются уникальными.

В табл. 3 указаны размеры амплифицированных фрагментов SSR-маркеров. При этом 2 значения у сорта соответствуют гетерозиготности локуса. По результатам анализа для всех изученных сортов яблони домашней были получены сортоспецифичные молекулярно-генетические паспорта, содержащие информацию о наименовании SSR-маркера и его аллельном составе.

Таблица 3

Длина аллелей исследованных сортов яблони в 11 SSR-локусах (п. н.)  
**Molecular genetic passports of apple tree varieties from the collection of the V.M. Krutovsky Botanical Garden at 11 SSR loci**

Сорт	СН01h01	СН01h10	СН04с07	Нй02с07	СН01f02	СН01f03b	GD12	СН02с09	СН02с11	СН02d08	СН04е05
Красноярский сибиряк	114	104/122	116/116	116	178	145/151	151/155	247/257	221/241	220	182
Аркад стаканчатый	122/114	104	104/116	118/120	194/214	151	149/151	251/161	217/227	222	180
Бисмарк	114/118	104	116/116	122	186/194	151/185	149/153	249/261	217/227	220/230	206/208
Аврора	114/130	98	104/112	116/122	178/208	145/151	149/185	255/263	225	218	180
Генерал Орлов	114/116	104	112/112	118	178	151/177	149/149	251/255	223/237	234/236	180
№ 22	112	98	102/116	116/132	178	141/177	149/185	257/261	217/239	218/230	180
Папировка	112	104/108	118/134	116	130/194	145/151	149/151	251/255	219/225	224/232	210
Антоновка обыкновенная	114	108/122	102/118	130	188/194	167	161/185	251/261	217/227	224	224/228
Антипахальное	114	104/110	112/116	116	186/186	151/177	149/157	251/263	225/243	220/224	208
Нобилис	112/114	104	108/128	120	194/214	151/157	149/155	251/263	219/221	220/236	182/198
Апорт среднерусский	112/114	104/108	102/116	116	178/196	177/185	149/149	245	227/231	226	204
Восковое	114/116	104	112/112	116	188/212	185	149/163	261	219/241	220	182/198
Бельфлер-китайка	114/130	104/110	100/118	120	186/194	167/177	149/149	259/263	219/237	220/226	182
Пелин шафранный	130	104/110	116/118	120	190/196	167/177	149/185	247/257	235	220	182
Зеленое Кругового	114/116	106/108	104/114	112/116	178/196	145/167	149/155	247/263	219/237	234	208
Малиновка	122/128	104/108	98/116	112	184/194	137	149/155	253	221/227	220	182
Красноярское	112/114	104	104/112	116	172/194	149/157	149/149	241/263	209/221	220/226	182/198
Воронежский воргуль	112/116	100/104	102/116	112/116	180/208	153/179	153/155	247	209/2019	228	182

## Заключение

Проведено исследование генотипического разнообразия 18 сортов *Malus domestica* из Ботанического сада СибГУ им. М.Ф. Решетнёва по 11 микросателлитным маркерам. Уровень полиморфизма SSR-локусов изученных образцов оказался высоким. Эффективность использованного набора микросателлитных маркеров подтверждена низкой вероятностью случайного совпадения генотипов неродственных особей. Каждый сорт несет уникальный набор аллелей. Полученные в ходе паспортизации многолокусные генотипы сортов яблони домашней могут быть использованы для их идентификации с целью определения правильности отнесения к сорту и сортовой чистоты. Данная работа является начальным этапом создания базы данных ДНК-паспортов коллекционных сортов яблони Ботанического сада им. В.М. Крутовского СибГУ им. М.Ф. Решетнёва.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Братилова Н.П., Герасимова О.А., Моксина Н.В. Биологическая продуктивность крупноплодных сортов яблони, выращиваемой в открытой и стелющейся форме в ботаническом саду им. В.М. Крутовского: моногр. 2-е изд., доп. и перераб. Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, 2024. 148 с.

Bratilova N.P., Gerasimova O.A., Moksina N.V. *Biological Productivity of Large-fruited Apple Varieties Grown in Open and Creeping Form in the Botanical Garden Named After V.M. Krutovsky: Monograph*. Ed. by N.P. Bratilova. Krasnoyarsk, SibGU im. M.F. Reshetnyeva Publ., 2024. 148 p. (In Russ.).

2. Волков В.А. Использование микросателлитных маркеров для установления фактов незаконной рубки основных хвойных лесобразователей Северо-Запада России // Синергия Наук. 2018. № 30. С. 2211–2219.

Volkov V.A. Using Microsatellite DNA Markers to Establish the Facts of Illegal Logging of Basic Coniferous Forest-growers North-West Russia Area. *Synergia Nauk = The Synergy of Sciences*, 2018, no. 30, pp. 2211–2219. (In Russ.).

3. Григорьева С.О., Матвеева Р.Н., Моксина Н.В., Коломыцев М.В. Плодоношение маточных деревьев яблони, использованных для гибридизации в ботаническом саду им. В.М. Крутовского // Хвойные бореал. зоны. 2024. Т. XLII, № 6. С. 65–70.

Grigorieva S.O., Matveeva R.N., Moksina N.V., Kolomytsev M.V. Fruit-Bearing of Brotherhood Apple Trees Used for Hybridization at the V.M. Krutovsky Botanical Garden. *Khvoynye boreal'noi zony = Conifers of the Boreal Area*, 2024, vol. XLII, no. 6, pp. 65–70. (In Russ.).

4. Козловская З.А., Леонович И.С., Гашенко Т.А., Кондратенюк Ю.Г. Молекулярно-генетическая паспортизация национальной коллекции яблони в Беларуси // Сб. науч. тр. ГНБС. 2017. Т. 144. Ч. I. С. 134–138.

Kozlovskaya Z.A., Leonovich I.S., Gashenko T.A., Kondratenok Yu.G. Molecular-genetic Passportization of National Apple Collection in Belarus. *Sbornik nauchnykh trudov GNBS = Works of the State Nikit. Botan. Gard.*, 2017, vol.144, part I, pp. 134–138. (In Russ.).

5. Куликов И.М., Кудрявцев А.М., Марченко Л.А., Морозова Н.Г., Борис К.В., Трифонова А.А., Дедова Л.В. Полиморфизм микросателлитных локусов сортов яблони (*Malus domestica* Borkh.) современной селекции ФГБНУ ВСТИСП // Садоводство и виноградарство. 2018. № 1. С. 6–10.

Kulikov I.M., Kudryavtsev A.M., Marchenko L.A., Morozova N.G., Boris K.V., Trifonova A.A., Dedova L.V. Polymorphism of Microsatellite Loci of Apple Varieties (*Malus*

*domestica* Borkh.) of ARHIBAN Contemporary Breeding. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and Viticulture, 2018, no. 1, pp. 6–10. (In Russ.).

<https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.1.10495>

6. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Моксина Н.В., Репях М.В. Селекция яблони в ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского. Красноярск: СибГТУ, 2006. 357 с.

Matveeva R.N., Butorova O.F., Moksina N.V., Relyakh M.V. *Apple Tree Breeding in the Botanical Garden Named after Vs.M. Krutovsky*. Krasnoyarsk. SibGTU Publ., 2006. 357 p. (In Russ.).

7. Мельникова М.Н., Петров Н.Б., Ломов А.А., Лапорта Н., Политов Д.В. Тестирование микросателлитных праймеров на разных популяциях евразийских елей *Picea abies* (L.) Karst и *Picea obovata* Ledeb. // Генетика. 2012. Т. 48, № 5. С. 660–665.

Melnikova M.N., Petrov N.B., Lomov A.A., La Porta N, Politov D.V. Testing of Microsatellite Primers with Different Populations of Eurasian Spruces *Picea abies* (L.) Karst. and *Picea obovata* Ledeb. *Genetika* = Russian Journal of Genetics, 2012, vol. 48, no. 5, pp. 660–665. (In Russ.).

8. Омашева М.Е., Пожарский А.С., Смайлов Б.Б., Галиакпаров Н.Н. Молекулярно-генетическая паспортизация сортов яблони: научно-методические рекомендации. Алматы, 2017. 50 с.

Omasheva M.Y., Pozharskiy A.S., Smailov B.B., Galiakparov N.N. *Molecular Genetic Certification of Apple Tree Varieties: Scientific and Methodological Recommendations*. Almaty, 2017. 50 p. (In Russ.).

9. Орешкова Н.В., Белоконь М.М., Жамъянсурен С. Генетическое разнообразие, популяционная структура и дифференциация лиственниц сибирской, Гмелина и Каяндера по данным SSR маркеров // Генетика. 2013. Т. 49, № 2. С. 204–213.

Oreshkova N.V., Belokon M.M., Jamiyansuren S. Genetic Diversity, Population Structure, and Differentiation of Siberian Larch, Gmelin Larch and Cajander Larch on SSR Markers Data. *Genetika* = Russian Journal of Genetics, 2013, vol. 49, no. 2, pp. 204–213. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0016675812120090>

10. Падутов В.Е., Баранов О.Ю., Воронаев Е.В. Методы молекулярно-генетического анализа. Минск: Юнипол, 2007. 176 с.

Padutov V.E., Baranov O.Yu., Voronayev E.V. *Methods of molecular genetic analysis*. Minsk, Unipol, 2007. 176 p. (In Russ.).

11. Перепечина И.О., Гришечкин С.А. Вероятностные расчеты в ДНК-дактилоскопии: Методические рекомендации. М.: ЭКЦ МВД России, 1996. 16 с.

Perepechina I.O., Grishechkin S.A. *Probabilistic Calculations in DNA Fingerprinting: Methodological Recommendation*. Moscow, FEC of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1996. 16 p. (In Russ.).

12. Попова А.А., Гродецкая Т.А., Молчанов В.В., Евлаков П.М. Подбор и оптимизация методов экстракции ДНК из различного растительного материала // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 1(53). С. 69–77.

Popova A.A., Grodetskaia T.A., Molchanov V.V., Evlakov P.M. Selection and Optimization of DNA Extraction Methods from Various Plant Materials. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya "Les. Ecologiya. Prirodopol'zovanie"* = Vestnik of Volga State University of Technology. Series "Forest. Ecology. Nature Management", 2022, no. 1(53), pp. 69–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2022.1.69>

13. Урбанович О.Ю. Молекулярные методы идентификации и генотипирования яблони и груши. Минск: Право и экономика, 2013. 208 с.

Urbanovich O.Yu. *Molecular Methods of Identification and Genotyping of Apple and Pear Trees*. Minsk, Law and Economics Publ., 2013. 208 p. (In Russ.).

14. Янковская А.А., Князева И.В., Упадышев М.Т. Молекулярное маркирование и генетическая паспортизация: использование в селекции, биотехнологии и идентификации садовых культур // Садоводство и виноградарство. 2019. № 5. С. 5–11.

Yankovskaya A.A., Knyazeva I.V., Upadishev M.T. Molecular Marking and Genetic Certification: Application in Plant Breeding, Biotechnology and Identification of Horticultural crops. *Sadovodstvo i vinigradarstvo = Horticulture and Viticulture*, 2019, no. 5, pp. 5–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-5-11>

15. Devey M.E., Bell J.C., Smith D.N., Neale D.B., Moran G.F. A Genetic Linkage Map for *Pinus radiata* Based on RFLP, RAPD, and Microsatellite Markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 1996, vol. 92, no. 6, pp. 673–679. <https://doi.org/10.1007/BF00226088>

16. Doyle J.J., Doyle J.L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*, 1990, vol. 12, no. 1, pp. 3–5.

17. DNA Fragment Analysis by Capillary Electrophoresis. Thermo Fisher Scientific Inc., 2014. Available at: <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/4474504.pdf> (accessed 21.01.26).

18. Gross B.L., Henk A.D., Richards C.M., Fazio G., Volk G.M. Genetic Diversity in *Malus × domestica* (Rosaceae) Through Time in Response to Domestication. *American Journal of Botany*, 2014, vol. 101, no. 10, pp. 1770–1779. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400297>

19. Gross B.L., Kellogg E.A., Miller A.J. Speaking of Food: Connecting Basic and Applied Plant Science. *American Journal of Botany*, 2014, vol. 101, no. 10, pp. 1597–1600. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400409>

20. Hokanson S.C., Szewc-McFadden A.K., Lamboy W.F., McFerson J.R. Microsatellite (SSR) Markers Reveal Genetic Identities, Genetic Diversity and Relationships in a *Malus × domestica* Borkh. Core Subset Collection. *Theoretical and Applied Genetics*, 1998, no. 94, pp. 671–683. <https://doi.org/10.1007/s001220050943>

21. Liebhard R., Gianfranceschi L., Koller B., et al. Development and Characterization of 140 New Microsatellites in Apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Molecular Breeding*, 2002, vol. 10, no. 4, pp. 217–241. <https://doi.org/10.1023/A:1020525906332>

22. Liebhard R., Koller B., Gianfranceschi L., Gessler C. Creating a Saturated Reference Map for the Apple (*Malus domestica* Borkh.) Genome. *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, vol. 106, pp. 1497–1508. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1209-0>

23. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx V6: Genetic Analysis in Excel. Population Genetic Software for Teaching and Research. *Molecular Ecology Notes*, 2006, vol. 6, no. 1, pp. 288–295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>

24. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: Genetic Analysis in Excel. Population Genetic Software for Teaching and Research – an Update. *Bioinformatics*, 2012, vol. 28, iss. 19, pp. 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>

25. Silfverberg-Dilworth E., Matasei C.L., Van de Weg W.E., et al. Microsatellite Markers Spanning the apple (*Malus × domestica* Borkh.) Genome. *Tree Genetics and Genomes*, 2006, vol. 2, pp. 202–224. <https://doi.org/10.1007/s11295-006-0045-1>

26. Van Oosterhout C., Hutchinson W.F., Wills D.P., Shipley P. MICRO-CHECKER: Software for Identifying and Correcting Genotyping Errors in Microsatellite Data. *Mol. Ecol. Notes*, 2004, vol. 4, iss. 3, pp. 535–538. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x>

27. Velasco R., Zharkikh A., Affourtit J., et al. The Genome of the Domesticated Apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Nature genetics*, 2010, vol. 42, no. 10, pp. 833–839. <https://doi.org/10.1038/ng.654>

28. Zhang L., Hu J., Han X. A High-quality Apple Genome Assembly Reveals the Association of a Retrotransposon and Red Fruit Colour. *Nature Communications*, 2019, vol. 10, no. 1, p. 1494. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09518-x>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the manuscript



## ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Научная статья

УДК 630.323

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-113-123

### Математическое моделирование технологических характеристик полноповоротной лесозаготовительной машины

**А.Ф. Уразова**<sup>✉</sup>, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

**Э.Ф. Герц**, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт, д. 37,  
г. Екатеринбург, Россия, 620100; urazovaaf@m.usfeu.ru<sup>✉</sup>, gertsef@m.usfeu.ru

---

Поступила в редакцию 21.10.25 / Одобрена после рецензирования 10.12.25 / Принята к печати 13.12.25

---

**Аннотация.** Технологические параметры работы полноповоротной лесозаготовительной машины оказывают существенное влияние на экологическую и эксплуатационную эффективность лесосечных работ. Требование вырубki при сплошных рубках всего ликвидного запаса древостоя предполагает исключение на ленте недоступных для манипулятора участков, возникающих в результате различия расстояний переезда между рабочими стоянками. Ограничение ширины ленты снижает ряд технологических показателей функционирования лесозаготовительной машины: площадь, освещенную с одной стоянки, и, соответственно, общий объем заготовленной древесины. Цель работы – определение рационального сочетания ширины ленты и расстояния переезда в древостоях различной густоты при ее ограничении и допустимых рисках оставления деревьев. Получены аналитические выражения для расчета доступных манипулятору лесозаготовительной машины площадей исходя из расстояния дополнительного переезда и ширины разрабатываемой ленты, вероятности оставления деревьев на недосягаемых участках в зависимости от густоты древостоя и дополнительного расстояния переезда при различных вариантах ограничения ширины ленты. Рассчитаны технологические параметры для лесозаготовительной машины с максимальным вылетом манипулятора 10 м и минимальным – 2 м и древостоев густотой от 300 до 900 дер./га. Приведены площади рабочей зоны при ограничении ширины ленты, площади, вырубаемые с рабочей стоянки, и дополнительные расстояния переезда лесозаготовительной машины при ограничении ширины ленты и заданной вероятности оставления деревьев при различной густоте древостоев. Установлено, что рассмотренные варианты сочетания ширины разрабатываемой ленты леса и максимальные расстояния между рабочими стоянками с заданными рисками оставления деревьев в древостоях различной густоты при равных условиях обеспечивают размеры рабочей площади, различающиеся не более чем на 3 %.

**Ключевые слова:** лесозаготовительная машина, ширина ленты, расстояние переезда, доступность деревьев, недоступный для лесозаготовительной машины участок

---

© Уразова А.Ф., Герц Э.Ф., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

*Для цитирования:* Уразова А.Ф., Герц Э.Ф. Математическое моделирование технологических характеристик полноповоротной лесозаготовительной машины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 113–123. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-113-123>

Original article

## On the Rational Parameters of the Operation of a Full-Rotation Timber Harvesting Machine

*Alina F. Urazova*<sup>✉</sup>, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [AAD-2602-2020](https://orcid.org/0000-0003-2771-2334), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2771-2334>

*Eduard F. Gerts*, *Doctor of Engineering, Prof.*; ResearcherID: [O-6331-2018](https://orcid.org/0000-0003-0434-7282), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0434-7282>

Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, Russian Federation, 620100; urazovaaf@m.usfeu.ru<sup>✉</sup>, gertsef@m.usfeu.ru

---

*Received on October 21, 2025 / Approved after reviewing on December 10, 2025 / Accepted on December 13, 2025*

---

**Abstract.** The technological parameters of the operation of a full-rotation timber harvesting machine have a significant impact on the ecological and operational efficiency of logging operations. The requirement to harvest the entire merchantable stand during clear-cutting implies avoiding areas on the strip that are inaccessible for the manipulator, which arise due to varying distances between work sites. Limiting the felling strip width reduces several technological performance indicators of the timber harvesting machine, specifically decreasing the area harvested per setting and, consequently, the total harvested timber volume. The aim of the study is to determine the optimal combination of felling strip width and travel distance in stands of varying density, considering strip width limitations and acceptable risks of leaving trees uncut. Analytical expressions were derived to calculate areas accessible to the timber harvesting machine manipulator, based on the distance of ancillary travel, the width of the felled strip, and the probability of leaving uncut trees in inaccessible areas, dependent on stand density and ancillary travel distance under various constraints on strip width. Results of calculations regarding technological parameters are presented for a timber harvesting machine with a maximum manipulator reach of 10 m and a minimum of 2 m, operating in stands with densities from 300 to 900 trees/ha. Specific data provided include the working zone area under strip width constraints, the area harvested per working position, and the necessary ancillary travel distances for various stand densities, given a set probability of leaving trees uncut. Based on the results of the conducted studies, it has been established that the considered options for combining the width of the felling strip and the maximum distances between work sites, with given risks of leaving uncut trees in stands of varying density, under equal conditions, ensure working area sizes that differ by no more than 3 %.

**Keywords:** logging machine, felling strip width, travel distance, tree accessibility, area inaccessible to the logging machine

**For citation:** Urazova A.F., Gerts E.F. On the Rational Parameters of the Operation of a Full-Rotation Timber Harvesting Machine. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 113–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-113-123>



*Введение*

Широкозахватные манипуляторные лесозаготовительные машины (ЛЗМ) с конца XX в. стали основой парка лесозаготовительной техники в ряде стран. Возможность навески на манипулятор ЛЗМ различного технологического и грузозахватного оборудования позволяет комбинировать функции технологических и транспортных машин с неодинаковым числом и последовательностью выполняемых операций [2, 8, 14, 15, 18]. Методики работы манипуляторных ЛЗМ предполагают проектирование лент леса с рабочих стоянок, причем объем заготавливаемой древесины определяется площадью ленты, прорубаемой со стоянки. Ширина разрубаемой ленты зависит от конструкции ходовой части базовой машины, ее массы, характеристик технологического оборудования (манипулятора и ЗСУ) [1, 9, 10, 17, 20, 21], а расстояние между рабочими стоянками (позициями) – габаритов ЛЗМ (ширины), вылета манипулятора и густоты древостоя [3, 7, 11]. В свою очередь, эти параметры технологического процесса оказывают существенное влияние не только на производительность, но и на степень повреждения компонентов леса в границах делянки и последующий процесс лесовосстановления [4, 6, 12, 13, 16, 19]. Требование вырубki при сплошных рубках всех деревьев предполагает сочетание ширины разрубаемой ленты и расстояний между рабочими стоянками, исключающее риски оставления деревьев.

Цель исследования – обоснование рационального сочетания ширины ленты и расстояния между рабочими позициями манипуляторной широкозахватной ЛЗМ, обеспечивающего формирование пакетов древесины максимального объема и исключающего риски оставления деревьев при максимальной площади вырубаемого участка с рабочей стоянки.

*Объекты и методы исследования*

Расстояние переезда между рабочими стоянками устанавливается с учетом густоты древостоя и габаритов ЛЗМ, определяющих ширину волока [5].

Ширина ленты ( $B_i^n$ ), при которой вся ее площадь досягаема для манипулятора со смежных рабочих стоянок, составит:

$$B_i^n = 2\sqrt{R^2 - l_g^2 - 2l_g l_i - l_i^2},$$

где  $R$  – максимальный вылет манипулятора, м;  $l_g$ ,  $l_i$  – гарантированный и дополнительный за счет пустот (промежутков) между деревьями соответственно переезды ЛЗМ, м.

Вероятность перемещения ЛЗМ на каждый отрезок расстояния дополнительного переезда зависит от выполнения предыдущих операций, рассчитанных по условию:

$$P(l_{\Delta}) = P(l_i) - P(l_i + 0,5).$$

При этом шаг дополнительного переезда, превышающего гарантированное, при расчетах принят равным 0,5 м.

Вероятность переезда на дополнительное максимальное расстояние определится из условия полной вероятности:

$$P(L) = \sum_{i=1}^n P(l_i)P(L | l_i).$$

Таким образом, широкий диапазон варьирования густоты древостоев предполагает при сплошных рубках планирование лент разной ширины. Критерием для принятия решения при этом должна быть не только густота древостоя, но и допустимость оставления деревьев в силу их недоступности.

Вероятность оставления дерева на недоступных участках ( $P(D_c)$ ) при работе на стоянке определится как совместная вероятность 2 независимых событий:

$$P(D_c) = e^{-\frac{S_i}{S_d}} + e^{-\frac{S_i}{S_d}} - e^{-\frac{S_i}{S_d}} e^{-\frac{S_i}{S_d}},$$

где  $S_i$  – площадь 1 недосягаемого участка, м<sup>2</sup>;  $S_d$  – площадь, занимаемая 1 деревом, м<sup>2</sup>.

Вероятность появления хотя бы 1 из 2 событий, зависимых с событием оставления дерева на недосягаемом участке в результате дополнительного переезда ЛЗМ, равна произведению вероятности дополнительного переезда на условную вероятность оставления дерева на 1 из 2 недосягаемых участков.

$$P(D_{c1}) = e^{-\frac{L_i b}{S_d}} \left( 2e^{-\frac{S_i}{S_d}} - e^{-\frac{S_i}{S_d}} e^{-\frac{S_i}{S_d}} \right),$$

где  $b$  – ширина волокна, м.

При сплошных рубках манипуляторной ЛЗМ спелых и перестойных древостоев с наличием жизнеспособного подроста целесообразно устанавливать ширину ленты, обеспечивающую максимальное сохранение подроста, живого напочвенного покрова с минимизацией доли волоков и рисков оставления деревьев. Схема для расчета площади участков, недоступных для манипулятора со смежных стоянок, приведена на рис. 1.

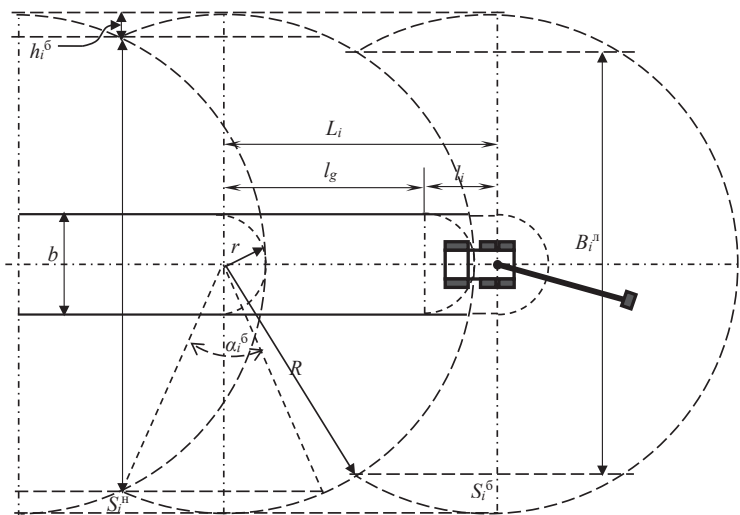


Рис. 1. Расчетная схема площади недоступных для манипулятора отрезков ленты ( $r$  – минимальный вылет манипулятора, м)

Fig. 1. Calculation diagram for the area of manipulator-inaccessible belt sections ( $r$  is the minimum reach of the manipulator, m)

Площадь недоступного участка при ширине ленты, равной максимальному вылету манипулятора, составит:

$$S_i^H = L_i h_i^delta - S_i^delta,$$



Площадь рабочей зоны манипуляторной ЛЗМ со стоянки ( $S_i^n$ ) с учетом расстояния между смежными стоянками и величиной недоступных участков по краям ленты составит:

$$S_i^n = \frac{\pi R^2}{4} - S_i^p - 2S_i^{бo}.$$

Площадь, вырубленная с предыдущей стоянки

$$S_i^p = \frac{R^2}{2} \left( \frac{\pi \alpha_i^{dp}}{180} - \sin \alpha_i^{dp} \right);$$

$$\alpha_i^{dp} = 2 \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - \frac{B_i^2}{4}}}{R} \cdot \frac{180}{\pi}.$$

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчета площадей, достигаемых для манипулятора ЛЗМ при его максимальном и минимальном вылете соответственно 10 и 2 м в зависимости от расстояния дополнительного переезда и ширины ленты, приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Площади рабочей зоны при ограничении ширины разрабатываемой ленты Area of operation for a belt of constrained width

$l_i, \text{м}$	$B_i^л, \text{м}$	Площадь рабочей зоны при $B = R$	Ограничение ширины разрабатываемой ленты, м					
			19,0	18,5	18,3	18,0	17,5	17,0
0	18,3	173,9	169,7	166,3	165,0	162,2	157,6	152,5
0,5	18,1	178,3	174,1	170,6	169,4	166,5	161,9	156,9
1,0	17,9	182,6	178,4	175,0	173,7	170,9	166,3	161,2
1,5	17,6	186,9	182,8	179,3	178,1	175,2	170,6	165,6
2,0	17,3	191,3	187,1	183,6	182,4	179,5	174,9	169,9
2,5	17,0	195,6	191,4	188,0	186,7	183,9	179,3	174,2
3,0	16,7	199,9	195,8	192,3	191,0	188,2	183,6	178,6
3,5	16,3	204,3	200,1	196,6	195,4	192,6	188,0	182,9
4,0	16,0	208,6	204,5	201,0	199,8	196,9	192,3	187,3
4,5	15,6	213,0	208,9	205,4	204,1	201,3	196,7	191,6
5,0	15,2	217,4	213,3	209,8	208,6	205,7	201,1	196,1
5,5	14,8	221,9	217,7	214,3	213,0	210,2	205,6	200,5

В табл. 2 приведены вероятности дополнительных переездов с шагом 0,5 м в зависимости от густоты древостоя. По мере возрастания густоты вероятность дополнительного переезда на следующие 0,5 м значительно снижается. С вероятностью выше 0,5 дополнительный переезд 5,5 м для ЛЗМ может быть достигнут только при густоте не выше 300 дер./га. При густоте древостоя 900 дер./га такая вероятность ожидаема только при дополнительном переезде до 1,5 м.

Таблица 2

Зависимость вероятности дополнительного переезда ЛЗМ от густоты древостоя  
Dependence of the probability of additional timber harvesting machine relocation  
on forest stand density

$l_i, \text{ м}$	Количество столов, шт./га						
	300	400	500	600	700	800	900
0,5	0,942	0,923	0,905	0,887	0,870	0,853	0,836
1,0	0,887	0,853	0,819	0,787	0,756	0,727	0,698
1,5	0,836	0,787	0,741	0,698	0,658	0,620	0,584
2,0	0,787	0,727	0,671	0,620	0,572	0,528	0,488
2,5	0,741	0,671	0,607	0,550	0,498	0,450	0,408
3,0	0,698	0,620	0,550	0,488	0,433	0,384	0,341
3,5	0,658	0,572	0,498	0,433	0,376	0,327	0,285
4,0	0,620	0,528	0,450	0,384	0,327	0,279	0,238
4,5	0,584	0,488	0,408	0,341	0,285	0,238	0,199
5,0	0,550	0,450	0,369	0,302	0,248	0,203	0,166
5,5	0,518	0,416	0,334	0,268	0,215	0,173	0,139

Вероятности оставления хотя бы 1 дерева на недоступном с рабочей сто-  
янки участке в зависимости от густоты древостоя и дополнительного переезда  
при различных вариантах ограничения ширины ленты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Вероятность нахождения хотя бы 1 дерева на недосягаемых для ЛЗМ участках  
ленты (совместное событие) при ограничении ширины ленты  $B_i^0 \leq B_i^1$   
Probability of finding trees in areas of the tape that are inaccessible to the timber  
harvesting machine (joint event) when the width of the tape is limited  $B_i^0 \leq B_i^1$

$l_i$	Вероятность при ограничении ширины ленты $B_i^0, \text{ м}$															
	18,3				18,0				17,5				17,0			
	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900
0	0	0	0	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5	0,002	0,003	0,004	0,006	0	0,001	0,001	0,001	–	–	–	–	–	–	–	–
1,0	0,007	0,012	0,017	0,022	0,001	0,001	0,001	0,002	–	–	–	–	–	–	–	–
1,5	0,016	0,027	0,038	0,048	0,005	0,008	0,011	0,014	0	0	0,001	0,001	–	–	–	–
2,0	0,029	0,048	<b>0,067</b>	<b>0,085</b>	0,013	0,021	0,030	0,038	0,001	0,001	0,002	0,003	–	–	–	–
2,5	0,046	<b>0,076</b>	<b>0,104</b>	<b>0,132</b>	0,025	0,041	<b>0,057</b>	<b>0,073</b>	0,006	0,010	0,014	0,017	–	–	–	–
3,0	<b>0,067</b>	<b>0,109</b>	<b>0,149</b>	<b>0,188</b>	0,041	<b>0,068</b>	<b>0,094</b>	<b>0,119</b>	0,015	0,025	0,035	0,045	0,002	0,004	0,005	0,006
3,5	<b>0,092</b>	<b>0,148</b>	<b>0,201</b>	<b>0,251</b>	<b>0,062</b>	<b>0,102</b>	<b>0,139</b>	<b>0,175</b>	0,030	0,049	<b>0,067</b>	<b>0,086</b>	0,009	0,015	0,021	0,027
4,0	<b>0,121</b>	<b>0,193</b>	<b>0,259</b>	<b>0,320</b>	<b>0,088</b>	<b>0,142</b>	<b>0,192</b>	<b>0,240</b>	0,049	<b>0,080</b>	<b>0,110</b>	<b>0,139</b>	0,021	0,035	0,049	<b>0,062</b>
4,5	<b>0,154</b>	<b>0,243</b>	<b>0,322</b>	<b>0,394</b>	<b>0,117</b>	<b>0,187</b>	<b>0,252</b>	<b>0,312</b>	<b>0,072</b>	<b>0,118</b>	<b>0,161</b>	<b>0,202</b>	0,039	<b>0,063</b>	<b>0,088</b>	<b>0,111</b>
5,0	<b>0,190</b>	<b>0,296</b>	<b>0,388</b>	<b>0,468</b>	<b>0,151</b>	<b>0,238</b>	<b>0,317</b>	<b>0,387</b>	<b>0,101</b>	<b>0,163</b>	<b>0,220</b>	<b>0,273</b>	<b>0,061</b>	<b>0,100</b>	<b>0,137</b>	<b>0,173</b>
5,5	<b>0,230</b>	<b>0,353</b>	<b>0,456</b>	<b>0,543</b>	<b>0,188</b>	<b>0,294</b>	<b>0,385</b>	<b>0,465</b>	<b>0,134</b>	<b>0,214</b>	<b>0,286</b>	<b>0,351</b>	<b>0,089</b>	<b>0,144</b>	<b>0,196</b>	<b>0,245</b>

Нахождение хотя бы 1 дерева на недоступных для манипулятора участках  
ленты (и риски оставления дерева) с вероятностью более 0,05 при различных  
сочетаниях расстояния дополнительного переезда, густоты древостоя и шири-  
ны ленты в таблице выделены полужирным цветом. Уменьшение ширины лен-

ты позволяет значительно снижать эти риски, причем по мере увеличения густоты древостоя риск возрастает.

Площадь ( $m^2$ ), осваиваемая с рабочей стоянки при условии ограничения ширины ленты ( $m$ ), и дополнительные расстояния переезда при заданном риске оставления на ленте деревьев при различных сочетаниях густоты вырубемого древостоя и ширины ленты приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Площадь, вырубаемая с рабочей стоянки (числитель), и дополнительное расстояние переезда (знаменатель) ЛЗМ при ограничении ширины ленты и заданной вероятности оставления деревьев при различной густоте древостоя**  
**Area cut from the work site (numerator) and additional travel distance (denominator) for the logging machine, subject to a limited cutting strip width and a specified probability of uncut trees under varying stand densities**

$P(D)$ , %	Площадь при ограничении ширины ленты $B_i^0$ , м															
	18,3				18,0				17,5				17,0			
	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900	300	500	700	900
0	165.0 0	165.0 0	165.0 0	165.0 0	166.3 0,5	162.2 0	162.2 0	162.2 0	169.1 1,5	168.3 1,5	161.3 1,0	164.3 1,0	170.7 2,5	168.8 2,5	165.5 2,5	164.4 2,5
2	176.3 1,5	175.8 1,0	172.1 1,0	168.7 0,5	177.1 2,0	172.9 1,5	170.2 1,5	168.6 1,5	178.8 3,0	172.4 2,5	172.1 2,5	170.7 2,5	176.6 3,5	173.3 3,5	169.0 3,0	167.1 3,0
5	183.2 2,5	178.6 2,0	175.0 2,0	174.3 1,5	183.4 3,0	178.4 2,5	174.6 2,0	173.5 2,0	183.9 4,0	178.4 3,5	174.0 3,0	172.1 3,0	181.9 4,5	175.3 4,0	172.0 4,0	168.3 3,5

Приведенные в табл. 4 данные позволяют выбирать для ЛЗМ с заданными техническими характеристиками величины рабочих площадей при различной густоте древостоя и допустимых рисках оставления деревьев.

### Выводы

1. Предложенная методика позволяет рассчитать для работы ЛЗМ рациональное сочетание максимального расстояния между рабочими стоянками и шириной ленты леса в зависимости от густоты древостоя при заданных рисках оставления деревьев.

2. Рассмотренные варианты сочетания ширины ленты леса и максимальных расстояний между рабочими стоянками при заданных рисках оставления деревьев в древостоях различной густоты и равных условиях обеспечивают размеры рабочих площадей, различающиеся не более чем на 3 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Мехренцев А.В., Залесов С.В. Сортиментная заготовка древесины. М.: Инфра-М, 2021. 139 с.  
Azarenok V.A., Gerts E.F., Mekhrentsev A.V., Zalesov S.V. *Assortment Harvesting of Wood*. 2021. 139 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.12737/1141213>
2. Арико С.Е., Мохов С.П., Голякевич С.А., Пищов С.Н. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообработ. пром-сть. 2012. № 2. С. 18–20.  
Ariko S.E., Mokhov S.P., Golyakevich S.A., Pishchov S.N. Analysis of Development Trends in the Designs of Multi-operational Logging Machines. *Proceedings of BSTU. Forestry and Woodworking Industry*. Minsk, 2012, no. 2, pp. 18–20. (In Russ.).

3. Безгина Ю.Н., Герц Э.Ф., Залесов С.В., Теринов Н.Н., Уразова А.Ф. Рациональные параметры технических элементов пасаки для манипуляторных лесозаготовительных машин // Хвойные бореал. зоны. 2018. Т. 36, № 4. С. 338–343.

Bezgina Yu.N., Gerts E.F., Zalesov S.V., Terinov N.N., Urazova A.F. Rational Parameters of Technical Elements of an Apiary for Manipulator Logging Machines. *Khvoynye borealnye zony = Conifers of the Boreal Zone*, 2018, vol. 36, no. 4, pp. 338–343. (In Russ.).

4. Герц Э.Ф. Теоретическое обоснование технологий рубок с сохранением лесной среды (на примере Уральского региона): дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2004. 304 с.

Gerts E.F. *Theoretical Justification of Logging Technologies with Preservation of the Forest Environment (Using the Ural Region as an Example)*. Doctoral Thesis (Technical Sciences). Ekaterinburg, 2004. 304 p. (In Russ.).

5. Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехрентцев А.В. Расчет ширины ленты, разрабатываемой манипуляторной полноповоротной лесозаготовительной машиной // Изв. вузов. Лесн. журн. 2002. № 5. С. 47–51.

Gerts E.F., Azarenok V.A., Livshits N.V., Mekhrentsev A.V. Calculation of the Strip Width Developed by a Manipulator Full-Turn Logging Machine. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2002, no. 5, pp. 47–51. (In Russ.).

6. Заикин А.Н., Сиваков В.В., Шевелева Е.В. Методы снижения повреждаемости стволов деревьев при выборочных и санитарных рубках леса // Изв. вузов. Лесн. журн. 2019. № 4. С. 200–211.

Zaikin A.N., Sivakov V.V., Sheveleva E.V. Methods for Reducing Damage to Tree Trunks During Selective and Sanitary Logging. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2019, no. 4, pp. 200–211. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.4.200>

7. Карпачев С.П., Быковский М.А., Лаптев А.В. Методика выбора манипулятора харвестера // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25, № 1. С. 123–129.

Karpachev S.P., Bykovsky M.A., Laptev A.V. Methodology for Selecting a Harvester Manipulator. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 1, pp. 123–129. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-1-123-129>

8. Кононович Д.А., Мохов С.П., Арико С.Е., Голякевич С.А. Особенности конструкционного исполнения технологического оборудования лесных погрузочно-транспортных машин // Тр. БГТУ. № 2. Лесн. и деревообаб. пром-сть. 2015. № 2(175). С. 59–62.

Kononovich D.A., Mokhov S.P., Ariko S.E., Golyakevich S.A. Features of the Design of Technological Equipment of Forest Loading and Transport Machines. *Proceedings of BSTU. Forestry and Woodworking Industry*. Minsk, 2015, no. 2(175), pp. 59–62. (In Russ.).

9. Лагереv А.В., Макулина А.В., Лагереv И.А. Влияние конструктивных характеристик манипулятора харвестера на оптимальные размеры рабочей зоны // Науч.-техн. вестн. Брянск. гос. ун-та. 2024. № 2. С. 111–123.

Lagerev A.V., Makulina A.V., Lagerev I.A. Influence of the Design Characteristics of the Harvester Manipulator on the Optimal Dimensions of the Working Area. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta = Scientific and Technical Bulletin, Bryansk, Bryansk State University*, 2024, no. 2, pp. 111–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2024-10-02-111-123>

10. Лаптев А.В., Матросов А.В. Обоснование конфигурации и геометрических размеров рабочей зоны колесного харвестера // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22, № 5. С. 77–85.

Laptev A.V., Matrosov A.V. Justification of the Configuration and Geometric Dimensions of the Working Area of a Wheeled Harvester. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 77–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-5-77-85>

11. Макаренко А.В. Эффективность применения лесозаготовительных машин с манипулятором на лесосеке // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 4. С. 120–135.

Makarenko A.V. Efficiency of Using Logging Machines with a Manipulator in a Logging Area. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 4, pp. 120–135. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-4-120-135>

12. Обыдёнников В.И., Волков С.Н. Организационно-технические элементы лесоводственных систем и их географические особенности // Глобализация и эколого-экономическое развитие регионов. 2015. С. 32–39.

Obydennikov V.I., Volkov S.N. Organizational and Technical Elements of Forestry Systems and Their Geographical Features. *Globalizatsiya i ehkologo-ehkonomicheskoe razvitie regionov* = Globalization and Ecological and Economic Development of Regions, 2015, pp. 32–39. (In Russ.).

13. Сиваков В.В., Заикин А.Н. К вопросу о снижении повреждаемости стволов деревьев при рубках леса // Подготовка кадров в условиях перехода на инновационный путь развития лесного хозяйства. 2021. С. 261–264.

Sivakov V.V., Zaikin A.N. On the Issue of Reducing Damage to Tree Trunks During Logging. *Podgotovka Kadrov v Usloviyakh Perekhoda na Innovatsionnyi Put Razvitiya lesnogo khozyaistva* = Training of Personnel in the Context of the Transition to an Innovative Path of Forestry Development, 2021, pp. 261–264. (In Russ.).

14. Сюнев В.С. Обоснование выбора систем машин для рубок ухода: дис. ... д-ра техн. наук. Петрозаводск, 2000. 405 с.

Sunev V.S. *Justification of the Choice of Machine Systems for Thinning*: Doc. Techn. Sci. Diss. Petrozavodsk, 2000. 405 p. (In Russ.).

15. Швецов А.С., Кривошеев А.А., Должиков И.С., Григорьев И.В., Курочкин П.А., Григорьева О.И. Рациональные приемы выполнения рубок лесных насаждений универсальной лесозаготовительной машиной // Вестн. АГАТУ. 2024. № 1(13). С. 48–65.

Shvetsov A.S., Krivosheev A.A., Dolzhikov I.S., Grigoriev I.V., Kurochkin P.A., Grigorieva O.I. Rational Methods for Felling Forest Stands with a Universal Logging Machine. *Vestnik AGATU* = AGATU Bulletin, 2024, no. 1(13), pp. 48–65. (In Russ.).

16. Юшкевич М.В., Шиман Д.В., Климчик Г.Я., Бельчина О.Г., Клыш А.С. Некоторые особенности влияния рубок леса на содержание химических элементов в хвойных фитоценозах и почве в условиях Негорельского учебно-опытного и Минского лесхозов // Тр. БГТУ. Сер. 1: Лесн. хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1(240). С. 42–51.

Yushkevich M.V., Shiman D.V., Klimchik G.Ya., Belchina O.G., Klysh A.S. Some Features of the Influence of Logging on the Content of Chemical Elements in Coniferous Phytocenoses and Soil in the Conditions of the Negorelsky Educational-Experimental and Minsk Forestry Enterprises. *Trudy BGTU. Lesnoe khoz-vo, prirodopol'zovanie i pererab. vozobnovlyаемых resursov* = Proceedings of BSTU. Forestry, Nature Management, Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1(240), pp. 42–51. (In Russ.).

17. Dorokhov A., Kirsanov V., Pavkin D., Shilin D., Shestov D., Ruzin S. Calculation of the Manipulator's Kinematic Model and Mounting Points of the Drive Equipment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, vol. 1072, pp. 339–348.

[https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-33585-4_34)

18. Grigorev I., Kunickaya O., Burgonutdinov A., Tikhonov E., Makuev V., Egipko S., Hertz E., Zorin M. Modeling the effect of wheeled tractors and skidded timber bunches on forest soil compaction. *Journal of Applied Engineering Science*, 2021, vol. 19, no. 2, pp. 439–447. <https://doi.org/10.5937/jaes0-28528>

19. Hertz E., Guriev A., Druzyanova V., Revyako S., Markov O., Perfiliev P., Grigorev I. Impact Assessment of Different Propulsion Systems in Forestry Machinery on Soil Properties. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 2024, vol. 11, no. 1, pp. 133–140.

<https://doi.org/10.18280/mmep.110114>

20. Nesmiyanov I.A., Nikolaev M.E., Sharipov R.V. Justification of Parameters of the Executive Drive of a Robotic Manipulator of a Loading and Transport Unit. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science "International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production"*, 2021, p. 012032.

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012032>

21. Svoikin F.V., Svoikin V.F., Rossikhin K.V., Borozna A.A., Taraban M.V., Maksimov P.P., Kovtun M.A. Modernization of Skidding and Primary Removal of Wood in the Vologda Region Through the Use of Relevant Domestic Solutions. *E3S Web of Conferences*, 2024, vol. 515, p. 03022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451503022>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 631.331.1+629.735:630.651.72

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-124-138

## DEM-моделирование центробежной системы высева семян древесных пород с беспилотного летательного аппарата

*М.Н. Лысыч*<sup>✉</sup>, канд. техн. наук; ResearcherID: [N-3089-2016](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3764-3873>

*Л.Д. Бухтояров*, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [AAO-5129-2020](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>

*М.А. Гнусов*, д-р техн. наук, доц.; ResearcherID: [AAT-9060-2020](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>

*Е.В. Мартыновский*, инж.; ResearcherID: [OHV-1617-2025](#),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0434-575X>

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; miklynea@yandex.ru<sup>✉</sup>, vglta-mlx@yandex.ru, ko407@yandex.ru, profootballjack@gmail.com

---

*Поступила в редакцию 31.10.25 / Одобрена после рецензирования 22.12.25 / Принята к печати 23.12.25*

---

**Аннотация.** Аэросев лесов с использованием беспилотных летательных аппаратов – это эффективный, быстрый и недорогой метод лесовосстановления, особенно актуальный в условиях современных экологических вызовов. Однако отечественные высевающие аппараты, адаптированные для аэросева лесных семян с применением беспилотных летательных аппаратов, на сегодняшний день отсутствуют. Цель данного исследования заключается в разработке высевающего аппарата разбросного типа для беспилотных летательных аппаратов. Проведен анализ систем дозирования и распределения семян и методов имитационного моделирования для высевающих аппаратов, устанавливаемых на беспилотные летательные аппараты. С помощью системы автоматизированного проектирования создана 3-мерная твердотельная модель высевающего аппарата и определены его геометрические и массовые параметры. Имитационное моделирование рабочих процессов высевающего аппарата осуществлялось с применением метода дискретных элементов (DEM). Было исследовано влияние различных режимов работы высевающего аппарата на производительность механизма дозирования, требуемое полетное время для расхода полезной нагрузки, ширину засеваемой полосы, число семян на 1 м<sup>2</sup> и площадь посадки за 1 миссию. На основе выполненных имитационных исследований создан опытный образец высевающего аппарата и испытательный стенд для проведения экспериментов по аэросеву. В ходе полевых экспериментов была измерена ширина засеваемой полосы и число семян, высеваемое на 1 м<sup>2</sup> при различных режимах работы высевающего аппарата. Полученные данные подтвердили адекватность разработанной имитационной модели и возможность ее применения для проектирования и исследования широкого спектра лесных и сельскохозяйственных высевающих аппаратов, а также разбрасывателей гранулированных веществ.

**Ключевые слова:** высевающий аппарат, аэросев, БПЛА, беспилотный летательный аппарат, имитационное моделирование, САПР

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 25-19-00876, <https://rscf.ru/project/25-19-00876/>.

---

© Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Гнусов М.А., Мартыновский Е.В., 2026



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

*Для цитирования:* Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Гнусов М.А., Мартыновский Е.В. DEM-моделирование центробежной системы высева семян древесных пород с беспилотного летательного аппарата // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 124–138. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-124-138>

Original article

## DEM-Modeling of a Centrifugal Sowing System for Wood Species Seeds from an Unmanned Aerial Vehicle

*Mikhail N. Lysych*<sup>✉</sup>, *Candidate of Engineering*; ResearcherID: [N-3089-2016](https://orcid.org/0000-0002-3764-3873),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3764-3873>

*Leonid D. Bukhtoyarov*, *Candidate of Engineering, Assoc. Prof.*;

ResearcherID: [AAO-5129-2020](https://orcid.org/0000-0002-7428-0821), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-0821>

*Maksim A. Gнусов*, *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.*;

ResearcherID: [AAT-9060-2020](https://orcid.org/0000-0003-1653-4595), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1653-4595>

*Evgenii V. Martynovsky*, *Engineer*; ResearcherID: [OHV-1617-2025](https://orcid.org/0009-0000-0434-575X),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0434-575X>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, Russian Federation, 394036; miklynea@yandex.ru<sup>✉</sup>, vglta-mlx@yandex.ru, ko407@yandex.ru, profotballjack@gmail.com

---

*Received on October 31, 2025 / Approved after reviewing on December 22, 2025 / Accepted on December 23, 2025*

---

**Abstract.** Reforestation in remote, rugged, and hard-to-reach terrains remains a significant challenge for modern forestry, necessitating the transition to automated and efficient technological solutions. This study focuses on the development and numerical investigation of a centrifugal seed broadcasting system integrated with an unmanned aerial vehicle for precision aerial seeding. The research was conducted using the Discrete Element Method implemented in the Altair EDEM software environment. The simulation model incorporates the precise physical and mechanical properties of forest tree seeds, such as density, coefficients of friction, and restitution, as well as the intricate design features of the centrifugal device. A key aspect of the study involved modeling the interaction between the seeds and the distributing disk while considering the aerodynamic influence of the unmanned aerial vehicle propulsion system on the resulting seed trajectories. Through a comprehensive series of numerical experiments, the study analyzed the influence of various operational parameters – specifically the rotational speed of the distributing disk and the angular configuration of the blades – on the uniformity of seed distribution. The research determined the rational design and operational settings that minimize the coefficient of variation in the spreading pattern. It was established that the propulsion system’s downwash significantly affects the distribution width, requiring precise synchronization between flight altitude and disk rotation. The findings provide a robust theoretical and practical framework for optimizing aerial sowing equipment, thereby enhancing the efficiency and reliability of forest restoration technologies in challenging environments.

**Keywords:** seeding device, aerial sowing, unmanned aerial vehicle, simulation modeling, computer-aided design, CAD

**Acknowledgments:** The study was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant No. 25-19-00876, <https://rscf.ru/project/25-19-00876/>.

**For citation:** Lysych M.N., Bukhtoyarov L.D., Gnusov M.A., Martynovsky E.V. DEM-Modeling of a Centrifugal Sowing System for Wood Species Seeds from an Unmanned Aerial Vehicle. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 124–138. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-124-138>

### *Введение*

В последнее время все больше ученых и практиков обращают внимание на методы восстановления лесных массивов с использованием аэросева. Этот всплеск интереса вызван ускоряющимся темпом обезлесения, серьезными климатическими изменениями и стремительным развитием технологий беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Аэросев – экологичная альтернатива традиционным методам. Он минимизирует потребность в энергоемких операциях, выполняемых тракторной техникой. Поэтому везде, где позволяют почвенно-климатические условия и состояние напочвенного покрова, аэросев будет эффективным решением, особенно на труднопроходимых, опасных и удаленных территориях [8, 13, 15, 17].

Согласно лесоводческим рекомендациям, в России аэросев может применяться на участках, пострадавших от пожаров, с супесчаными и хорошо дренированными суглинистыми почвами, где огонь полностью уничтожил лесную подстилку. Также он подходит для транспортно-удаленных лесных участков и склонов, куда затруднен доступ тракторной техники (приказ Минприроды РФ от 04.12.2020 № 1014).

БПЛА открывают новые возможности для применения аэросева. Эта технология отличается высокой производительностью при относительно низких затратах труда и материалов [2, 3, 15], однако требует разработки специализированных высевальных аппаратов, адаптированных для использования с БПЛА и имеющих минимальную массу.

Целью данного исследования является разработка конструкции высевального аппарата разбросного типа для БПЛА и изучение его рабочих режимов.

### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования является высевальный аппарат разбросного типа для аэросева лесных семян, агрегируемый с БПЛА.

Высевальные аппараты, как правило, состоят из 2 основных систем – дозирования и распределения семян. Системы распределения семян включают устройства, которые перемещают семена от дозатора к поверхности земли.

Разрабатываемая конструкция оснащена дозирующим механизмом катушечного типа, широко применяющимся в сельском и лесном хозяйстве из-за простоты и высокой надежности. Он используется в машинах для внесения удобрений и сеялках и может иметь различные по форме катушки [1, 16]. Например, катушечный тип механизма дозирования применен в устанавливаемой на БПЛА системе для разбрасывания гранул JetSeed компании XAG [5].

Центробежный разбрасыватель гранул UGS-2G компании CFR-Innovations предназначен для использования с БПЛА. Его общий вес составляет 1148 г при вместимости 8 л. Регулируемая ширина разброса составляет от 2 до 23 м, скорость расхода – от 1 до 12 л/мин [7].

Система центробежного разброса T Series Spreading System 2.0 разработана компанией DJI и совместима с беспилотными платформами DJI Agras T16 или T20 [6]. Размер высеваемых материалов составляет от 0,5 до 5,0 мм, вместимость резервуара – 20 л. Диапазон разброса – от 5 до 7 м.

При моделировании рабочих процессов центробежных высевочных аппаратов и разбрасывателей удобрений широко используется DEM-метод для моделирования работы как систем дозирования [10, 14], так и центробежного распределения [9, 11, 12, 18–21].

Рассмотрим более подробно специализированный центробежный разбрасыватель семян риса для БПЛА как наиболее конструктивно и функционально близкий к предложенному нами [20] (рис. 1).

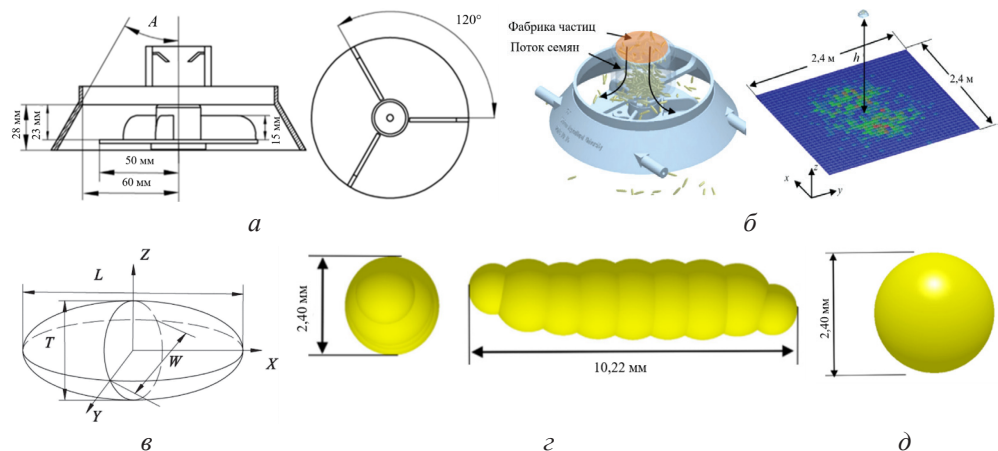


Рис. 1. Центробежный разбрасыватель семян риса для БПЛА [20]:

*a* – геометрические параметры механизма; *б* – виртуальный стенд;

*в* – геометрическая модель семени риса; *г* – сферическая дискретная модель семени;

*д* – мультисферическая дискретная модель семени

Fig. 1. Centrifugal rice seed spreader for UAVs [20]:

*a* – geometric parameters of the mechanism; *б* – virtual stand; *в* – geometric model of a rice seed; *г* – spherical discrete model; *д* – multispherical discrete model

Центробежный высевочный аппарат для риса состоит из семенного ящика, устройства подачи семян и центробежного дискового разбрасывателя, имеющего 3 лопасти и отражающее кольцо (рис. 1, *a*). При моделировании используется симметричная геометрическая модель семени риса (рис. 1, *в*), которая для DEM-моделирования замещается мультисферической дискретной моделью из 9 сфер (рис. 1, *г*). Для исследования процессов отскока от отражающего кольца дискретная модель семени упрощена до сферы (рис. 1, *д*). В виртуальном эксперименте применяется квадратный участок размером 2,4 м с разбиением на отдельные секции 80×80 мм. Источник частиц, генерирующий дискретные семена располагался по центру дискового разбрасывателя.

Л. Yang [20] установлено, что на равномерность распределения семян влияют 3 основных фактора, это скорость вращения высевочного диска, высота полета БПЛА, угол установки отражательного кольца *A*. Наибольшее воздействие оказывает высота полета БПЛА, затем скорость вращения диска и угол отражательного кольца. Оптимальные параметры для максимально равномерного распределения по результатам моделирования: вращение диска –

600 об./мин; высота полета – 2,1 м; угол отражательного кольца – 26°. Коэффициент вариации составил 21,39 %. Полевые испытания дали коэффициент вариации 22,21...32,90 %, что, скорее всего, связано с влиянием воздушных потоков от пропеллеров БПЛА.

В нашей работе использованы методы параметрического 3D-моделирования, имитационного моделирования и быстрого прототипирования с помощью 3D-печати, которые позволяют в кратчайшие сроки создавать функциональные образцы из инженерных полимерных материалов [4].

Для осуществления аэросева лесных семян сосны и схожих с ними по геометрическим параметрам спроектирована параметрическая 3D-модель высевающего аппарата, который состоит из бункера 1, механизма дозирования 2 и механизма центробежного разброса 3 (рис. 2).

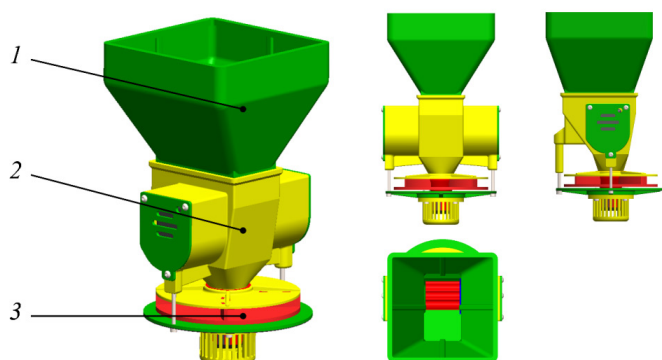


Рис. 2. Общий вид центробежного высевающего аппарата  
Fig. 2. General view of the centrifugal sowing unit

Механизм дозирования, в свою очередь, состоит из корпуса 1, быстроразъемной дозирующей катушки 2, направляющей 3, закладной оси катушки 4, правой ограничительной стенки катушки 5, двигателя механизма дозирования 6, левой ограничительной стенки катушки 7 с подшипником катушки 8, крышки подшипника 9 и защитных панелей 10.

Механизм центробежного разброса включает в себя разбрасывающий диск с 4 лопатками 11, опорный диск 12, двигатель механизма разброса 13, подшипник опорного диска 14, шпильки опорного диска 15 и защитный корпус 16 (рис. 3).

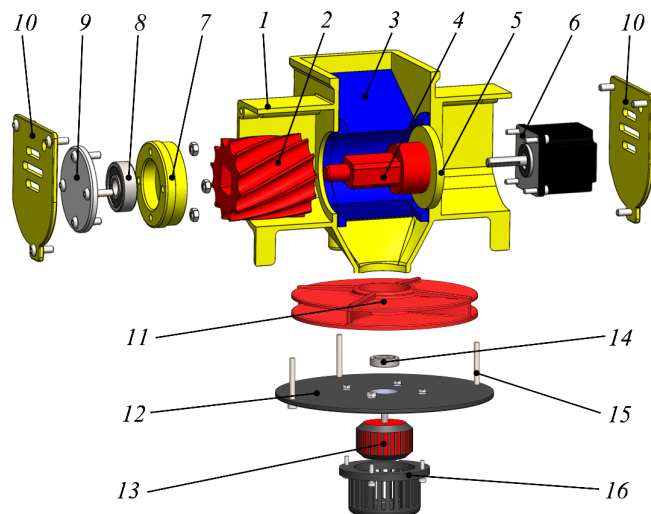


Рис. 3. Устройство высевающего аппарата  
Fig. 3. The structure of the sowing unit

Для моделирования семян сосны обыкновенной использовались 2 типа частиц – сферическая и мультисферическая (рис. 4). Сферическая частица позволяет эффективно проводить виртуальный эксперимент с минимальными временными затратами, однако такое упрощение формы является существенным допущением в случае имитации семян сосны. С целью более точного моделирования и возможности оценки погрешности использования сферической формы семян была создана мультисферическая частица, лучше описывающая форму семени сосны. Она состоит из 8 сфер диаметром от 1,1 до 2,2 мм. Объем мультисферической частицы составил 15,45 мм<sup>3</sup>, что несущественно меньше, чем для базовой 3D-модели семени объемом 16,03 мм<sup>3</sup>.

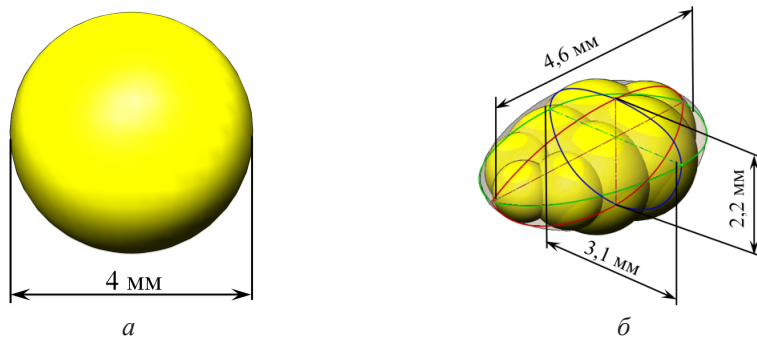


Рис. 4. Дискретные частицы имитирующие семена сосны:  
а – сферическая частица; б – мультисферическая частица

Fig. 4. Discrete particles imitating pine seeds:  
а – spherical particle; б – multispherical particle

Для имитационного моделирования будем считать, что семена состоят из шарообразных элементов с диаметром  $d_j$ . При контакте элементов друг с другом возникают упругие силы и силы вязкого трения (рис. 5, а). Под действием сил в модели рассчитывается движение элементов по законам классической динамики.

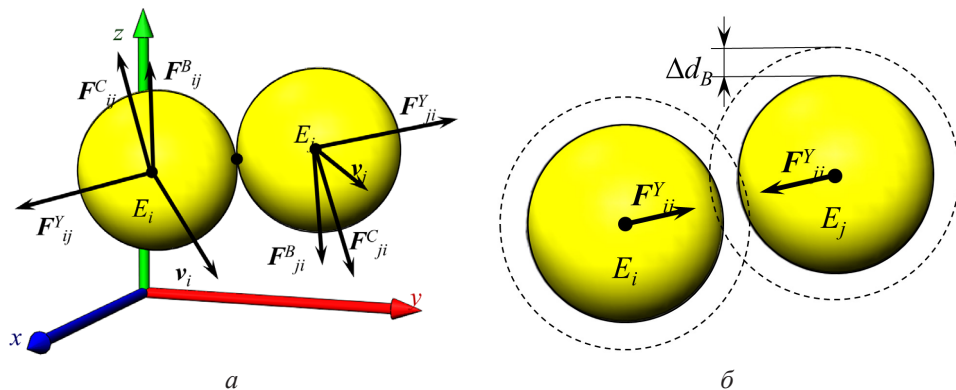


Рис. 5. Схемы силового контакта дискретных элементов: а – силы, возникающие при контакте 2 дискретных элементов; б – силы притяжения при удалении элементов друг от друга до определенного расстояния.  $F^Y$  – упругие силы;  $F^C$  и  $F^B$  – силы сухого и вязкого трения

Fig. 5. Diagrams of force contact between discrete elements: а – forces arising during contact between 2 discrete elements; б – attractive forces when the elements are separated by a certain distance.  $F^Y$  – elastic forces;  $F^C$  and  $F^B$  – dry and viscous friction forces

Моделирование производится в 3-мерном пространстве  $XYZ$ . Состояние каждого элемента-шара  $E_i$  задается 6 переменными: декартовыми координатами его центра  $(x_i, y_i, z_i)$  и составляющими скорости  $(v_{xi}, v_{yi}, v_{zi})$ . Механическое взаимодействие элементов между собой принято упруго-вязким, что позволяет заложить в модель основные механические свойства сред: модуль упругости, коэффициент внутреннего трения, предельную деформацию при испытании на разрыв. В модели учитывается, что между соседними элементами могут возникать силы отталкивания в случае внедрения элементов друг в друга (рис. 5, а) или притяжения, если сцепленные элементы удаляются друг от друга (рис. 5, б).

Упругая составляющая взаимодействия между элементами обеспечивает как отталкивание (расстояние между  $r_{ij}$  центрами  $i$ -го и  $j$ -го элементов менее диаметра элемента  $d_3$ ), так и притяжение элементов в узком диапазоне расстояний ( $d_3 > r_{ij} > r_k$ ), где  $r_k = \alpha d_3$  – критическое расстояние, до которого элементы взаимодействуют друг с другом;  $\alpha$  – коэффициент выражения критического расстояния через диаметр элемента (в большинстве случаев принят равным 1,1). При расчете силы  $\vec{F}_{ij}$ , действующей со стороны элемента  $i$  на элемент  $j$ , считается, в соответствии с 3-м законом Ньютона, что сила, исходящая от элемента  $j$  на элемент  $i$ , является такой же по модулю, как и сила от элемента  $i$ , и противоположной ей по направлению, т. е.  $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$ .

Уравнения движения элементов составляются на основе 2-го закона Ньютона:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left( \left( c_{ij}(d_3 - r_{ij}) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + k_{ij}(r_{ij} - d_3)(v_{xi} - v_{xj}), r_{ij} < \alpha_{ij} d_3; \right. \right. \\ \left. \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_{ij} d_3 \right) \right); \\ m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left( \left( c_{ij}(d_3 - r_{ij}) \frac{(y_i - y_j)}{r_{ij}} + k_{ij}(r_{ij} - d_3)(v_{yi} - v_{yj}), r_{ij} < \alpha_{ij} d_3; \right. \right. \\ \left. \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_{ij} d_3 \right) \right); \\ m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = -m_i g + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_3} \left( \left( c_{ij}(d_3 - r_{ij}) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + k_{ij}(r_{ij} - d_3)(v_{zi} - v_{zj}), r_{ij} < \alpha_{ij} d_3; \right. \right. \\ \left. \left. 0, r_{ij} \geq \alpha_{ij} d_3 \right) \right); \end{array} \right.$$

где  $m$  – масса элемента;  $i$  – номер элемента;  $x_i, y_i, z_i$  – декартовы координаты элемента;  $t$  – время;  $N_3$  – количество элементов;  $j$  – номер элемента, возможно, контактирующего с  $i$ -м элементом;  $c_{ij}$  и  $k_{ij}$  – коэффициенты жесткости взаимодействия и вязкого трения друг о друга элементов  $i$  и  $j$ ;  $r_{ij}$  – расстояние между центрами элементов  $i$  и  $j$ ;  $v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}$  – декартовы составляющие скорости  $i$ -го элемента;  $g$  – ускорение свободного падения.

Расстояние  $r_{ij}$  между центрами элементов  $E_i(x_i, y_i, z_i)$  и  $E_j(x_j, y_j, z_j)$  рассчитывается по теореме Пифагора:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}.$$

Решением системы дифференциальных уравнений 2-го порядка являются функции  $x_i(t), y_i(t), z_i(t)$ , определяющие траектории движения элементов.

Расчет по приведенным формулам включает в себя 3 цикла, вложенных один в другой: по номеру компьютерного эксперимента, по номеру временного шага и по номеру элемента.

Для исследования процесса аэросева был создан виртуальный испытательный стенд (рис. 6). Он имеет длину 10 м и ширину 5 м. Поверхность разбита на квадратные секции размером  $0,1 \times 0,1$  м для фиксации места падения частиц. Посадочный аппарат и основание стенда создавались в среде 3D-CAD и экспортировались в формат STL, представляющий поверхности объекта в виде множества треугольников. При помощи виртуальных двигателей задавались режимы движения механизма дозирования, распределения и скорость полета.

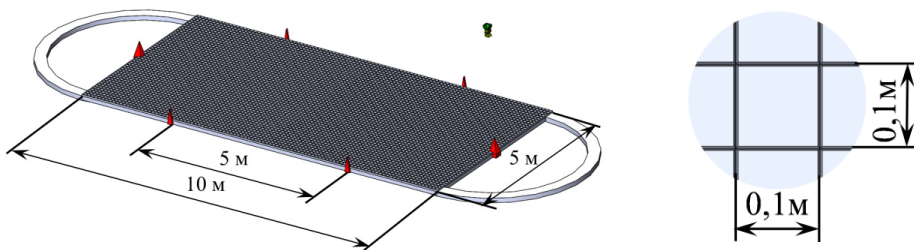


Рис. 6. Виртуальный испытательный стенд

Fig. 6. Virtual test bench

В качестве тестового показателя равномерности распределения семян был принят коэффициент вариации.

На рис. 7 показаны стадии моделирования аэросева.

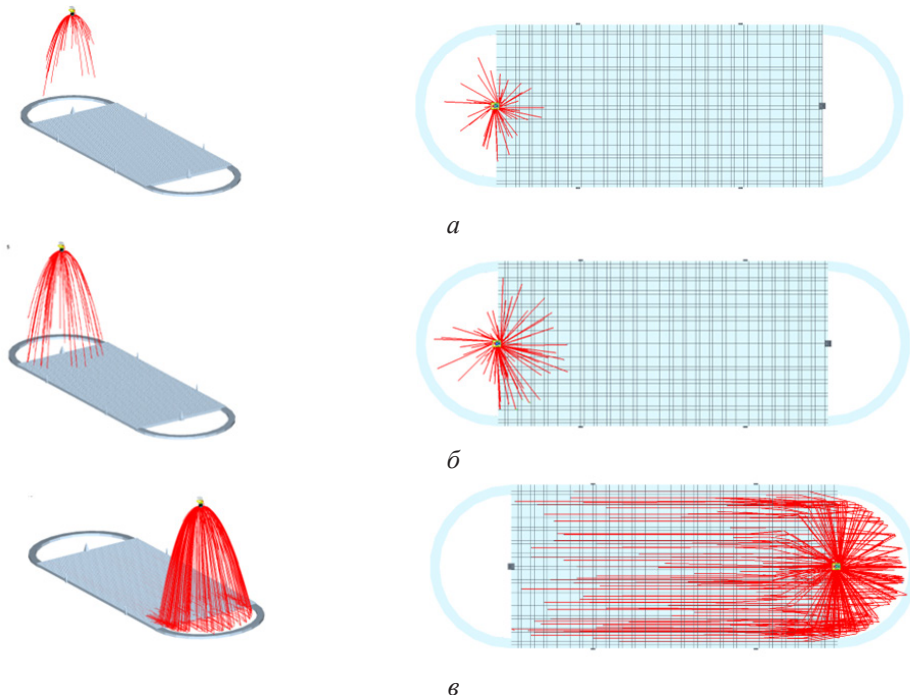


Рис. 7. Моделирование с отслеживанием траекторий:  
а – начало разброса; б – начало движения; в – конец движения

Fig. 7. Simulation with trajectory tracking:  
а – start of scatter; б – start of movement; в – end of movement

С целью экспериментальной проверки данных, полученных с помощью моделирования, из инженерных пластиков с использованием 3D-печати был изготовлен высеваящий аппарат (рис. 8). Это позволило минимизировать массу высеваящего аппарата при обеспечении достаточной прочности конструкции.



Рис. 8. Центробежный высеваящий аппарат для БПЛА

Fig. 8. Centrifugal sowing unit for UAVs

Для полевых исследований был создан испытательный стенд, включающий подвесной горизонтальный несущий канат 1, закрепленный на опорах 2, механизм подвеса 3, раму БПЛА с высеваящим аппаратом 4 и механизм протяжки 5 (рис. 9).

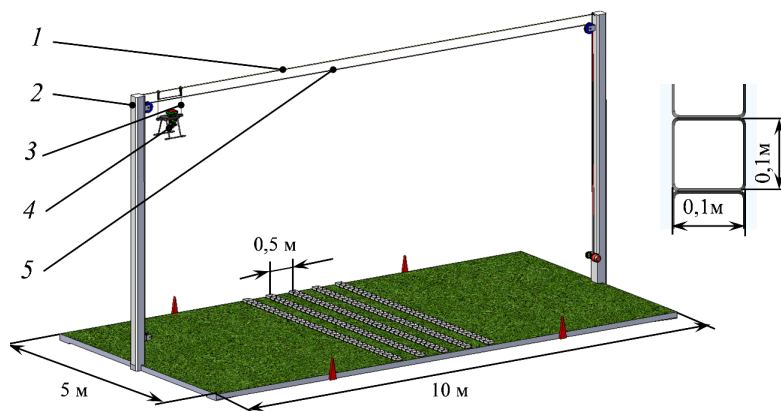


Рис. 9. Испытательный стенд

Fig. 9. Test bench

Использование такой стационарной испытательной установки позволяет точно контролировать режимы движения высеваящего аппарата и исключает проблемы, связанные с запретом полетов БПЛА в регионе. Размеры испытательного и виртуального стендов аналогичны. Для анализа равномерности распределения семян применяются лотки квадратной формы размером  $0,1 \times 0,1$  м, расположенные 5 поперечными рядами в центральной части стенда с интервалом 0,5 м.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно разработанной параметрической 3D-модели, масса высеваше-го аппарата составила 1415 г, при этом масса экспериментального образца равна 1274 г. Снижение массы на 10 % объясняется возможностью облегчения деталей за счет создания внутренних полостей при изготовлении с применением 3D-печати. Центр масс смещен в поперечно-вертикальной плоскости в сторону шагового двигателя привода механизма дозирования (рис. 10, *а*).

Максимальный полезный объем бункера равен 2,04 л, соответственно, при принятой насыпной плотности семян 560 г/л их общая масса равняется 1142 г. Масса экспериментального образца высеваше-го аппарата при засыпке в него семян сосны обыкновенной составила 1084 г. Центр масс расположен симметрично, что исключает дисбаланс в высеваше-м агрегате (рис. 10, *б*).

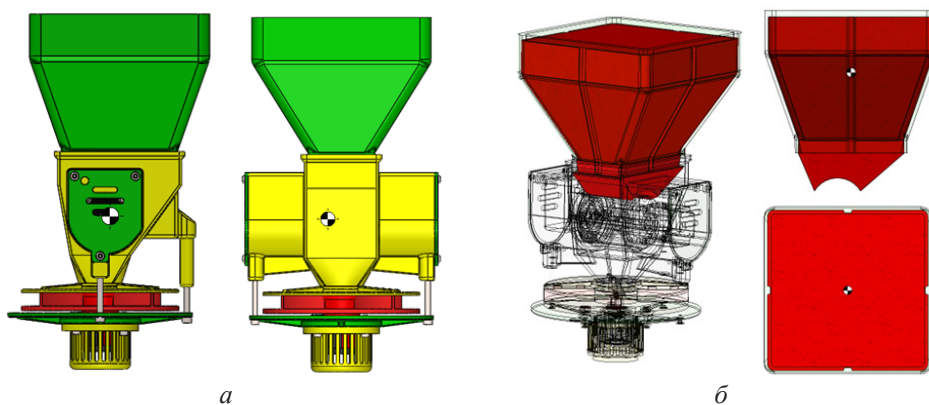


Рис. 10. Исследование массовых характеристик:  
*а* – высеваше-го аппарата; *б* – семенного бункера

Fig. 10. Study of mass characteristics: *a* – sowing unit; *b* – seed hopper

С использованием DEM-моделирования была исследована производи-тельность механизма дозирования при разных скоростях вращения дозиру-ющей катушки. Также получено рабочее полетное время, требуемое для высева 1 кг семян без учета разворотов БПЛА (рис. 11).

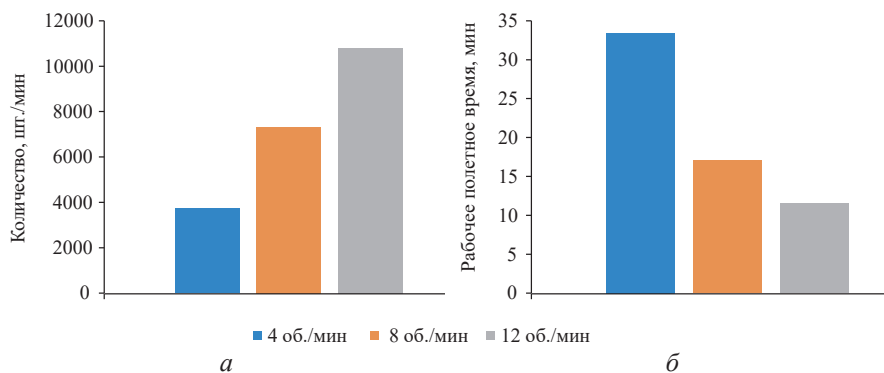


Рис. 11. Исследование рабочих режимов механизма дозирования:  
*а* – производительность механизма дозирования; *б* – требуемое полетное время

Fig. 11. Study of the operating modes of the dosing mechanism:  
*a* – dosing mechanism performance; *b* – required flight time

Полученные данные показывают, что для большинства современных БПЛА с продолжительностью полета 30–40 мин наиболее приемлемыми будут скорости вращения механизма дозирования 8...12 об./мин, позволяющие высевать 1 кг семян за 12...17 мин. Это обеспечивает запас времени на взлет, развороты и посадку. Также остается возможность снижения скорости полета при неблагоприятных условиях.

Далее было выполнено моделирование ширины засеваемой полосы при разных скоростях работы механизма распределения (рис. 12). В экспериментах не было выявлено устойчивой зависимости между режимами работы механизма дозирования и шириной засеваемой полосы.

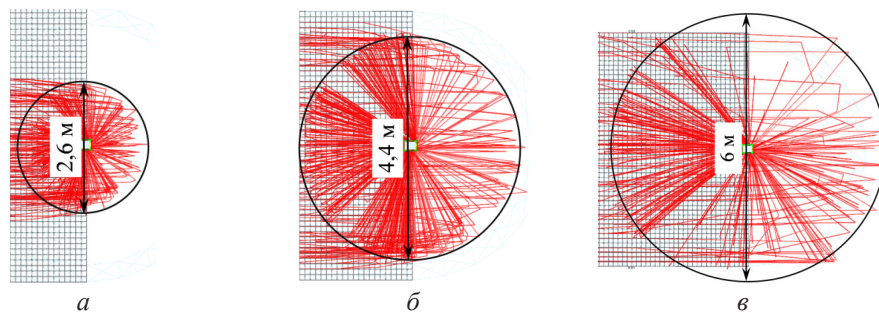


Рис. 12. Моделирование ширины засеваемой полосы с частотами вращения механизма распределения: *a* – 100 об./мин; *б* – 200 об./мин; *в* – 300 об./мин

Fig. 12. Simulation of the width of the seeded strip with the rotation speeds of the distribution mechanism: *a* – 100 rpm; *б* – 200 rpm; *в* – 300 rpm

Проанализированы количество семян, высеваемых на 1 м<sup>2</sup> при различных режимах работы механизмов дозирования и распределения, и площадь, засеваемая за 1 миссию с загрузкой бункера 1 кг семян (рис. 13). Число семян на 1 м<sup>2</sup> в зависимости от скоростей вращения механизмов дозирования и распределения составило от 2 до 14 шт. Площадь, засеваемая за 1 миссию, варьируется от 0,9 до 6,0 га. Коэффициент вариации равномерности распределения семян при моделировании составил 18,8 %. Результаты показывают, что разработанный высевательный аппарат и агрегат могут применяться для реализации нормы высева от 1 до 1,5 кг/га в соответствии с правилами лесовосстановления. При всех скоростях вращения механизмов дозирования и распределения наблюдался стабильный высеv семян.

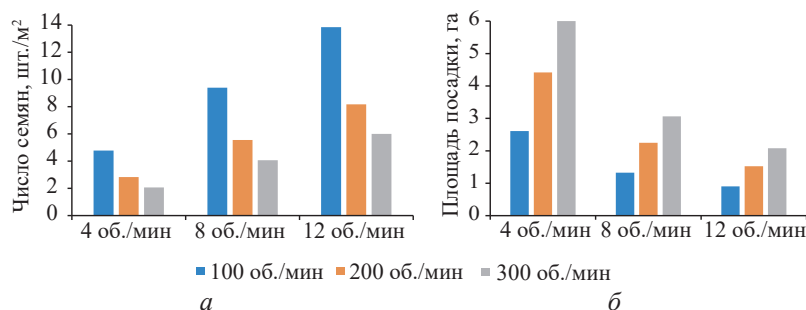


Рис. 13. Основные параметры рабочего процесса высевательного агрегата: *a* – число семян, высеваемых на 1 м<sup>2</sup>; *б* – площадь посадки за 1 миссию

Fig. 13. Key parameters of the sowing unit's operating process: *a* – number of seeds sown per m<sup>2</sup>; *б* – planting area per mission

Для проверки адекватности данных моделирования было выполнено их сравнение с экспериментальными данными по 2 параметрам – ширине засеваемой полосы и числу высеваемых семян на 1 м<sup>2</sup> (рис. 14).

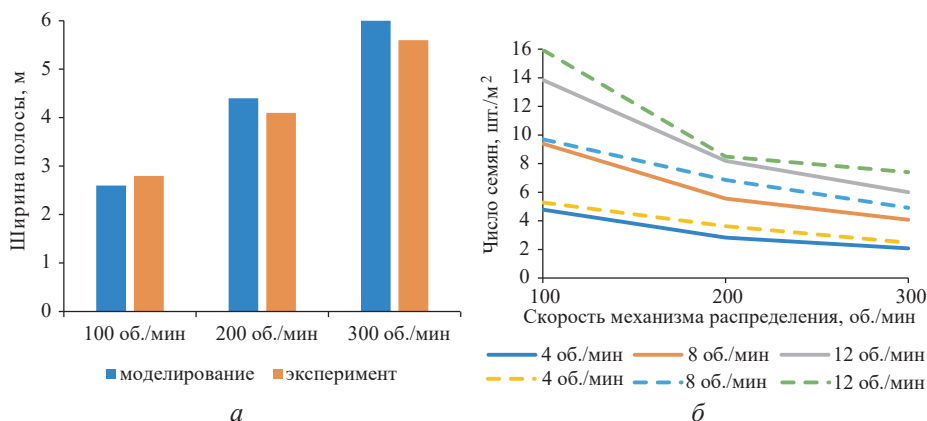


Рис. 14. Сравнение экспериментальных данных и данных моделирования: *a* – ширина засеваемой полосы; *б* – число семян на 1 м<sup>2</sup> (прямые линии – модель; пунктирные – эксперимент)

Fig. 14. Comparison of experimental and modeling data: *a* – width of the sown strip; *б* – number of seeds per 1 m<sup>2</sup> (solid lines – model; dashed lines – experiment)

Анализ результатов показал, что полученные экспериментальные значения хорошо согласуются с данными моделирования. Так, наибольшее расхождение экспериментальных данных и данных моделирования по ширине засеваемой полосы составило 14 % при скорости вращения высевающей катушки 8 об./мин и скорости механизма распределения 200 об./мин. Число семян, высеваемых на 1 м<sup>2</sup>, в эксперименте также было больше – в среднем по опытам на 12,7 %.

Коэффициент вариации равномерности распределения семян во всех опытах был в диапазоне 23,3...28,6 %, что, вероятно, связано с влиянием воздушных потоков от пропеллеров БПЛА и скоростью ветра.

Установлено, что все экспериментальные данные превышают значения, полученные в процессе моделирования, что объясняется принятым допущением о сферической форме семени, позволившем значительно сократить время симуляции.

### Выводы

1. Масса высевающего аппарата, полученная по данным 3D-модели, составила 1415 г, а установленная взвешиванием экспериментального образца – только 1274 гр. Снижение массы на 10 % объясняется возможностью облегчения деталей за счет создания внутренних полостей при изготовлении с применением 3D-печати.

2. Средняя ширина засеваемой полосы при скорости вращения центростремительного механизма распределения 100 об./мин составила 2,6 м, при 200 об./мин возросла до 4,4 м, а при 300 об./мин достигла 6 м. При скорости вращения механизма дозирования в пределах 8...12 об./мин обеспечивается высева 1 кг семян за 12...17 мин без учета времени на взлет, развороты и посадку высевающего

агрегата. Это позволяет применять большинство современных беспилотных летательных аппаратов с полетным временем 30...40 мин.

3. Число семян, высеваемое на 1 м<sup>2</sup> в зависимости от режимов работы высевающего аппарата, при моделировании составило от 2 до 14 шт. при скорости движения сеялки 5 м/с. Площадь, засеваемая за 1 миссию, – от 0,9 до 6,0 га. При рекомендованных нормах высева в 1...1,5 кг/га подходящим режимом при высоте полета 5 м является 12 об./мин для механизма дозирования и 100 об./мин для механизма распределения. При неблагоприятных условиях возможно снижение скорости полета, что требует пропорционального уменьшения скорости вращения механизма дозирования.

4. По результатам экспериментальной проверки расхождение экспериментальных данных и данных моделирования по ширине засеваемой полосы составило 14 % при скорости вращения высевающей катушки 8 об./мин и скорости механизма распределения 200 об./мин. Число семян, высеваемых на 1 м<sup>2</sup>, в эксперименте также было больше – средняя разница по опытам составила 12,7 %. Это объясняется принятым допущением о сферической форме семени, позволившем значительно сократить время симуляции.

5. Коэффициент вариации равномерности распределения семян при моделировании составил 18,8 %. Полевые испытания показали коэффициент вариации 23,3...28,6 %, что, вероятно, связано с влиянием воздушных потоков от пропеллеров беспилотного летательного аппарата и скоростью ветра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Булавинцев Р.А. Анализ конструкций высевающих аппаратов для высева зерновых культур // Агротехника и энергообеспечение. 2018. № 19(2). С. 74–84.

Bulavintsev R.A. The Construction Analysis of the Seeding Units for Sowing of Grain Crops. *Agrotehnika i energoobespechenie* = Agrotechnics and Energy Supply, 2018, no. 19(2), pp. 74–84. (In Russ.).

2. Каляшов В.А., До Т.А., Хитров Е.Г., Григорьева О.И., Гурьев А.Ю., Новгородов Д.В. Современные системы машин и технологии заготовки древесины и лесовосстановления в условиях горных лесосек // Resources and Technology. 2022. № 2(19). С. 1–47.

Kalyashov V.A., Do T.A., Khitrov E.G., Grigorieva O.I., Guryev A.Yu., Novgorodov D.V. Modern Systems of Machinery and Technologies for Timber Harvesting and Reforestation in Mountain Forests. *Resources and Technology*, 2022, no. 2(19), pp. 1–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j2.art.2022.6163>

3. Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Чернышов В.В., Нагайцев В.М. Обзор современных технологий аэросева лесных культур с применением беспилотных летательных аппаратов // Успехи соврем. естествознания. 2021. № 10. С. 37–42.

Lysych M.N., Bukhtoyarov L.D., Chernyshov V.V., Nagaitsev V.M. Overview of Modern Technologies of Aeroseding Forests Using Unmanned Aerial Vehicles. *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya* = Advances in Modern Natural Sciences, 2021, no. 10, pp. 37–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/use.37696>

4. Лысыч М.Н., Малюков С.В., Шавков М.В., Гнусов М.А. Исследование полуавтоматического посадочного механизма для сеянцев с закрытой корневой системой в среде САПР с полноразмерным макетированием средствами 3d-печати // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2025. № 1(29). С. 144–161.

Lysych M.N., Malyukov S.V., Shavkov M.V., Gnusov M.A. Study of Semi-Automatic Planting Mechanism for Seedlings with Root-Balled Tree System in CAD with Full-Size 3D-Printing Tools. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2025, no. 1(29), pp. 144–161. (In Russ.).

5. Система разбрасывания гранул XAG JetSeed. Режим доступа: <https://www.xa.com/en/jetseed> (дата обращения: 23.07.25).

*XAG Granule Spreading System – JetSeed. XAG Official Site.* Available at: <https://www.xa.com/en/jetseed> (accessed 23.07.25).

6. Система распыления T Series Spreading System 2.0. Режим доступа: <https://4vision.ru/products/sistema-raspyleniya-mg-series-spreading-system-20> (дата обращения: 23.07.25).

*T Series Spreading System 2.0.* Available at: <https://4vision.ru/products/sistema-raspyleniya-mg-series-spreading-system-20> (accessed 23.07.25).

7. Система UGS-2G. Режим доступа: <https://www.cfr-innovations.com/product-page/ugs-2g> (дата обращения: 23.07.25).

UGS-2G System. Available at: <https://www.cfr-innovations.com/product-page/ugs-2g> (accessed 23.07.25).

8. Соколов С.В., Новиков А.И. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве // Лесотехн. журн. 2017. № 4(7). С. 190–205.

Sokolov S.V., Novikov A.I. Trends of Development of Aerial Seeding Operational Technology with Unmanned Vehicles in Reforestation Production, *Lesotekhnicheskii zhurnal* = Forestry Engineering Journal, 2017, no. 4(7), pp. 190–205. (In Russ.).

[https://doi.org/10.12737/article\\_5a3d040dc79c79.94513194](https://doi.org/10.12737/article_5a3d040dc79c79.94513194)

9. Coetzee C.J., Lombard S.G. Discrete Element Method Modelling of a Centrifugal Fertiliser Spreader. *Biosystems Engineering*, 2011, vol. 109, pp. 308–325.

<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.04.011>

10. Huang Y.X., Wang B.T., Yao Y.X., Ding S.P., Zhang J.C., Zhu R.X. Parameter Optimization of Fluted-Roller Meter Using Discrete Element Method. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, vol. 6(11), pp. 65–72.

<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181106.3573>

11. Hwang S.J., Nam J.S. DEM Simulation Model to Optimise Shutter Hole Position of a Centrifugal Fertiliser Distributor for Precise Application. *Biosystems Engineering*, 2021, vol. 204, pp. 326–345. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.02.004>

12. Liedekerke P.V., Tijskens E., Dintwa E., Rioual F., Vangeyte J., Ramon H. DEM simulations of the particle flow on a centrifugal fertilizer spreader. *Powder Technology*, 2009, vol. 190, pp. 348–360. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.08.018>

13. Lysych M., Bukhtoyarov L., Druchinin D. Design and Research Sowing Devices for Aerial Sowing of Forest Seeds with UAVs. *Inventions*, 2021, vol. 6, no. 4, art. 83, pp. 1–26. <https://doi.org/10.3390/inventions6040083>

14. Marcinkiewicz J., Selech J., Staszak Z., Gierz L., Ulbrich D., Romek D. DEM Simulation Research of Selected Sowing Unit Elements Used in a Mechanical Seeding Drill. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 254, p. 02021.

<https://doi.org/10.1051/matecconf/201925402021>

15. Mohan M., Richardson G., Gopan G., Aghai M.M., Bajaj S., Galgamuwa G.A., Vastaranta M., Arachchige P., Amoros L., Corte A., De miguel S., Leite R.V., Kganyago M., Broadbent E.N., Doaemo W., Shorab M., Cardil A. UAV Supported Forest Regeneration: Current trends, Challenges and Implications. *Remote Sensing*, 2021, vol. 13(13), pp. 1–31. <https://doi.org/10.3390/rs13132596>

16. Murray J.R., Tullberg J.N., Basnet B.B. *Planters and Their Components. Types, Attributes, Functional Requirements, Classification and Description.* Australian Centre for International Agricultural Research, 2006, C. ACIAR Monograph, vol. 121. 178 p.

17. National Research Council. *Sowing Forests From the Air.* Washington, DC, National Research Council, 1981. 75 p. <https://doi.org/10.17226/19670>

18. Nukeshev S., Sugirbay A., Dulatbay Y., Tanbaev K., Yeskhozhin K., Chen J., Nazarbayev Y., Sugirbaeva Z. Offset Straight-Tooth Roller Development Using the Discrete

Element Method for Applying Granular Mineral Fertilizer. *International Journal of Technology*, 2024, vol. 15, no. 6, pp. 2060–2073. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i6.7311>

19. Song C., Zhou Z., Luo X., Lan Y., He X., Ming R., Li K., Hassan S.G. Design and Test of Centrifugal Disc Type Sowing Device for Unmanned Helicopter. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, vol. 2(11), pp. 55–61. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181102.3757>

20. Wu Z., Li M., Lei X., Wu Z., Jiang C., Zhou L., Ma R., Chen Y. Simulation and Parameter Optimization of a Centrifugal Rice Seeding Spreader for a UAV. *Biosystems Engineering*, 2020, vol. 192, pp. 275–293. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.004>

21. Yang L., Chen L., Zhang J., Liu H., Sun Z., Sun H., Zheng L. Fertilizer Sowing Simulation of a Variable-Rate Fertilizer Applicator Based on EDEM. *IFAC-PapersOnLine*, 2018, vol. 17(51), pp. 418–423. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.185>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Научная статья

УДК 674.817

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-139-151

## Применение биодegradированной древесины для получения плит без связующих

**В.Н. Ермолин, д-р техн. наук, проф.;** ResearcherID: [X-9597-2019](https://orcid.org/0000-0002-2113-4142),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>

**М.А. Баяндин**<sup>✉</sup>, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [S-1990-2019](https://orcid.org/0000-0002-6228-2715),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6228-2715>

**Н.В. Смертин, аспирант;** ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1566-669X>

Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнёва, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; [vnermolin@yandex.ru](mailto:vnermolin@yandex.ru), [mihailbayandin@yandex.ru](mailto:mihailbayandin@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [kolya.smertin@mail.ru](mailto:kolya.smertin@mail.ru)

---

Поступила в редакцию 03.06.25 / Одобрена после рецензирования 29.08.25 / Принята к печати 30.08.25

---

**Аннотация.** В настоящее время изменение климата приводит к увеличению количества случаев гибели древостоев. Отпавшие деревья подвергаются воздействию дереворазрушающих грибов. Отсутствие способов промышленного использования такого вида сырья обусловлено низкими физико-механическими свойствами биодegradированной древесины, особенно на последних стадиях биодеструкции. В работе установлено, что через 15 лет с момента гибели при поражении белой волокнистой гнилью плотность древесины пихты сибирской составляет 305 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при статическом изгибе – 27 МПа, ударная вязкость – 3,48 Дж/м<sup>2</sup>, а у древесины, пораженной грибами бурой трещиноватой гнили, – 13 МПа и 1,08 Дж/м<sup>2</sup> соответственно. Термический анализ показал, что содержание углеводной части у древесины, пораженной белой волокнистой гнилью, сопоставимо со здоровой древесиной. При этом у древесины с бурой трещиноватой гнилью доля гемицеллюлоз и ароматической части целлюлозы составляет 46,83 %. Направлением переработки такой древесины принято получение плит без связующих веществ с применением гидродинамической активации сырья. Изготовленные горячим прессованием плиты при плотности 800 кг/м<sup>3</sup> имеют следующие свойства: предел прочности при статическом изгибе – 27 МПа, предел прочности при разрыве перпендикулярно к пласти плиты – 0,92 МПа для плит из древесины, пораженной бурой трещиноватой гнилью, и 35 и 0,86 МПа соответственно для плит из древесины с белой волокнистой гнилью. Также установлено, что водостойкость плит из биодegradированной древесины существенно превышает требования, предъявляемые к существующим аналогам. При этом плиты из древесины пихты сибирской, пораженной бурой трещиноватой гнилью, сохраняют до 90 % прочности после кипячения в течение 2 ч и последующей сушки. Плиты из древесины, пораженной белой гнилью и находящейся на последних стадиях биодеструкции, сохраняют 60 % прочности. Сфера применения полученных плит – это производство мебели и строительство, как в сухих, так и во влажных условиях.

**Ключевые слова:** пихта сибирская, *Abies sibirica*, древесина пихты сибирской, гниль, бурая трещиноватая гниль, белая гниль, дереворазрушающие грибы, кавитация, плитный материал, плиты без связующих, плиты из биодegradированной древесины, свойства древесины, применение пораженной гнилью древесины

---

© Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Смертин Н.В., 2026



Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Благодарности:** Работа проведена в рамках госзадания Минобрнауки РФ на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (номер темы: FEFE-2024-0032).

**Для цитирования:** Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Смертин Н.В. Применение биodeградирующей древесины для получения плит без связующих // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 139–151. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-139-151>

Original article

## Using Biodegraded Wood to Produce Boards Without Binders

*Vladimir N. Ermolin*, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [X-9597-2019](https://orcid.org/0000-0002-2113-4142),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>

*Mikhail A. Bayandin*<sup>✉</sup>, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [S-1990-2019](https://orcid.org/0000-0002-6228-2715),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6228-2715>

*Nikolay V. Smertin*, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1566-669X>

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarskiy Rabo-ochiy Prospect, 31, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660037; [vnermolin@yandex.ru](mailto:vnermolin@yandex.ru), [mihailbayandin@yandex.ru](mailto:mihailbayandin@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [kolya.smertin@mail.ru](mailto:kolya.smertin@mail.ru)

---

Received on June 3, 2025 / Approved after reviewing on August 29, 2025 / Accepted on August 30, 2025

---

**Abstract.** Currently, climate change leads to an increase in forest stand mortality. Dead trees are exposed to wood-destroying fungi. The lack of industrial methods for utilizing such raw materials is due to the low physical and mechanical properties of biodegraded wood, especially at advanced stages of decomposition. The study found that 15 years after tree death, Siberian fir wood affected by white rot has a density of 305 kg/m<sup>3</sup>, a static bending strength of 27 MPa, and an impact strength of 3.48 J/m<sup>2</sup>. For wood affected by brown rot, these values are 13 MPa and 1.08 J/m<sup>2</sup>, respectively. Thermal analysis showed that the carbohydrate content in white-rot wood is comparable to that of healthy wood. In brown-rot wood, the proportion of hemicelluloses and the aromatic part of cellulose is 46.83 %. The proposed processing method involves the production of binderless boards using hydrodynamic activation of the raw material. Hot-pressed boards with a density of 800 kg/m<sup>3</sup> exhibit the following properties: for brown-rot wood, the static bending strength is 27 MPa and the internal bond strength is 0.92 MPa; for white-rot wood, these values are 35 and 0.86 MPa, respectively. It was also established that the water resistance of boards made from biodegraded wood significantly exceeds that of existing analogues. Boards made from brown-rot Siberian fir wood retain up to 90 % of their strength after boiling for two hours followed by drying. Boards from white-rot wood at advanced stages of decay retain 60 % of their strength. These boards are suitable for furniture production and construction in both dry and humid conditions.

**Keywords:** Siberian fir, *Abies sibirica*, Siberian fir wood, rot, brown crack rot, white rot, wood-decaying fungi, cavitation, panel material, binderless boards, boards from biodegraded wood, wood properties, application of rot-affected wood

**Acknowledgements:** The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignment for the "Biorefining of Forest Resources")

Research Laboratory, project "Study of regularities of wood biodegradation processes in dead stands to develop science-based approaches for obtaining new functional materials", project No. FEFE-2024-0032).

**For citation:** Ermolin V.N., Bayandin M.A., Smertin N.V. Using Biodegraded Wood to Produce Boards Without Binders. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 139–151. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-139-151>

### Введение

В связи с изменением и разбалансировкой климата в современных условиях увеличивается интенсивность массовой гибели древостоев [22]. После массовой гибели древостоев, как правило, вырубка погибших насаждений осуществляется в первые 2–3 года [2]. С увеличением давности гибели деревьев (более 3 лет) [1] под действием физических и биологических факторов происходят значительные изменения свойств древесины, что исключает возможность использования для нее традиционных технологий переработки. Основную роль в деструкции древесины играют дереворазрушающие грибы [4]. Преобладающими видами в погибших древостоях являются грибы, образующие бурые трещиноватые и белые волокнистые гнили.

Бурая трещиноватая гниль образуется при воздействии грибами базидиомицентами. В процессе разрушения грибы в первую очередь разлагают полисахариды в клеточных стенках, оставляя лигнин практически в неизменном состоянии. Разрушение клеточной стенки имеет диффузный характер, ее строение становится пористым. Грибы преимущественно поражают слой S2, ввиду того, что слой S3 более устойчив к ферментам. Такое воздействие обуславливает резкое снижение механических свойств древесины и увеличение ее хрупкости. На поздних стадиях деструкции грибы также модифицируют лигнин через деметилирование и окислительные реакции или демистификации, т. е. удаление метаксильных групп из структуры лигнина, что приводит к его обеднению этими функциональными группами и повышению содержания карбонильных и карбоксильных групп [6].

Грибы, вызывающие белую волокнистую гниль, разрушают значительное количество лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы в клеточных стенках древесины. Белая волокнистая гниль разлагает все компоненты древесины, в т. ч. лигнин [8].

Таким образом, биоповрежденная древесина существенно отличается по составу и свойствам от здоровой древесины, что требует разработки специальных подходов к ее переработке. Возможным решением здесь является получение твердого [9], жидкого или газообразного топлива [10, 11]. Однако применение гнилой древесины в качестве топлива, особенно древесины на последних стадиях деструкции, связано с рядом сложностей [14]. Зольность данной древесины по сравнению с непораженной значительно выше. Кроме того, по сведениям [10], сжигание гнилой древесины приводит к увеличению выброса в атмосферу окислов азота. Низкая стоимость твердого биотоплива в совокупности с отмеченными выше проблемами предопределяют то, что использование биоповрежденной древесины экономически малоэффективно. Но это не исключает поиска путей получения продукции из данного вида сырья с более высокой добавленной стоимостью.

Одним из направлений переработки биодegradированной древесины является производство плит [15, 26]. Применение данной древесины в качестве добавки в составе древесностружечных плит в объеме более 10 % приводит к снижению механических свойств готовой продукции [15]. В ходе работы [16] установлено, что при добавлении частиц древесины, пораженной бурой трещиноватой гнилью, в объеме более 10 % разбухание и водопоглощение готовых плит существенно понижаются в сравнении с плитами из здоровой древесины. Аналогичные зависимости установил С.С. Тютиков при использовании березовой или сосновой древесин, пораженных гнилями. Получаемые из такой древесины лигно-углеводные пластики имеют более высокую прочность и существенно меньшее разбухание в сравнении с материалами из здоровой древесины [7]. Следует отметить, что целенаправленная биологическая подготовка до средней стадии биодеструкции путем обработки щепы грибом бурой трещиноватой гнили *Coniophora puteana* позволяет снизить на 40 % затраты энергии на размол при производстве древесноволокнистых плит [17]. При этом механические свойства плит выше, а разбухание на 60 % ниже в сравнении с плитами, получаемыми из здоровой древесины. Длительность процесса ферментативной обработки и большие дополнительные затраты указывают на то, что биологическая модификация в настоящее время мало перспективна для промышленных целей. Помимо того, данная подготовка не позволяет перерабатывать древесину на крайних стадиях биодеструкции, запасы которой постоянно увеличиваются.

На конечных стадиях биодеструкции плотность и прочность древесины значительно снижаются [19], поэтому получение плит средней плотности из такой древесины за счет склеивания невозможно. Решением проблемы может быть перевод этой древесины в полидисперсную систему, что позволяет увеличить площадь межфазных поверхностей [3, 18]. Так создаются предпосылки для формирования плит из рассматриваемого вида древесины без использования связующих веществ.

#### *Объекты и методы исследования*

В качестве основного материала исследования взяли древесину пихты сибирской (*Abies sibirica*). Отбор образцов древесины осуществлялся в погибших от воздействия энтомовредителей лесных насаждениях центральных районов Красноярского края. По данным дендрохронологической экспертизы, давность гибели модельных деревьев варьировала от 15 до 19 лет. При этом в стволах присутствовали очаги поражения бурой трещиноватой и белой волокнистой гнилями.

Древесина, пораженная грибами бурой трещиноватой гнили, имела светло-коричневый цвет, у древесины с белой волокнистой гнилью практически не наблюдалось визуальных отличий от здоровой древесины этого же региона. Для определения степени биодеструкции исследуемой древесины по стандартизованным методикам ГОСТ 16483.1–84, ГОСТ 16483.10–73, ГОСТ 16483.4–73 были установлены плотность, прочность при сжатии вдоль волокон и ударная вязкость (табл. 1).

Таблица 1

**Физико-механические показатели испытываемой древесины**  
**Physical and mechanical properties of the tested wood**

Показатель	Здоровая	Пораженная гнилью	
		бурой трещиноватой	белой волокнистой
Плотность, кг/м <sup>2</sup>	360	245	305
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа	38	13	27
Ударная вязкость при изгибе, Дж/м <sup>2</sup>	5,31	1,08	3,48

Образцы древесины, пораженные дереворазрушающими грибами, независимо от вида гнили имели низкие физико-механические показатели в сравнении с контрольной здоровой древесиной. Плотность образцов с белой волокнистой гнилью оказалась более чем на 15 % ниже, чем у здоровой древесины. Механические свойства характеризовались более существенными различиями: предел прочности при сжатии вдоль волокон ниже на 28 % у пораженной белой волокнистой гнилью древесины, ударная вязкость при изгибе ниже на 34 %. Образцы древесины с бурой трещиноватой гнилью имели самые низкие показатели физико-механических свойств из всех образцов. Такие результаты во многом согласуются с мнением авторов [20], что при воздействии грибами бурой трещиноватой гнили ударная вязкость при изгибе для древесины на крайней стадии биодеструкции ниже на 95 %, при этом плотность снижается только на 10 %. Следует отметить, что полученные результаты указывают на крайние стадии биодеструкции древесины.

Первичное измельчение древесины (рис. 1) осуществлялось на лабораторной рубительной машине, оснащенной режущим диском и молотковым механизмом с диаметром сит 8 мм.



Рис. 1. Гнилая древесина: *a* – бурая трещиноватая гниль; *б* – белая волокнистая гниль

Fig. 1. Rotten wood: *a* – brown cracked rot; *b* – white fibrous rot

Фракционный состав древесных частиц после предварительного механического измельчения определялся методом сухого фракционирования (рис. 2).

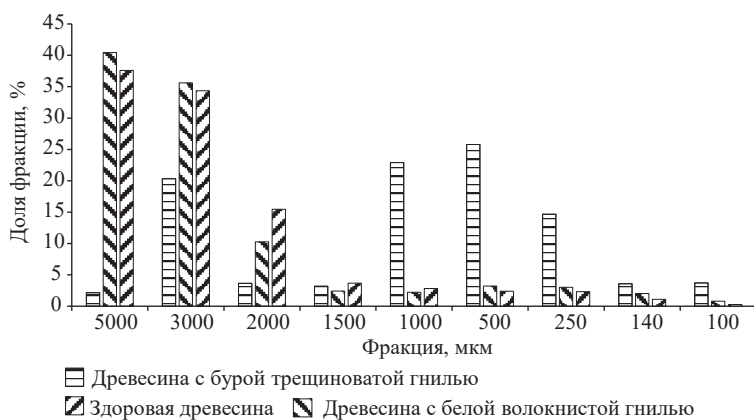


Рис. 2. Фракционный состав древесных частиц

Fig. 2. Fractional composition of wood particles

В результате фракционирования партий древесных частиц после механического измельчения было выявлено, что наименьшее количество крупной фракции имеет древесина, пораженная грибами бурой трещиноватой гнили. Это связано со степенью деструкции, а также с механизмом разрушения древесины под воздействием данного вида грибов, в результате которого уничтожается такое количество целлюлозы и гемицеллюлозы, что ощутимо сокращается количество крупных частиц при размоле ввиду частичного или полного разрушения клеток.

При воздействии дереворазрушающих грибов в древесине происходят изменения, которые значительно влияют на процессы ее термической деструкции [21, 23], это предопределяет возможность изучения физико-химического состояния древесины методом термического анализа. Данный метод широко применяется для исследования основных полимерных компонентов древесины, в т. ч. гнилой, и определения соотношения ароматической и углеводной частей [22, 24]. В качестве проб использовались древесные частицы здоровой и пораженной гнилью древесины *Abies sibirica*.

Исследования осуществлялись с использованием прибора TG 209 F1 (Netzsch, Германия) при следующих условиях. Скорость нагрева образцов от 25 до 700 °С в окислительной атмосфере (сжатый воздух) – 10 °С·мин<sup>-1</sup>, скорость потока защитного и продувочного газов – 20 мл·мин<sup>-1</sup>; масса образцов здоровой древесины и древесины последней стадии гнили – 3,94 и 4,27 мг соответственно, тигель – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, цилиндрической формы. Калибровка прибора проведена по методике и с реперными веществами производителя Netzsch. Обработка данных термического анализа осуществлялась с помощью пакета программ Netzsch. Proteus Thermal Analysis. 4.8.4.

В качестве основного способа подготовки сырья использовался метод гидродинамической обработки в роторном гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа [1]. При этом измельченная древесина предварительно смешивалась с водой температурой от 8 до 10 °С в емкости до концентрации 6 %. Затем осуществлялась обработка в течение 10 мин. Частота вращения ротора – 2950 об./мин. После обработки древесной массы методом мокрого фракционирования определялся ее фракционный состав (рис. 3).

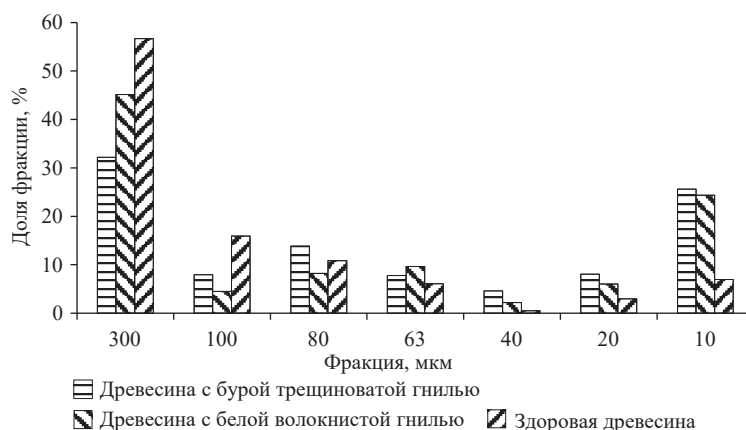


Рис. 3. Изменение фракционного состава в процессе гидродинамической обработки

Fig. 3. Change in fractional composition during hydrodynamic treatment

Анализ полученных данных указывает на то, что доля фракции с размерами менее 20 мкм (дно) возрастает. При этом масса, полученная из древесины, пораженной грибами бурой трещиноватой гнили, имеет более равномерное распределение частиц по разным фракциям, в то время как здоровая древесина и древесина, пораженная грибами белой волокнистой гнили, характеризуются большим количеством крупной фракции (300 мкм). Это, вероятно, обусловлено существенным снижением прочности древесины и увеличением ее хрупкости в связи с меньшим количеством целлюлозы.

Для изготовления плит формирование ковра осуществлялось путем налива полученных древесных масс в специальную металлическую форму с сетчатым дном. Для обезвоживания ковра использовали механический отжим в холодном прессе с давлением 1,0 МПа. После этого плиты помещали в горячий пресс Fontijne presses LabPro 1000 (Дания). Горячее прессование проводилось при температуре 190 °С и удельной продолжительности 2 мин/мм, плотность готовых плит составляла 800 кг/м<sup>3</sup>, толщина – 8 мм.

После прессования плиты выдерживали в течение 1 недели в помещении лаборатории для кондиционирования. После этого осуществляли раскрой плит на образцы для испытаний. Определение механических свойств плит проводилось на испытательной машине УТС-30 (Россия) по ГОСТ 4598–2018. Влажность полученных плит устанавливалась по методике ГОСТ 10633–2018. Опытные образцы помещали в водяную баню и заливали водой температурой 20±2 °С. Расстояние между образцами и стенками водяной бани – 15 мм. Воду нагревали до точки кипения (100 °С) в течение 90±10 мин. Продолжительность кипячения образцов – 120±5 мин. Затем опытные образцы извлекали из ванны, удаляли влагу с поверхности бумажным полотенцем и помещали в сушильный шкаф при температуре 70±2 °С на 960±15 мин. После извлечения образцов из сушильного шкафа им давали остыть до комнатной температуры.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

На рис. 4 представлены экспериментальные данные, полученные методом термогравиметрии (кривые ТГ и ДТГ) для образцов здоровой и пораженной гнилью древесины. Установлено 4 температурных диапазона (табл. 2),

характерных для древесины [25, 27], при которых наблюдается потеря массы образца.

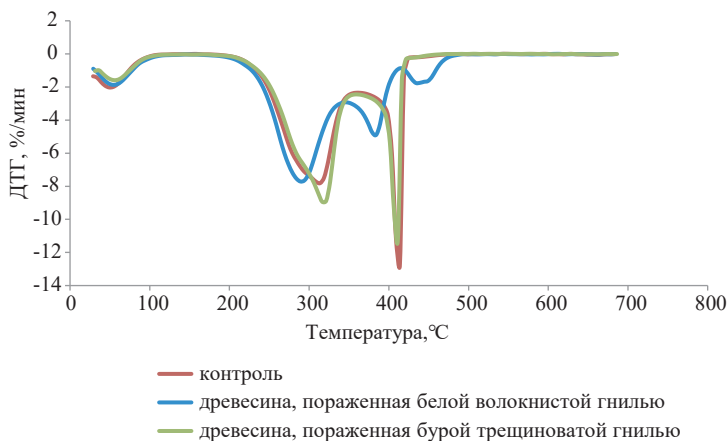


Рис. 4. Кривые ДТГ древесного сырья

Fig. 4. DTG curves of wood raw materials

Таблица 2

**Результаты термического анализа испытываемой древесины**  
**Results of thermal analysis of the tested wood**

Древесина	Температурный интервал, °C			
	Потеря массы, %			
	$\Delta m_1$	$\Delta m_2$	$\Delta m_3$	$\Delta m_4$
Здоровая	<u>20–114</u> 4,23	<u>186–287</u> 18,87	<u>287–364</u> 43,24	<u>364–469</u> 29,90
Пораженная бурой трещиноватой гнилью	<u>20–99</u> 3,94	<u>170–282</u> 22,38	<u>282–344</u> 26,06	<u>344–455</u> 45,28
Пораженная белой волокнистой гнилью	<u>20–116</u> 9,68	<u>194–271</u> 15,60	<u>271–345</u> 41,13	<u>414–492</u> 7,34

На первом этапе нагревания древесины от 20 до 116 °C происходит испарение воды ( $\Delta m_1$ ). Уменьшение массы образцов при дальнейшем повышении температуры до 360 °C обусловлено в основном термическим разложением гемицеллюлоз и аморфной части целлюлозы ( $\Delta m_2$ ). Дальнейшая потеря массы связана с развитием термодеструкции кристаллической части целлюлозы ( $\Delta m_3$ ) [28, 30]. На последнем этапе нагрева от 406 до 518 °C происходит преимущественная термодеструкция лигнина ( $\Delta m_4$ ) и сгорание образовавшегося угля.

Древесина, поврежденная бурой трещиноватой гнилью, и здоровая древесина имеют близкие содержания влаги – соответственно 4,23 и 3,94 %. При этом древесина с белой волокнистой гнилью при равных условиях содержит 9,68 % влаги, что указывает на ее более высокую гигроскопичность. Это обусловлено значительной долей доступных для молекул воды гидрофильных функциональных групп, что во многом является следствием изменения углеводной части древесинного вещества [27]. В интервале температур от 116 до 360 °C потеря масс  $\Delta m_2 + \Delta m_3$  у здоровой древесины составляет 66,34 %, что согласуется с априорными значениями доли углеводной части для древесины пихты сибирской [5]. Потери массы у древесины, пораженной белой волокнистой

гнилью, в данном интервале температур имеют сопоставимое значение. При этом у древесины, пораженной бурой трещиноватой гнилью, доля углеводов составляет 52,38 %, что указывает на их меньшую массу. При этом относительная доля кристаллической части целлюлозы ( $\Delta m_3$ ) и лигнина ( $\Delta m_4$ ) существенно больше. Помимо того, скорость потери массы у древесины, пораженной бурой трещиноватой гнилью, в области термической деструкции углеводной части значительно ниже в сравнении со здоровой древесиной, это, по-видимому, обусловлено низкой долей данной части, что указывает на крайние стадии биодеструкции. У образцов древесины, пораженной белой волокнистой гнилью, при термическом разложении ароматической части компонентов клеточной стенки скорость потери массы ниже в сравнении со здоровой древесиной, ввиду меньшей доли части, что также указывает на крайние стадии поражения бурой гнилью.

Результаты исследования влияния вида сырья на механические свойства плит представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Физико-механические свойства готовых плит из испытываемой древесины**  
**Physical and mechanical properties of finished slabs from the tested wood**

Показатель	Древесина		
	здоровая	пораженная трещиноватой гнилью	пораженная волокнистой гнилью
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	17	27	35
Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти, МПа	0,58	0,92	0,83
Разбухание по толщине, %	12,1	4,2	7,8

Физико-механические показатели плит, полученных из древесины на крайних стадиях биодеструкции, выше в сравнении с плитами, изготовленными из здоровой древесины. Древесина, пораженная белой гнилью, имеет превосходящую гигроскопичность и, соответственно, большее количество гидрофильных функциональных групп, которые при аутогезионном взаимодействии между частицами могут формировать водородные связи [13]. Прочность древесины определяется свойствами целлюлозы, доля которой в данном случае выше. Это, вероятно, создает условия для получения плит с пределом прочности при статическом изгибе выше более чем в 2 раза в сравнении с контрольными плитами.

Особый интерес вызывают механические свойства плит, полученных из древесины, пораженной бурой трещиноватой гнилью. Основным компонентом в данном случае является лигнин, доля целлюлозы при этом существенно ниже. Механическое измельчение такой древесины позволяет увеличить долю фракций 1000 мкм и менее до 70 %, что в 3 раза превышает показатель для древесины с белой волокнистой гнилью. По-видимому, указанный факт определяет увеличение площади межфазных поверхностей. При этом изменяются химические свойства лигнина [12]. Увеличиваются доли гидроксильных и карбоксильных групп [29]. Это создает предпосылки для роста аутогезионных взаимодействий между частицами, обуславливая высокие физико-механические показатели готовых плит из древесины, пораженной бурой трещиноватой гнилью.

Влагостойкость плит была исследована кипячением в воде (табл. 4). После высыхания и повторной фиксации размеров определен предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты.

Таблица 4

**Показатели плит после испытания кипячением**  
**Performance of the slabs after boiling test**

Показатель	Здоровая древесина	Древесина с бурой трещиноватой гнилью	Древесина с белой волокнистой гнилью
Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты, МПа	0,48	0,83	0,60
Разбухание, %	12,5	7,8	4,2
Остаточная деформация, %	8,2	0,3	6,1

Установлено, что плиты не разрушаются. Плиты, полученные из биодegradированной древесины, имеют большую водостойкость в сравнении с плитами из здоровой древесины. Ближайшим аналогом данных плит является MDF (medium density fiberboard). Плиты, полученные из гнилой древесины, полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к плитам, несущим нагрузку как в сухих, так и во влажных условиях (ГОСТ 32274–2021).

#### *Заключение*

Полученные в ходе работы плиты имеют существенно более высокую влагостойкость по сравнению с традиционными древесными плитами. При этом влагостойкость достигается не за счет введения в плиты модифицирующих добавок, как у MDF, а благодаря изменениям, происходящим в структуре древесины при гниении и гидродинамической обработке.

Биодegradированная древесина может быть использована для получения плит без связующих веществ, свойства готовых плит при этом будут соответствовать требованиям стандартов, а по ряду показателей продукция превзойдет существующие аналоги. Использование древесины, пораженной белой волокнистой гнилью, в качестве сырья для производства плит без связующих позволяет получить материал с высокими физико-механическими свойствами, которые соответствуют действующим стандартам. Плиты из древесины с бурой трещиноватой гнилью имеют хорошие механические свойства и наибольшую водостойкость в сравнении с остальными испытанными образцами.

Таким образом, плиты из биодegradированной древесины благодаря высоким физико-механическим свойствам и водостойкости могут применяться в производстве мебели, строительстве, в т. ч. в условиях повышенной влажности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Казичин С.Н., Намятов А.В., Острякова В.А. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 151–158.

Ermolin V.N., Bayandin M.A., Kazitsin S.N., Namyatov A.V., Ostryakova V.A. Water Resistance of Wood Boards Produced Without the Use of Binders. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2020, no. 3, pp. 151–158. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-151-158>

2. Ерицов А.М., Волков В.Д., Ломов В.Д. Катастрофические лесные пожары последних лет // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2016. Т. 20, № 5. С. 106–110.

Yeritsov A.M., Volkov V.D., Lomov V.D. Catastrophic Forest Fires of Recent Years. *Lesnoy vestnik* = Forestry Bulletin, 2016, vol. 20, no. 5, pp. 106–110. (In Russ.).

3. Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Намятов В.Н., Острыкова В.А. Структурно-механические свойства гидродинамически активированной древесной массы в аддитивных технологиях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 121–131.

Ermolin V.N., Bayandin M.A., Namyatov A.V., Ostryakova V.A. Structural and Mechanical Properties of Hydrodynamically Activated Wood Pulp in Additive Technologies. *Lesnoy zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 2, pp. 121–131. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-121-131>

4. Казитин С.Н., Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Намятов А.В. Разработка режима горячего прессования плит без связующих веществ из механоактивированных древесных частиц // Хвойные бореал. зоны. 2016. Т. 34, № 5-6. С. 315–318.

Kazitsin S.N., Ermolin V.N., Bayandin M.A., Namyatov A.V. Development of Hot Pressing Mode of Boards Without Binders From Mechanically Activated Wood Particles. *Conifers of the Boreal Zone*, 2016, vol. 34, no. 5-6, pp. 315–318. (In Russ.).

5. Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А. Термический анализ древесины основных лесобразующих пород Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2015. № 6. С. 17–30.

Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Aniskina A.A. Thermal Analysis of Wood of the Main Forest-Forming Species of Central Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*, 2015, no. 6, pp. 17–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20150602>

6. Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Петрунина Е.А., Пляшеchnik М.А., Тюткова Е.А., Пашенова Н.В., Гродницкая И.Д., Анискина А.А., Сенашова В.А. Диагностика ранних изменений физико-химических свойств древесины под действием грибных инфекций // Химия растит. сырья. 2022. № 2. С. 61–72.

Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Petrunina E.A., Plyashechnik M.A., Tyutkova E.A., Pashenova N.V., Grodnitskaya I.D., Aniskina A.A., Senashova V.A. Diagnostics of Early Changes in Physical and Chemical Properties of Wood Under the Influence of Fungal Infections. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2022, no. 2, pp. 61–72. (In Russ.).

<https://doi.org/10.14258/jcprm.2022029801>

7. Тютиков С.С. Плиты из пораженных гнилями древесных включений торфяных месторождений и валежника без связующих // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.: тр. IX Междунар. евразийск. симпозиум. Т. 9. Екатеринбург: Уральск. гос. лесотехн. ун-т, 2014. С. 100–103.

Tyutikov S.S. Slabs From Rot-Affected Wood Inclusions of Peat Deposits and Dead Wood Without Binders. *Woodworking: Technologies, Equipment, Management of the XXI Century: Proceedings of the IX International Eurasian Symposium. Vol. 9*. Yekaterinburg, Ural State Forestry Engineering University Publ., 2014, pp. 100–103. (In Russ.).

8. Adhi T., Korus R., Pometto I. Lignin Degradation and Production of Microbially Modified Lignin Polymers by *Streptomyces Viridosporus* in Slurry Reactors. *Appl Biochem Biotechnol*, 1988, no. 118, pp. 291–301. <https://doi.org/10.1007/BF02930833>

9. Barrette J., Thiffault E., Saint-Pierre F., Wetzel S., Duchesne I., Krigstin S. Dynamics of Dead Tree Degradation and Shelf-Life Following Natural Disturbances: Can Salvaged Trees From Boreal Forests ‘Fuel’ the Forestry and Bioenergy Sectors? *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 1991, vol. 88, no. 3, pp. 275–290.

<https://doi.org/10.1093/forestry/cpv007>

10. Bashaml J.T. Degradation and Loss of Wood Fibre in Spruce Budworm-Killed Timber, and Effects on Utilization. *The Forestry Chronicle*, no. 3, pp. 76–83.
11. Bekhta P. Effects of Wood Particles from Deadwood on the Properties and Formaldehyde Emission of Particleboards. *Polymers*, 2022, vol. 14, no. 17, pp. 35–37. <https://doi.org/10.3390/polym14173535>
12. Byrne T., Stonestreet C., Peter B. Characteristics and Utilization of Post-Mountain Pine Beetle Wood in Solid Wood Products. *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*. Eds.: L. Safranyik, B. Wilson. Victoria, BC, Canada: Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 2006, pp. 233–253.
13. Felby C., Thygesen L., Sanadi A., Barsberg S. Native Lignin for Bonding of Fiber Boards-Evaluation of Bonding Mechanisms in Boards Made From Laccase-Treated Fibers of Beech. *Industrial Crops and Products*, 2004, no. 20, pp. 181–185. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.04.020>
14. Goodell B. Brown-Rot Fungal Degradation of Wood: Our Evolving View. *ACS Symposium Series*, 2003, vol. 845, pp. 97–118. <https://doi.org/10.1021/bk-2003-0845.ch006>
15. Hoeger T., Gleisner R., José Negrón J., Orlando Rojas J., Zhu J.Y. Mountain Pine Beetle-Killed Lodgepole Pine for the Production of Submicron Lignocellulose Fibrils, *Forest Science*, 2014, vol. 60, no. 3, pp. 502–511.
16. Jouzani G., Tabatabaei M., Aghbashlo A. Fungi in Fuel Biotechnology. *Springer International Publishing*, 2020, no. 2, pp. 141–146.
17. Kaliyan N., Morey R.V. Factors Affecting Strength and Durability of Densified Biomass Products. *Biomass Bioenergy*, 2012, no. 33, pp. 337–359. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>
18. Körner I., Kühne G., Pecina H. Unsterile Fermentation von Hackschnitzeln eine Holzvorbehandlungsmethode für die Faserplattenherstellung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2001, vol. 59, pp. 334–341. (In Germ.). <https://doi.org/10.1007/s001070100222>
19. Lewis K.L., Thompson D., Hartley I., Pasca S. Wood Decay and Degradation in Standing Lodgepole Pine (*Pinus contorta* var. *latifolia* Engelm.) Killed by Mountain Pine Beetle (*Dendroctonus ponderosae* Hopkins: Coleoptera). *Natural Resources Canada, Mountain Pine Beetle Initiative Working Paper*, 2006, no. 11, pp. 26–31.
20. Muhcu S., Nemli G., Ayırmis N., Bardak S., Baharoğlu M., Sarı B., Gerçek Z. Effect of Log Position in European Larch (*Larix decidua* Mill.). Tree on the Technological Properties of Particleboard. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2015, vol. 30, no. 4, pp. 357–362. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.986522>
21. Nassar M., MacKay G. Mechanism of Thermal Decomposition of Lignin. *Wood and Fiber Science*, 1984, no. 16, pp. 441–453.
22. Poletto M., Dettenborn J., Pistor V., Zeni M., Zattera A.J. Materials Produced From Plantbiomass. Part I: Evaluation of Thermal Stability and Pyrolysis of Wood. *Materials Research*, 2010, no. 13(3), pp. 375–379. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392010000300016>
23. Poletto M., Zattera A.J., Forte M.M.C., Santana R.M.C. Thermal Decomposition of Wood: Influence of Wood Components and Cellulose Crystallite Size. *Bioresource Technology*, 2012, vol. 109, no 1, pp. 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.122>
24. Qi J., Li F., Zhang X., Luo B., Zhou Y., Fan M., Xia Y. Different Selectivity and Biodegradation Path of White and Brown Rot Fungi Between Softwood and Hardwood. *Research Square*, 2022. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2116440/v1>
25. Rayner A., Boddy L. *Fungal Decomposition of Wood. Its Biology and Ecology*. UK, Wiley, 1998. 587 p.
26. Scheffer T., Wilson T., Luxford R., Hartley C. The Effect of Certain Heart Rot. *USDA Technical Bulletin. Washington D.C.*, 1941, no. 779, pp. 1024–1031.
27. Schell D.J., Harwood C. Milling of Lignocellulosic Biomass. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 1994, no. 45, pp. 159–168. <https://doi.org/10.1007/BF02941795>

28. Watson P. Impact of the Mountain Pine Beetle on Pulp and Papermaking. *The Mountain Pine Beetle: A Synthesis of Biology, Management, and Impacts on Lodgepole Pine*. Ed. by L. Safranyik, B. Wilson. Victoria, BC, Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, 2006, pp. 255–275.

29. Widsten P., Laine J.E., Tuominen S. Radical Formation on Laccase Treatment of Wood Defibrated at High Temperatures. Part 1. Studies With Hardwood Fibers. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2002, no. 17, pp. 139–146.

<https://doi.org/10.3183/npprj-2002-17-02-p139-146>

30. Witomski P., Olek W., Bonarski J.T. Effects of White and Brown Rot Decay on Changes of Wood Ultrastructure. *BioResources*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 7363–7371.

<https://doi.org/10.15376/biores.9.4.7363-7371>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest



ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ  
ДРЕВЕСИНЫ И ПРОИЗВОДСТВО  
ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научная статья

УДК 630.23:676.16

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-152-162

**Влияние некондиционной древесины осины при варке  
бисульфитным способом на характеристики и выход целлюлозы**

*А.А. Красикова*<sup>1✉</sup>, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [AAH-5816-2020](https://orcid.org/0000-0001-6040-2026),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6040-2026>

*М.А. Гусакова*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [AAB-5528-2019](https://orcid.org/0000-0002-2937-2604),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2937-2604>

*Ю.В. Севастьянова*<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [ABE-4746-2020](https://orcid.org/0000-0002-1806-9052),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1806-9052>

*М.А. Пустынная*<sup>1</sup>, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAC-3225-2022](https://orcid.org/0000-0003-0036-9388),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0036-9388>

*А.А. Слобода*<sup>1</sup>, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAL-3955-2021](https://orcid.org/0000-0002-1415-9050),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-9050>

*К.Г. Боголицын*<sup>1,2</sup>, д-р хим. наук, гл. науч. сотр., проф.; ResearcherID: [AAA-6432-2019](https://orcid.org/0000-0002-4055-0483),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-0483>

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН, просп. Никольский, д. 20, г. Архангельск, Россия, 163020; [ann.krasikova@gmail.com](mailto:ann.krasikova@gmail.com)<sup>✉</sup>, [mariya\\_gusakova@mail.ru](mailto:mariya_gusakova@mail.ru), [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [mpustynnaa@gmail.com](mailto:mpustynnaa@gmail.com), [sloboda.iepn@yandex.ru](mailto:sloboda.iepn@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

Поступила в редакцию 08.07.25 / Одобрена после рецензирования 19.09.25 / Принята к печати 22.09.25

**Аннотация.** В европейской части России преобладают смешанные хвойно-лиственные леса. Использование мягколиственных пород для производства целлюлозы позволяет восполнять дефицит лесных древесных ресурсов, в связи с чем в последние десятилетия наблюдается увеличение массы лиственной древесины в сырьевой базе целлюлозно-бумажной промышленности. Древесина лиственных пород подвержена воздействию дереворазрушающих грибов, что позволяет классифицировать ее как малоликвидную. До недавнего времени древесина лиственных пород, и в частности осины, считалась малопригодным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности. Поиск путей получения волокнистых полуфабрикатов из такой древесины и их применения в композиции различных видов бумаги и картона является актуальным направлением исследований и во многом определяет дальнейший научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности. Целью работы стало комплексное исследование влияния качества осинового сырья на свойства бисульфитной целлюлозы высокого выхода, используемой для производства бумаги для гофрирования. Объект исследования – условно здоровая и пораженная трутовиком ложным осиновым

древесина осины. Лабораторные варки осуществляли при гидромодуле 5:1; расходе  $\text{SO}_2$  15,0 %; pH варочного раствора 4,3...4,5, конечной температуре варки 165 °С, продолжительности стоянки 2 ч. Показано, что волокна целлюлозы из поврежденной древесины имеют сниженные геометрические размеры волокон. Прочность полученной целлюлозы сопоставляли с показателями качества лиственной полуцеллюлозы, используемой в производстве флютинга. Выявлено, что бисульфитная осиновая целлюлоза (в т. ч. с содержанием 20 % гнили) превосходит полуцеллюлозу по разрывной длине и сопротивлению продавливанию, но уступает по разрушающему усилию при сжатии кольца в поперечном направлении. Продемонстрировано, что максимально возможное содержание некондиционной древесины в композиции со здоровой осиновой древесиной, не вызывающее значительного снижения структурно-размерных и механических показателей качества полуфабриката, составило 10 %.

**Ключевые слова:** осина, сердцевинная гниль, бисульфитная целлюлоза, свойства целлюлозы, волокнистый полуфабрикат

**Благодарности:** Исследование проведено в рамках госзадания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН с использованием оборудования ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (САФУ).

**Для цитирования:** Красикова А.А., Гусакова М.А., Севастьянова Ю.В., Пустынная М.А., Слобода А.А., Боголицын К.Г. Влияние некондиционной древесины осины при варке бисульфитным способом на характеристики и выход целлюлозы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 152–162. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-152-162>

Original article

## Effect of Substandard Aspen Wood Addition During Bisulfite Cooking on Pulp Characteristics and Yield

*Anna A. Krasikova*<sup>1✉</sup>, Candidate of Chemistry, Senior Research Scientist;

ResearcherID: [AAH-5816-2020](https://orcid.org/0000-0001-6040-2026), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6040-2026>

*Maria A. Gusakova*<sup>1</sup>, Candidate of Engineering, Leading Research Scientist;

ResearcherID: [AAB-5528-2019](https://orcid.org/0000-0002-2937-2604), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2937-2604>

*Yulia V. Sevastyanova*<sup>1,2</sup>, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [ABE-4746-2020](https://orcid.org/0000-0002-1806-9052),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1806-9052>

*Maria A. Pustynnaya*<sup>1</sup>, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAC-3225-2022](https://orcid.org/0000-0003-0036-9388),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0036-9388>

*Anatoliy A. Sloboda*<sup>1</sup>, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAL-3955-2021](https://orcid.org/0000-0002-1415-9050),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-9050>

*Konstantin G. Bogolitsyn*<sup>1,2</sup>, Doctor of Chemistry, Chief Research Scientist, Prof.;

ResearcherID: [AAA-6432-2019](https://orcid.org/0000-0002-4055-0483), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-0483>

<sup>1</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Nikolskiy, 20, Arkhangelsk, Russian Federation, 163020; [ann.krasikova@gmail.com](mailto:ann.krasikova@gmail.com)<sup>✉</sup>, [mariya\\_gusakova@mail.ru](mailto:mariya_gusakova@mail.ru), [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [mpustynnaa@gmail.com](mailto:mpustynnaa@gmail.com), [sloboda.iepn@yandex.ru](mailto:sloboda.iepn@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; [y-sevastyanova@yandex.ru](mailto:y-sevastyanova@yandex.ru), [k.bogolitsin@narfu.ru](mailto:k.bogolitsin@narfu.ru)

Received on July 8, 2025 / Approved after reviewing on September 19, 2025 / Accepted on September 22, 2025

**Abstract.** The European part of Russia is dominated by mixed coniferous and deciduous forests. The use of soft-leaved species for pulp production makes it possible to fill the shortage of available forest wood resources, and in recent decades there has been an increase in the share of hardwood in the raw material base of the pulp and paper industry. Hardwood is susceptible to wood-destroying fungi, which makes it possible to classify it as low-quality raw material. Until recently, hardwood, and aspen in particular, was considered an unsuitable raw material for the pulp and paper industry. Research on the production of fibrous semi-pulp products from such wood and their use in the composition of various types of paper and cardboard is relevant and largely determines further scientific and technological progress in the pulp and paper industry. The aim of the work is a comprehensive study of the effect of aspen wood quality on the properties of high-yield bisulfite pulp used for the production of corrugating medium. The object of the study was a conditionally healthy aspen wood and wood affected by false tinder fungus (*Phellinus tremulae*). Laboratory cooking was carried out under the following conditions: liquor-to-wood ratio 5:1; SO<sub>2</sub> consumption 15.0 %; cooking solution pH 4.3...4.5, final cooking temperature 165 °C, and cooking duration at the final temperature of 2.0 hours. It is shown that the structural and morphological characteristics of pulp fibers from decayed wood have specific features, expressed in a decrease in the geometric dimensions of the fibers. The strength characteristics of the obtained cellulose were compared with the quality indicators of hardwood semi-pulp used in the production of fluting. It was found that bisulfite aspen pulp (including pulp with 20 % rot content) is superior to semi-pulp in terms of breaking length and bursting strength, but inferior in terms of ring crush resistance. The paper demonstrates that the maximum possible content of substandard wood in a composition with healthy aspen wood, which does not cause a significant decrease in the structural, dimensional and mechanical quality of the semi-finished product, is 10 %.

**Keywords:** aspen, core rot, bisulfite pulp, pulp properties, fibrous semi-finished product

**Acknowledgements:** The research was carried out within the framework of the state assignment of the N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences using the equipment of Engineering-Technological Center "Modern technologies for processing of bioresources of the North" (NArFU).

**For citation:** Krasikova A.A., Gusakova M.A., Sevastyanova Yu.V., Pustynnaya M.A., Sloboda A.A., Bogolitsyn K.G. Effect of Substandard Aspen Wood Addition During Bisulfite Cooking on Pulp Characteristics and Yield. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 152–162. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-152-162>

### Введение

Одна из важнейших задач развития целлюлозно-бумажной промышленности России заключается в создании и совершенствовании технологий, направленных на рациональное использование природных ресурсов, что сопровождается вовлечением в переработку лиственной древесины. В европейской части России преобладают смешанные хвойно-лиственные леса, поскольку после вырубki хвойных пород на лесосеках превалирует подрост лиственных пород (береза, осина) [16]. Применение в промышленности мягколиственных пород позволяет восполнять дефицит лесных древесных ресурсов, в связи с чем в последние десятилетия масса древесины осины в сырьевой базе целлюлозно-бумажного производства увеличивается [17]. Исследования показали, что широкое использование здоровой неповрежденной лиственной древесины в целлюлозно-бумажной промышленности позволяет не только расширить

сырьевую базу отрасли, но и улучшить качественные характеристики бумаги и картона [5, 8, 9, 11].

Однако древесина лиственных пород подвержена такому заболеванию, как сердцевинная гниль, вызванному дереворазрушающими грибами [2–4, 14, 15], что приводит к большим потерям этого сырья в целлюлозно-бумажной промышленности. Гниение снижает плотность древесины и изменяет ее химический состав, окраску, макроструктуру и физико-механические свойства. При этом белая гниль уменьшает прочность древесины в меньшей степени, чем бурая (деструктивного типа) гниль. Пораженная белой гнилью древесина характеризуется высокими мягкостью, гибкостью и сопротивлением разрыву [19]. В соответствии с данными, представленными в работе [1], до определенной стадии пораженности (при плотности не ниже 0,2–0,25 г/см<sup>3</sup>) древесина осины пригодна для переработки в целлюлозно-бумажной промышленности. Поэтому поиск способов максимально возможного вовлечения пораженной древесины в производство является актуальной задачей. Целлюлозно-бумажная промышленность освоила выпуск различного вида целлюлозы из древесины лиственных пород и может сыграть основную роль в решении проблемы использования древесины пониженного качества [10].

Осина как сырье обладает рядом преимуществ: это быстрорастущая порода с обширным ареалом, не требовательна к климатическим условиям и к почве [7, 10, 13]. Древесина осины в России используется в основном для производства нейтрально-сульфитной целлюлозы. Данный вид производства имеет ряд недостатков, таких как негативное воздействие на окружающую среду, снижение прочности получаемой целлюлозы. По сравнению с ним производство бисульфитной целлюлозы и полуцеллюлозы в сочетании с простым и эффективным способом регенерации химикатов является более предпочтительным, поскольку позволяет утилизировать древесину как хвойных, так и лиственных пород, обеспечивает защиту водного и воздушного бассейнов от вредных выбросов, а также использует органическую часть щелоков для получения пара [12]. Преимущества бисульфитного процесса перед сульфитным в отношении выхода и свойств полуфабрикатов более отчетливо проявляются для лиственной древесины, чем для хвойной [11, 18, 22]. Варка бисульфитным способом позволяет перерабатывать как мягкие, так и твердые лиственные породы и получать волокнистую массу с выходом 60–80 %. В России в качестве сырья для производства бисульфитной целлюлозы используются осина и береза. Бисульфитная целлюлоза с выходом 50–60 % имеет хорошие прочностные характеристики и может применяться в производстве бумаги для печати.

Таким образом, исследования, направленные на получение волокнистых полуфабрикатов из фаутной (пораженной грибом трутовиком ложным осиновым) лиственной древесины и их применение в композиции различных видов бумаги и картона, имеют большую практическую и теоретическую ценность и во многом определяют дальнейший научно-технический прогресс в целлюлозно-бумажной промышленности. Целью настоящей работы является комплексное исследование влияния качества осиновой древесины на свойства бисульфитной целлюлозы высокого выхода, используемой для производства гофрированной бумаги.

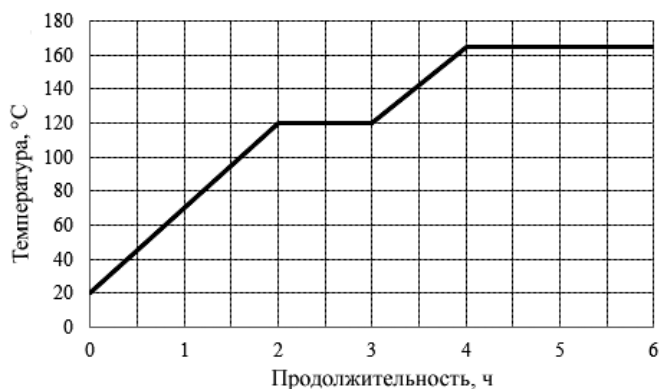
Задача – определение максимально возможного содержания некондиционной древесины (гнили) в композиции со здоровой осиновой древесиной, которое не оказывало бы негативного влияния на физико-механические свойства готовой продукции.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования являлась условно здоровая и фаутная древесина осины, произрастающей в Архангельской области.

В качестве сырья для получения целлюлозы высокого выхода использовали щепу лабораторного изготовления из здоровой и гнилой древесины осины. Исследуемые образцы некондиционной (гнилой) древесины имели коррозионный тип белой гнили, 2-я стадия [2]. Содержание щепы из гнилой древесины в смеси варьировали от 0 до 20 %, качество щепы определяли согласно ГОСТ 15815–83. Для проведения лабораторных варок использовали щепу нормальной фракции (остатки на ситах 20 и 10 мм).

Лабораторные варки бисульфитным способом на натриевом основании проводили в автоклавной системе CAS 420 для варки целлюлозы. Режим варки: гидромодуль – 5:1; расход  $\text{SO}_2$  – 15,0 %; pH варочного раствора – 4,3...4,5. На рисунке представлен принятый температурный режим варок, выбранный согласно регламенту действующего предприятия. По каждому соотношению качественной и низкокачественной щепы проводили по 2 параллельные варки в автоклавах вместимостью 1200 мл.



Температурный режим бисульфитной варки ЦВВ

The temperature regime of bisulfite cooking of high-yield pulp

Степень делигнификации целлюлозы (число Каппа) определяли согласно ГОСТ 10070–74. Для установления размеров волокон и фракционного состава по длине волокна использовали анализатор свойств волокна системы Fiber Tester Lorentzen & Wettre, позволяющий провести расширенный анализ свойств целлюлозных волокон [20]. Подготовку образцов к испытаниям выполняли по ГОСТ 14363.4–89. Размол массы осуществляли в лабораторной мельнице ЦРА. Процесс размола контролировали путем определения степени помола массы ГОСТ 14363.4–89. Лабораторные образцы бумаги получали из предварительно подготовленной бумажной массы на листоотливном аппарате ЛА-3 согласно ГОСТ 14363.4. Сушку вели в вакуум-сушилках листоотливного аппарата при температуре  $102 \pm 5$  °C.

Показатели качества лабораторных образцов определяли по стандартным методам: толщину образца – по ГОСТ 27015–86 на приборе ТМБ-5-А с цифровым блоком регистрации; прочность на разрыв и удлинение при растяжении готовых образцов – по ГОСТ 13525.1–79 на приборе Тестсистема 105; сопротивление торцевому сжатию гофрированного образца в поперечном направлении – в соответствии с методом ССТ по ГОСТ 28686–90; сопротивление продавливанию – по ГОСТ 13525.8–86, сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца – по ГОСТ 20682–75.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Согласно принятому плану эксперимента на первом этапе были получены образцы бисульфитной целлюлозы из древесины осины различного качества при общей продолжительности варки 5,5 ч. В табл. 1 приведены средние выходы целлюлозы и числа Каппа.

Таблица 1

#### **Влияние добавки гнили на результаты варки осиновой бисульфитной целлюлозы** **Effect of rot addition on aspen bisulfite pulping performance**

Содержание гнили в щепе, %	Выход сортированной целлюлозы, %	Непровар, %	Степень делигнификации, ед. Каппа
0	47,0	12,3	50,5
1,5	48,3	10,8	47,5
10,0	45,6	13,3	45,2
20,0	44,1	13,0	40,4

Некоторое увеличение выхода целлюлозы при содержании гнили 1,5 %, вероятно, может быть обусловлено большей доступностью компонентов в подобной древесине для варочных реагентов без значительного разрушения волокон целлюлозы, приводящего к снижению выхода при более высоком содержании гнили в щепе. При добавке некондиционной щепы в количестве 10 % не наблюдается существенного снижения выхода целлюлозы. Наибольшее падение выхода сортированной целлюлозы – на 3 % – отмечено при содержании гнили в щепе 20 %, скорее всего, за счет уменьшения плотности целлюлозы [1]. При увеличении содержания гнилой древесины в осиновой щепе происходит снижение числа Каппа на 10 ед., что также объясняется большей доступностью фаутной древесины при варке, и, как следствие, большей степенью ее делигнификации. Одновременное уменьшение данных показателей свидетельствует о разрушительном воздействии гриба на основные компоненты в исходной древесине осины – целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин. Увеличение содержания некондиционной щепы до 20 % привело к незначительному росту количества непровара по сравнению с показателем для здоровой древесины – на 1–2 %.

Для оценки динамики изменения структурно-размерных характеристик волокон бисульфитной осиновой целлюлозы и моделирования использования некондиционной щепы в реальном производстве был также проведен лабораторный размол полученной массы после варки (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние добавки некондиционной древесины на структурно-размерные характеристики волокон бисульфитной осиновой целлюлозы**  
**Effect of substandard wood addition on the fiber structural and dimensional characteristics of aspen bisulfite pulp**

Содержание гнили в целлюлозе, %	Среднеарифметическая длина, мм	Среднее		Доля мелочи, %	Грубость, мг	Средний угол излома, ...°	Число изломов, шт.				Среднее	
		ширина, мкм	фактор формы, %				на миллиметр	больших на миллиметр	на волокно	больших на волокно	индекс излома	длина сегмента, мм
<i>После варки</i>												
0	0,93	23,4	87,8	2,4	125	48,5	0,73	0,19	0,61	0,16	1,80	0,67
1,5	0,93	23,6	87,1	2,3	151	48,9	0,79	0,21	0,65	0,17	1,95	0,65
10,0	0,85	23,4	86,6	2,5	130	49,1	0,86	0,24	0,66	0,18	2,11	0,59
20,0	0,85	23,7	86,1	2,7	146	48,1	0,87	0,23	0,66	0,17	2,12	0,58
<i>После размола</i>												
0	0,84	22,5	91,4	6,3	105	48,3	0,42	0,09	0,33	0,07	1,03	0,74
1,5	0,81	22,9	88,5	7,1	89	52,8	0,74	0,24	0,57	0,18	1,90	0,62
10,0	0,78	21,4	90,4	6,7	76	50,1	0,55	0,15	0,41	0,11	1,38	0,66
20,0	0,75	21,7	89,8	7,3	82	51,4	0,65	0,20	0,47	0,14	1,65	0,61

Показано, что структурно-морфологические характеристики волокон целлюлозы из фаутной древесины имеют сниженные геометрические размеры волокон. Так, повреждение гнилью древесины ожидаемо уменьшает размер волокон после варки, в частности, средняя длина волокон падает на 10 %. При этом у образцов древесины, поврежденных гнилью, возрастает степень разрушения клеточной стенки, характеризуемая числом изломов на волокно [6, 21]. Такие показатели, как длина волокна, грубость и средний угол излома, выше после варки, чем после размола бисульфитной осиновой целлюлозы. Увеличение содержания некондиционной щепы в сырье приводит к получению большего количества мелочи в массе, а также значительному снижению грубости волокон в процессе размола. Рост доли мелкого волокна в производственных условиях приведет к существенному повышению потребления проклеивающих реагентов, поэтому данный факт необходимо учитывать при использовании подобной древесины в промышленности.

Поскольку повреждение гнилью древесины значительно влияет на структурно-морфологические характеристики волокон целлюлозы: уменьшает их геометрические размеры и увеличивает их поврежденность – что может негативно отразиться на деформационно-прочностных показателях целлюлозы, необходим контроль этих характеристик. Для анализа прочности полученных образцов целлюлозы в лабораторных условиях были изготовлены образцы массой 120 г/м<sup>2</sup>. Размол целлюлозы проводили в ЦРА до степени помола 30 °ШР (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние качества древесины на характеристики бисульфитной осинового целлюлозы**  
**Effect of wood quality on the properties of aspen bisulfite pulp**

Показатель	Значение показателя при содержании гнили, %			
	0	1,5	10,0	20,0
Толщина, мкм	128,6	129,8	129,0	135,6
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,88	0,82	0,84	0,86
Разрывная длина, м	7100	6600	6550	6500
Сопротивление продавливанию, кПа	493	420	475	465
Сопротивление торцевому сжатию кольца, Н	179	164	163	167
Сопротивление плоскостному сжатию, кН·м <sup>-1</sup>	338	325	330	352
Жесткость при растяжении, кН/м	667	634	602	668
Работа разрушения, Дж/м <sup>2</sup>	146	110	119	123
Разрушающее напряжение, МПа	62	54	54	55
Разрушающая деформация, %	2,74	2,38	2,55	2,47

Согласно данным табл. 3, при увеличении содержания гнили в щепе происходит постепенное снижение всех деформационных характеристик бисульфитной осинового целлюлозы, за исключением жесткости при растяжении, – добавка некондиционной щепы не повлияла на данный показатель. Уменьшение механических показателей целлюлозы, вероятно, обусловлено истончением клеточной стенки древесины под воздействием дереворазрушающего гриба [1].

Добавка гнилой древесины привела к изменению разрывной длины образцов целлюлозы на 600 м при минимальном значении этого показателя 6500 м. На сопротивление продавливанию образцов бисульфитной осинового целлюлозы качество сырья не оказывает существенного влияния – изменение составляет порядка 30 кПа. Наилучшими показателями обладает целлюлоза без добавления гнили.

Прочностные характеристики полученной целлюлозы сопоставляли с показателями качества полуцеллюлозы, используемой в производстве флютинга на АО «АЦБК» (масса 1 м<sup>2</sup> 125 г при степени помола волокна 30 °ШР):

Разрывная длина.....	не менее 6500 м
Сопротивление торцевому сжатию кольца гофрированного образца..	не менее 280 Н
Разрушающее усилие при сжатии кольца.....	не менее 260 Н
Сопротивление продавливанию.....	не менее 400 кПа
Сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT в поперечном направлении).....	не менее 4,0 кН/м

Показано, что бисульфитная осинового целлюлоза (в т. ч. с содержанием 20 % гнили) превосходит полуцеллюлозу по разрывной длине и сопротивлению продавливанию, но уступает ей по разрушающему усилию при сжатии кольца в поперечном направлении. При увеличении доли гнили в щепе до 10 % не происходит значительного снижения деформационно-прочностных характеристик бисульфитной осинового целлюлозы. Однако отмечено, что наилучшими

показателями из всех полученных целлюлоз обладает целлюлоза без добавления гнили.

Из полученных данных следует вывод о том, что в производственных условиях возможно использование в смеси не более 10 % древесины осины, пораженной гнилью, без значительного снижения качества полуфабриката. Содержание гнили 20 % и выше не допускается.

#### Заключение

В работе исследованы деформационно-прочностные характеристики бисульфитных волокнистых полуфабрикатов, полученных из смеси гнилой и здоровой древесины. Показано, что увеличение добавки некондиционной щепы в сырье приводит к незначительному падению выхода целлюлозы.

Увеличение содержания гнили в щепе обуславливает снижение всех деформационных характеристик бисульфитной осиновой целлюлозы, за исключением жесткости при растяжении, – добавка некондиционной щепы не повлияла на данный показатель. Установлено, что максимально возможное содержание некондиционной древесины в композиции со здоровой осиновой древесиной, не оказывающее негативного влияния на физико-механические свойства готовой продукции, равняется 10 %. Отмечено, что бисульфитная осиновая целлюлоза (в т. ч. с содержанием 20 % гнили) превосходит полуцеллюлозу по разрывной длине и сопротивлению продавливанию.

Результаты, полученные в ходе данного исследования, позволяют оценить влияние содержания некондиционной древесины на структурно-размерные и механические показатели качества волокнистого полуфабриката и могут быть использованы для дальнейшего развития технологий переработки ресурсов лиственной древесины, а также изготовления материалов с повышенными прочностью и деформативностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Большова Н.И.* Изменение химического состава древесины осины, пораженной грибом *Phellinus tremulae* (Bond.) Bond, et Boriss. // Микроорганизмы и низшие растения разрушители материалов и изделий: сб. М.: Наука, 1979. С. 168–173.

Bolshova N.I. Changes in the Chemical Composition of Aspen Wood Affected by the Fungus *Phellinus tremulae* (Bond.) Bond, et Boriss. *Microorganisms and Lower Plants that Destroy Materials and Products*. Moscow, Nauka Publ., 1979, pp. 168–173. (In Russ.).

2. *Вакин А.Т., Полубояринов О.И., Соловьев В.А.* Пороки древесины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 112 с.

Vakin A.T., Poluboyarinov O.I., Solovyov V.A. *Wood Defects. Second Edition*. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1980. 112 p. (In Russ.).

3. *Дружинин Ф.Н., Парфенов И.С.* Оценка эффективности хозяйственного воздействия на фаутовую осину при лесовосстановлении // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. Вологда: Вологодск. гос. ун-т, 2020. С. 36–38.

Druzhinin F.N., Parfenov I.S. Evaluation of the Effectiveness of Economic Impact on Faute Aspen during Reforestation. *Actual Problems of Forest Complex Development: Proceedings of the XVIII International Scientific and Technical Conference*. Vologda, Vologda State University Publ., 2020, pp. 36–38. (In Russ.).

4. Еришов Р.В., Ежов О.Н. Афиллофороидные грибы осины на северо-западе русской равнины. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2009. 124 с.

Ershov R.V., Ezhov O.N. *Aphyllorphoroid Aspen Fungi in the North-West of the Russian Plain*. Arkhangelsk, IEPN of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 124 p. (In Russ.).

5. Карабан А.А., Парамонов А.А., Севастьянова Ю.В., Медведев В.В., Скорнякова А.В., Третьяков С.В., Цветков И.В., Коптев С.В., Богданов А.П. Сравнительный анализ свойств целлюлозы, полученной из древесины ольхи серой и ивы древовидной // Journal of Agriculture and Environment. 2025. № 3(55). С. 1–17.

Karaban A.A., Paramonov A.A., Sevastyanova Yu.V., Medvedev V.V., Skornyakova A.V., Tretyakov S.V., Tsvetkov I.V., Koptev S.V., Bogdanov A.P. Comparative Analysis of the Properties of Pulp Obtained from Gray Alder and Willow Wood. *Journal of Agriculture and Environment*, 2025, no. 3(55), pp. 1–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.55.15>

6. Коптев С.В., Васькин С.А., Севастьянова Ю.В., Поташев А.В., Медведев В.В. Свойства волокон древесины ели, пораженной гнилью // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2024. № 247. С. 264–277.

Koptev S.V., Vas'kin S.A., Sevastyanova Yu.V., Potashev A.V., Medvedev V.V. Properties of Spruce Wood Fibers Affected by Rot. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesnoy akademii* = Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy, 2024, no. 247, pp. 264–277. (In Russ.). <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.247.264-277>

7. Михайлов Л.Е. Осина. М.: Агропромиздат, 1985. 72 с.

Mikhailov L.E. *Aspen*. Moscow, Agropromizdat, 1985. 72 p. (In Russ.).

8. Мутовина М.Г., Бондарева Т.А., Фадеев Б.А., Синчук А.В., Кирсанов В.А., Тюрин Е.Т., Евлахова Р.А., Волкова Г.П. Возможность успешной переработки смеси древесины хвойных и лиственных пород при оптимальных условиях делигнификации // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 7. С. 42–49.

Mutovina M.G., Bondareva T.A., Fadeev B.A., Sinchuk A.V., Kirsanov V.A., Tyurin E.T., Evlakhova R.A., Volkova G.P. The Possibility of Successful Processing of a Mixture of Coniferous and Deciduous Wood Under Optimal Conditions of Delignification. *Tsellulosa. Bumataga. Karton* = Pulp. Paper. Cardboard, 2011, no. 7, pp. 42–49. (In Russ.).

9. Полочарчук Д.А., Осовская И.И., Севастьянова Ю.В., Боголицын К.Г., Паршина А.Э., Богданович Н.И. Свойства композиционного материала на основе лиственной и водорослевой целлюлозы // Химия растит. сырья. 2025. № 1. С. 351–362.

Polomarchuk D.A., Osovskaya I.I., Sevastyanova Yu.V., Bogolitsyn K.G., Parshina A.E., Bogdanovich N.I. Properties of Composite Material Based on Deciduous and Algal Cellulose. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of Plant Raw Material, 2025, no. 1, pp. 351–362. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250114679>

10. Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 276 с. Ripachek V. *Biology of Wood-Destroying Fungi*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 276 p. (In Russ.).

11. Севастьянова Ю.В., Поташев А.В., Миловидова Л.А., Медведев В.В. Разработка режимов варки сульфитной и бисульфитной целлюлозы для производства картона и сравнение полученных полуфабрикатов с сульфатной целлюлозой высокого выхода // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2021. С. 297–302.

Sevastyanova Yu.V., Potashev A.V., Milovidova L.A., Medvedev V.V. Development of Cooking Modes of Sulfite and Bisulfite Pulp for the Production of Cardboard and Comparison of the Obtained Semi-Finished Products with Kraft Pulp of High Yield. *Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Publ., 2021, pp. 297–302. (In Russ.).

12. Севастьянова Ю.В., Топтунов Е.А., Щербак Н.В., Солнцев П.В. Определение математической зависимости плотности черного щелока от содержания сухих веществ (хвойная ЦБВ) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 192–200.

Sevastyanova Yu.V., Toptunov E.A., Shcherbak N.V., Solntsev P.V. Determination of the Mathematical Dependence of the Density of Black Liquor on the Content of Dry Substances (Softwood Pulp of High Yield). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 1, pp. 192–200. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-192-200>

13. Фаустова Н.М. Химический состав коры и древесины осины (*Populus tremula*): автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2005. 20 с.

Faustova N.M. *Chemical Composition of Aspen Bark and Wood (Populus tremula)*: Cand. Chem. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2005. 20 p. (In Russ.).

14. Чернов В.И. Формирование хозяйственно-ценных насаждений осины (*Populus tremula* L.) в лесах республики Татарстан: дис. ... канд. с.-х. наук. Уфа, 2015. 223 с.

Chernov V.I. *Formation of Economically Valuable Stands of Aspen (Populus tremula L.) in the Forests of the Republic of Tatarstan*: Cand. Agric. Sci. Diss. Ufa, 2015. 223 p. (In Russ.).

15. Чураков Б.П., Замалдинов И.Т., Чураков Р.А. Влияние сердцевинной гнили на продукцию древостоев осины разных форм // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 4. С. 30–43.

Churakov B.P., Zamaldinov I.T., Churakov R.A. The Influence of Core Rot on the Production of Aspen Stands of Various Forms. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2015, no. 4, pp. 30–43. (In Russ.).

16. Angelstam P., Kuuluvainen T. Boreal Forests Disturbance Regimes, Successional Dynamics and Landscape Structures – a European Perspective. *Ecological Bulletins*, 1994, vol. 51, pp. 117–136.

17. Bjorkman E., Forssblad L., Malm E. The Use of Decayed Wood From Some Conifers and Broadleaf Trees for Chemical Pulping Purposes. *Studia Forestalia Suecica*, 1964, no. 20, pp. 2–68.

18. Dorland R.M., Leask R.A., Mckinney J.W. Pulp Production With Sodium Bisulfite: The Cooking of Spruce. *Pulp and Paper Journal*, 1958, no. 10, pp. 236–237.

19. Goodell B., Qian Y., Jellison J. Fungal Decay of Wood: Soft Rot – Brown Rot – White Rot. *ACS Symposium Series*, 2008, vol. 982, pp. 9–31.

<https://doi.org/10.1021/bk-2008-0982.ch002>

20. Karlsson H. *Fiber Guide. Fiber Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. Kista, AB Lorentzen & Wettre, 2006. 120 p.

21. Rayner A.D.M., Boddy L. *Fungal Decomposition of Wood: Its Biology and Ecology*. Wiley. 1988. 587 p.

22. Yorston F.N. Studies on Sulfite Pulping. *Dominion Forest Service Bulletin*, 1942, no. 97, pp. 20–29.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest



Краткое сообщение

УДК 630\*8

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-163-174

## Влияние выборочных рубок на ресурсный потенциал черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. в Приморском районе Архангельской области

А.А. Ковригина<sup>1</sup>, аспирант; ResearcherID: [MVW-1673-2025](https://orcid.org/0009-0007-1273-4190),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1273-4190>

Е.Н. Наквасина<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [A-5165-2013](https://orcid.org/0000-0002-7360-3975),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7360-3975>

С.В. Третьяков<sup>1,2</sup>, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAE-3861-2021](https://orcid.org/0000-0001-5982-3114),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; kovrigina96@inbox.ru, e.nakvasina@narfu.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru<sup>✉</sup>


<sup>2</sup>Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; s.v.tretyakov@narfu.ru<sup>✉</sup>

Поступила в редакцию 18.02.25 / Одобрена после рецензирования 11.05.25 / Принята к печати 15.05.25

**Аннотация.** Изучен ресурсный потенциал черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в лесах Приморского района Архангельской области в насаждениях, где были проведены выборочные рубки, и на контрольных участках леса без осуществления рубок. Сбор экспериментальных данных велся методом пробных площадей. В пределах 6 пробных площадей было заложено 90 учетных площадок размером 0,45 × 0,45 м. На каждой учетной площадке устанавливали проективное покрытие видов живого напочвенного покрова, их встречаемость, надземную фитомассу побегов и листьев черники обыкновенной путем взятия опытных образцов. В камеральных условиях определяли массу побегов и массу листьев *Vaccinium myrtillus* L., размеры и массу 100 шт. здоровых ягод черники. Выявлено, что коэффициент встречаемости черники обыкновенной составил 100 % для всех исследуемых участков леса. На площадях, пройденных выборочными рубками, зафиксированы наибольшие надземная фитомасса побегов и листьев черники обыкновенной, а также густота поросли и текущая урожайность ягод. В то же время прирост побегов черники обыкновенной выше на контрольных участках. Таким образом, насаждения, пройденные выборочными рубками, обладают большими ресурсами черники, чем насаждения, где рубки не осуществлялись. Проведенные наблюдения позволят повысить точность оценки ресурсного потенциала черники обыкновенной.

**Ключевые слова:** черника обыкновенная, *Vaccinium myrtillus* L., выборочные рубки, ресурсный потенциал черники обыкновенной, живой напочвенный покров, проективное покрытие, фитомасса черники, масса побегов, масса листьев, масса ягод, Архангельская область

© Ковригина А.А., Наквасина Е.Н., Третьяков С.В., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Благодарности:** Публикация подготовлена по результатам НИР, выполненной в рамках госзадания ФБУ «СевНИИЛХ» на проведение прикладных научных исследований в сфере деятельности Федерального агентства лесного хозяйства. Регистрационный номер темы: 123030700068-8. Таксационная характеристика пробных площадей в ельниках черничных, где были проведены рубки ухода, предоставлена магистрантами Н.И. Царевым и У.Е. Поповой.

**Для цитирования:** Ковригина А.А., Наквасина Е.Н., Третьяков С.В. Влияние выборочных рубок на ресурсный потенциал черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. в Приморском районе Архангельской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 163–174. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-163-174>

Brief report

## The Effect of Selective Logging on the Resource Potential of Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region

*Alyona A. Kovrigina*<sup>1</sup>, Postgraduate Student; ResearcherID: [MVW-1673-2025](https://orcid.org/0009-0007-1273-4190),  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1273-4190>

*Elena N. Nakvasina*<sup>1</sup>, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [A-5165-2013](https://orcid.org/0000-0002-7360-3975),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7360-3975>

*Sergey V. Tretyakov*<sup>1,2</sup>, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAE-3861-2021](https://orcid.org/0000-0001-5982-3114),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5982-3114>

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University Named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; kovrigina96@inbox.ru, e.nakvasina@narfu.ru, s.v.tretyakov@narfu.ru<sup>✉</sup>

<sup>2</sup>Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, Russian Federation, 163062; s.v.tretyakov@narfu.ru<sup>✉</sup>

---

Received on February 18, 2025 / Approved after reviewing on May 11, 2025 / Accepted on May 15, 2025

---

**Abstract.** This study investigates the long-term transformation of the resource potential of blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) following selective logging in the northern taiga ecosystems of the Arkhangelsk region. While blueberry is a key non-timber forest resource, its recovery dynamics after mechanized harvesting remain understudied in high-latitude forests. The research was conducted in the Primorsky district, comparing forest stands twelve years post-selective logging with undisturbed control plots. The methodology involved a systematic assessment of 115 test plots (0.20 m<sup>2</sup> each) to evaluate the structural and biometric response of the species. The results reveal a significant shift in the population structure of *Vaccinium myrtillus* L. The projective cover – a primary indicator of resource abundance – decreased nearly threefold, dropping from 32.5 % in the control to 12.5 % in the logged areas. Conversely, the species demonstrated a pronounced vegetative resilience: shoot density in logged stands reached 346 shoots/m<sup>2</sup>, nearly doubling the 175 shoots/m<sup>2</sup> found in the control. Furthermore, biometric indicators of individual shoots improved in the post-logging environment; the average shoot height increased from 18.1 to 21.3 cm. The mean leaf phytomass increased from 0.11 to 0.24 g, likely as an adaptive response to increased light availability. However, the study identifies a critical reproduction-vegetation gap. Despite

the vigorous vegetative recovery and increased biomass per shoot, the reproductive output remained severely compromised. The berry yield in logged areas was recorded at only 1.3 kg/ha, compared to 50.1 kg/ha in the undisturbed control. These findings lead to the conclusion that a twelve-year interval is insufficient for the restoration of the commercial fruit-bearing potential of blueberry in the northern taiga. The study highlights that while selective logging may stimulate vegetative growth and increase shoot density, it causes a long-term disruption of the ecological conditions necessary for stable berry production.

**Keywords:** blueberry, *Vaccinium myrtillus* L., selective logging, resource potential of blueberry, living ground cover, projective coating, phytomass of blueberry, mass of shoots, mass of leaves, mass of berries, Arkhangelsk Region

**Acknowledgements:** This research was carried out as part of the state assignment to the Northern Research Institute of Forestry (SevNIILKh) for applied scientific research commissioned by the Federal Forestry Agency (State Registration No. 123030700068-8).

**For citation:** Kovrigina A.A., Nakvasina E.N., Tretyakov S.V. The Effect of Selective Logging on the Resource Potential of Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 163–174. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-163-174>

### Введение

В настоящее время как в России, так и за рубежом наблюдается устойчивая тенденция развития рынка недревесных пищевых продуктов, преимущественно дикорастущих плодов и ягод [11]. Использование недревесных ресурсов лесов для Архангельской области приобретает все большее значение и способствует росту экономического потенциала лесного хозяйства региона.

Одним из основных компонентов недревесных лесных ресурсов выступают дикорастущие ягодники. В лесах Архангельской области встречается около 20 видов ягод, среди которых большой практический интерес представляет черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) [1, 6–8]. Архангельская область относится к территориям с наиболее высокими запасами черники обыкновенной. По данным лесоустройства, в лесах на землях лесного фонда области годовой биологический ресурс пищевых лесных дикоросов составляет: всего ягод – 52 466 т, из них черники – 31 860 т [9].

Вопросами урожайности *Vaccinium myrtillus* L. в различных условиях произрастания в Архангельской области в разные периоды занимались такие ученые, как Л.Е. Астрологова, И.Н. Лукин, В.В. Беляев, В.В. Старицын, Е.В. Торопова и др. [1, 2, 12–14, 16, 17]. Многолетние наблюдения (с 1974 г.) за плодоношением черники в Архангельской области проведены Л.Е. Астрологовой на стационарных пробных площадях в спелых сосняках черничных северной и средней подзон тайги [2]. В 2019 г. Е.В. Тороповой, В.В. Старицыным исследованы проблемы формирования урожая черники обыкновенной на границе леса и вырубке [17]. Также урожайность *Vaccinium myrtillus* L. рассмотрена финскими учеными М. Halainen, К. Salo, Т. Pukkala, О. Saastamoinen, J. Miina, J.P. Hotanen, М. Turtiainen, Т.Н. Wallenius [21–30].

В Северном научно-исследовательском институте лесного хозяйства накоплен большой опыт изучения недревесных ресурсов леса. В результате проведения полевых исследований и обработки огромного количества экспериментального материала разработан целый ряд нормативов для комплексной оценки недревесных ресурсов леса, в т. ч. пищевых продуктов и лекарственных растений [3].

Исследования влияния хозяйственной деятельности, в частности рубок ухода, на запасы черники обыкновенной проводились как на территории России, так и во многих зарубежных странах. В результате было установлено положительное влияние проходных рубок на урожайность и проективное покрытие черничников [11]. Изучение сырьевых ресурсов ягод, в т. ч. *Vaccinium myrtillus* L., на ценопопуляционном уровне, их изменения под воздействием лесохозяйственных мероприятий, позволит прогнозировать урожай, определять биологическую продуктивность ягодников для их рационального использования [2].

Целью данной работы является изучение ресурсного потенциала черники обыкновенной как одного из перспективных видов для организации заготовки пищевых и лекарственных ресурсов леса на Севере в насаждениях, пройденных выборочными рубками, и в насаждениях, где рубки не проводились.

#### *Объекты и методы исследования*

Наблюдения за плодоношением черники обыкновенной выполняли в Усть-Двинском участковом лесничестве Приморского района Архангельской области в районе д. Малые Карелы на участках лесных насаждений с выполнением и без выполнения рубок ухода.

На участке с рубками ухода 1-й прием рубки части древостоя осуществлен в 1973 г., 2-й, с прорубанием технологических коридоров (волоков), между которыми в пасаках производилась выборка древесины в объеме 21 % – в 2002 г. Волока шириной 4–5 м предусматривались через каждые 30 и 40 м в направлении восток–запад [15, 20]. Исследования [4, 15, 20] показали, что рубки ухода существенным образом изменили световой режим в насаждениях: освещенность на волоках в 1,4 раза выше, чем на пасаках. При интенсивности рубки 25–28 % освещенность увеличилась в 1,5–2 раза. Таким образом, рубки ухода приводят к появлению светолюбивых видов. При этом доминантом травяно-кустарничкового яруса в ельниках чернично-зеленомошных на пасаках остается черника [4], урожайность которой увеличивается.

Таксационная характеристика контрольных пробных площадей (ПП) взята из «Таксационного описания Усть-Двинского участкового лесничества Архангельского лесничества (Архангельский филиал ФГБУ «Рослесинфорг», Лесоустройство 2021 года, г. Архангельск)» и уточнялась путем закладки круговых реласкопических площадок [18].

Всего заложено 6 ПП, из них 3 ПП (ПП 1–3) – в насаждениях на пасаках, где были проведены выборочные рубки, и 3 контрольные (ПП 4–6) – в насаждениях, где рубки не осуществлялись (табл. 1).

Таблица 1

#### **Таксационная характеристика ельников черничных на участках, пройденных рубками, и в контрольных насаждениях** **Taxation characteristics of blueberry spruce forests in logged areas and control stands**

ПП	Порода	Возраст, лет	Среднее		Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Состав древостоя	Бонитет
			диаметр, см	высота, м				
1	Е	70	14,7	12,6	0,7	111	8Е1Б1С	III–IV
	С	80	26,8	21,0	0,1	39		
	Б	70	15,3	16,9	0,1	17		

Окончание табл. 1

ПП	Порода	Возраст, лет	Среднее		Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Состав дровостоя	Бонитет
			диаметр, см	высота, м				
2	Е	70	16,2	15,2	0,3	70	8Е1Б1С	IV
	С	70	28,7	15,9	0,2	62		
	Б	90	16,0	17,7	0,1	31		
3	Е	80	15,9	14,9	0,4	94	8Е1Б1С	III–IV
	С	80	31,7	20,6	0,3	101		
	Б	80	15,5	17,3	0,1	30		
4	Е	160	24,0	19,0	0,3	105	5Е2С2Б1Ос	IV
	С	170	28,0	22,0	0,1	42		
	Б	120	20,0	19,0	0,1	42		
	Ос	130	32,0	23,0	–	21		
5	Е	160	24,0	19,0	0,3	107	5Е2С2Б1Ос	IV
	С	160	30,0	22,5	0,1	43		
	Б	125	21,0	20,0	0,1	43		
	Ос	130	30,0	22,5	–	22		
6	Е	165	23,5	20,0	0,4	126	6Е2С2Б+Ос	IV
	С	165	29,0	21,0	0,1	42		
	Б	120	20,0	19,0	0,1	42		
	Ос	130	30,0	22,0	–	10		

На каждой ПП закладывали по 15 учетных площадок размером 0,45 × 0,45 м. На площадках определяли проективное покрытие черники обыкновенной и сопутствующих видов живого напочвенного покрова, срезали ее побеги с определением их надземной фитомассы, фитомассы листьев, также измеряли густоту покрытия и высоту побегов в соответствии с возрастом.

Для установления абсолютно сухой фитомассы побегов и листьев черники обыкновенной отбирали навески, которые высушивали до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

Для учета текущей урожайности черники обыкновенной собирали ягоды с каждой учетной площадки. В камеральных условиях ягоды распределяли по 3 категориям: здоровые, поврежденные, незрелые – и взвешивали. Массу 100 ягод определяли расчетным путем.

Изучали биометрические показатели ягод черники. В обработку включали товарные (здоровые) и нетоварные (поврежденные) экземпляры плодов черники в соответствии с методикой [10].

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.8.2 (Россия).

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка. Те показатели, выборочное распределение которых соответствовало нормальному, описывались с помощью средних арифметических величин (М) и стандартных отклонений (SD). В качестве меры репрезентативности для средних значений указывались границы 95%-го доверительного интервала (95 % ДИ). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные анализировались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1–Q3).

*Результаты исследования и их обсуждение*

В травяно-кустарничковом ярусе на всех пробных площадях преобладает черника обыкновенная (встречаемость 100 %). Проективное покрытие побегов черники в среднем для 3 участков леса, пройденных рубками ухода, составило от 54 до 80 %, для контрольных участков леса (лесных насаждений) – от 55 до 69 %.

Сопутствующие породы для черники обыкновенной – это брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) с проективным покрытием для участков леса, пройденных рубками, от 1,3 до 2,7 %, для контрольных проб – от 1,0 до 3,5 %. Также встречаются подмаренник северный (*Galium boreale* L.), линнея северная (*Linnaea borealis* L.), ожика лесная (*Luzula sylvatica* Huds.) с проективным покрытием от 0,5 до 1 %. В мохово-лишайниковом ярусе отмечены дикранум метловидный (*Dicranum scoparium* Hedw.) – от 0,5 до 94 %, плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt.) – от 0,5 до 95 %, гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.) – от 1 до 98 %.

Для данного исследования значительный интерес представляет индекс сходства видового состава живого напочвенного покрова для участков леса, пройденных рубками ухода, и контрольных участков леса (лесных насаждений).

По данным Н.В. Буровой и П.А. Феклистова, в идентичных ельниках, пройденных рубками, видовое богатство травяно-кустарничкового яруса увеличилось до 45 видов. В естественных ельниках черничных индекс Шеннона для напочвенного покрова составляет 0,88, в сообществах, пройденных рубками – 0,92–0,93. Это объясняется тем, что механизированная рубка леса создает множество разнообразных элементарных местообитаний, позволяющих внедриться и на некоторое время закрепиться видам, отсутствовавшим в сообществе до рубки [4].

По нашим данным, при сравнении живого напочвенного покрова на участках, пройденных рубками ухода, и в естественных насаждениях коэффициент Жаккара составил 0,77, коэффициент Сьеренсена – 0,87. Полученные результаты характеризуются большим соответствием видового состава живого напочвенного покрова. По показателям биоразнообразия лесорастительные условия пробных площадей представляют собой единую, достаточно однородную выборку, что позволяет проводить корректное сравнение биологических особенностей черники и ее урожайности.

Одними из важных показателей, характеризующих биомассу и продуктивность дикорастущих ягодников, является проективное покрытие побегов и их высота. Для черники этот показатель имеет большое значение, т. к. биомасса листьев и побегов данного вида выступает в качестве ценного лекарственного сырья. Для анализа закономерностей строения была осуществлена группировка данных по высоте и численности побегов в соответствии с возрастом *Vaccinium myrtillus* L. (табл. 2).

Анализ высоты черники обыкновенной показал, что прирост побегов в возрасте 1–2 года преобладает на участках леса, пройденных рубками ухода, однако на контрольных участках леса (лесных насаждений) размеры побегов в возрасте более 3 лет незначительно выше. Проективное покрытие побегов больше на участках леса, пройденных рубками.

Таблица 2

**Средние высота и численность побегов черники обыкновенной  
на участках, пройденных рубками, и в контрольных насаждениях  
Average height and density of blueberry shoots in selective logging areas  
and control stands**

ПП	Возраст побегов, лет	Высота побегов				Численность побегов			
		M±SD / Ме, см		95 % ДИ / Q1–Q3, %		M±SD / Ме, шт.		95 % ДИ / Q1–Q3, %	
		21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль
1	1	10,60	8,98±1,92	8,10–12,40	8,41–9,56	14,60±8,02	8,00	10,16–19,04	7,00–11,00
	2–3	19,95±3,14	16,73±3,08	19,01–20,89	15,80–17,65	21,00	11,00	19,50–24,00	6,00–11,50
	3 и более	33,53±6,27	35,50	31,65–35,42	31,70–40,50	20,93±6,18	15,00±4,60	17,51–24,36	12,45–17,55
2	1	11,19±2,46	9,20±1,75	10,45–11,93	8,67–9,73	17,07±9,65	12,00	11,72–22,41	9,00–14,00
	2–3	20,43±3,61	16,54±3,07	19,35–21,52	15,62–17,47	20,40±8,90	11,00	15,47–25,33	9,50–14,50
	3 и более	36,30±5,88	37,20±8,46	34,53–38,07	34,66–39,75	14,80±3,80	10,60±2,85	12,69–16,91	9,02–12,18
3	1	13,20±2,44	8,60	12,47–13,94	7,10–10,40	36,13±11,52	11,47±4,94	29,75–42,51	8,73–14,20
	2–3	21,57±2,73	16,49±3,05	20,75–22,39	15,57–17,40	10,00	10,60±5,14	8,50–15,50	7,75–13,45
	3 и более	35,22±6,88	35,50±9,24	33,15–37,28	32,73–38,27	7,00	10,13±2,36	6,50–9,50	8,83–11,44

Для учета депонирования углерода черникой обыкновенной, опада, пожарной опасности, хозяйственной значимости вида как источника получения лекарственного сырья и ягод важно иметь сведения о фитомассе живого напочвенного покрова [5, 11, 19]. Чтобы определить влияние рубок ухода на надземную фитомассу черники обыкновенной провели анализ этого показателя на участках леса, пройденных рубками, и на контрольных участках. Были определены средняя надземная фитомасса побегов и листьев черники (табл. 3).

Таблица 3

**Средняя надземная фитомасса листьев и побегов черники обыкновенной  
на участках, пройденных рубками, и в контрольных насаждениях  
Average aboveground phytomass of blueberry leaves and shoots in selective logging  
areas and control stands**

ПП	Возраст побегов, лет	Масса побегов				Масса листьев			
		M±SD / Ме, г		95 % ДИ / Q1–Q3, %		M±SD / Ме, г		95 % ДИ / Q1–Q3, %	
		21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль
1	1	3,03±1,57	1,29	2,16–3,90	0,83–1,36	–	–	–	–
	2–3	15,88±4,18	4,79±2,44	13,57–18,20	3,44–6,14	3,31±1,15	0,88±0,44	2,67–3,95	0,64–1,12
	3 и более	60,01±23,52	51,83	46,99–73,04	41,53–64,66	11,23±4,76	9,73±5,65	8,60–13,87	6,60–12,86

Окончание табл. 3

ПП	Возраст побегов, лет	Масса побегов				Масса листьев			
		M±SD / Ме, г		95 % ДИ / Q1-Q3, %		M±SD / Ме, г		95 % ДИ / Q1-Q3, %	
		21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль
2	1	3,06	1,43	2,25–3,85	1,31–1,90	–	–	–	–
	2–3	16,62±7,93	6,36±3,01	12,23–21,01	4,70–8,02	2,83±1,89	1,37±0,84	1,78–3,88	0,91–1,84
	3 и более	54,66±13,75	33,84	47,04–62,27	28,48–51,08	9,10±3,26	6,25±2,40	7,29–10,90	4,92–7,58
3	1	8,38	1,53±0,74	7,44–9,17	1,12–1,94	–	–	–	–
	2–3	13,64±8,30	5,38±2,81	9,05–18,24	3,82–6,94	2,18	0,97	1,02–3,24	0,59–1,30
	3 и более	34,49±14,18	40,07±12,55	26,64–42,34	33,12–47,02	5,86±2,72	4,98±1,07	4,36–7,37	4,38–5,57

Наибольшая надземная фитомасса побегов и листьев у черники обыкновенной зафиксирована для участков леса, пройденных рубками ухода. Это закономерное, т. к. густота поросли черники также преобладает на этих участках.

Выборочные рубки меняют освещенность под пологом древостоя, что, в свою очередь, оказывает влияние на чернику в насаждениях, пройденных выборочными рубками, по сравнению с нетронутым насаждением.

Проанализировали среднее количество и массу ягод черники обыкновенной, чтобы доказать, что выборочные рубки положительно влияют и на урожайность вида (табл. 4, 5).

Для оценки различий средних количества и массы ягод на участках с проведением рубок ухода и в контрольных насаждениях использовали t-критерий Стьюдента. Установили с вероятностью 0,95, что различие в среднем количестве ягод черники обыкновенной в насаждении, пройденном рубками ухода, достоверно больше, чем в насаждении без рубки ( $t_{\phi} > t_{\text{кр}} = 2,24 > 2,0$ ). Средняя масса ягод в насаждениях с рубкой существенно превышает показатели для контроля. Различие доказано на 95%-м уровне значимости ( $t_{\phi} > t_{\text{кр}} = 3,76 > 2,0$ ).

Таблица 4

**Среднее количество ягод черники обыкновенной на участках, пройденных рубками, и в контрольных насаждениях**  
Average number of blueberry berries in selective logging areas and control stands

ПП	Количество ягод, шт./м <sup>2</sup>		Количество здоровых ягод			
			M ± SD / Ме, шт./м <sup>2</sup>		95 % ДИ / Q1–Q2, %	
	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль
1	41,07±3,63	31,40±5,15	26,40±12,24	15,00	19,62–33,18	5,00–17,50
2	49,53±6,09	23,93±3,77	29,73±18,21	7,00	19,65–39,82	5,00–12,00
3	30,40±8,30	34,20±5,43	11,00	22,53 ± 12,87	6,50–12,50	15,40–29,66

Таблица 5

**Средняя масса ягод черники обыкновенной  
на участках, пройденных рубками, и в контрольных насаждениях**  
**Average mass of blueberry berries in selective logging areas and control stands**

ПП	Масса ягод, г/м <sup>2</sup>		Масса здоровых ягод			
			M±SD / Ме, г/м <sup>2</sup>		95 % ДИ / Q1–Q3, %	
	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль	21 год после рубки	контроль
1	14,40±1,38	7,15±0,98	10,28±4,85	3,47±2,63	7,60–12,96	2,01–4,92
2	14,99±1,98	6,02±0,89	9,94±6,27	2,00	6,47–13,41	1,30–3,40
3	8,01±2,11	9,69±1,32	2,40	6,87 ± 3,47	1,60–4,80	4,95–8,79

На участках с проведенными рубками ухода среднее количество и масса ягод обеспечивают больший урожай *Vaccinium myrtillus* L. по сравнению с контрольными насаждениями.

#### Заключение

Таким образом, насаждения, пройденные рубками ухода, обладают большими ресурсами черники обыкновенной, чем насаждения, где рубки не проводились. Выборочные рубки меняют степень освещенности под пологом древостоя, что, в свою очередь, оказывает влияние на произрастание и продуктивность *Vaccinium myrtillus* L. Рубки ухода положительно влияют на густоту поросли, повышают урожайность черники.

Выполненные для Приморского района Архангельской области наблюдения позволяют повысить точность оценки ресурсного потенциала дикорастущих ягодников.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Астрологова Л.Е. Влияние экологических факторов среды на плодоношение черники // Изв. вузов. Лесн. журн. 1999. № 2–3. С. 35–40.

Astrologova L.E. The Influence of Environmental Factors on Blueberry Fruiting. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 1999, no. 2–3, pp. 35–40. (In Russ.).

2. Астрологова Л.Е. Урожайность черники в сосняках черничных Архангельской области в 2010–2011 годах // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: САФУ, 2012. Вып. 15. С. 72–74.

Astrologova L.E. Blueberry Yield in Blueberry Pine Forests of the Arkhangelsk Region in 2010–2011. *Ecological Problems of the Arctic and Northern Territories: An Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2012, iss. 15, pp. 72–74. (In Russ.).

3. Богданов А.П., Демидова Н.А., Третьяков С.В., Ильинцев А.С. Повышение продуктивности и доходности лесов путем содействия использованию недревесных лесных ресурсов Арктической зоны Архангельской области // Растительный покров Европейского Севера и Арктики: XIV Перфильевские науч. чтения, посвящ. 140-летию со дня рождения Ивана Александровича Перфильева: сб. материалов Межрегион. науч. конф. Архангельск: Консультат. информ.-реклам. агентство, 2022. С. 241–246.

Bogdanov A.P., Demidova N.A., Tretyakov S.V., Ilyintsev A.S. Increasing Productivity and Profitability of Forests by Promoting the Use of Non-Timber Forest Resources in the Arctic Zone of the Arkhangelsk Region. *Vegetation Cover of the European North and the Arctic: XIV Perfiliev Scientific Readings Dedicated to the 140th Anniversary of Ivan Alexandrovich Perfiliev: Proceedings of the Interregional Scientific Conference*. Arkhangelsk, Limited Liability Company Consulting Information and Advertising Agency, 2022, pp. 241–246. (In Russ.).

4. Бурова Н.В., Феклистов П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов: моногр. Архангельск: АГТУ, 2007. 263 с.

Burova N.V., Feklistov P.A. *Anthropogenic Transformation of Suburban Forests: A Monograph*. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2007. 263 p. (In Russ.).

5. Егошина Т.Л. Недревесные растительные ресурсы России. М.: НИА-Природа, 2005. 84 с.

Egoshina T.L. *Non-Woody Plant Resources of Russia*. Moscow, NIA-Priroda Publ., 2005. 84 p. (In Russ.).

6. Ковригина А.А. Ресурсный потенциал черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. в Приморском районе Архангельской области // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых высшей школы естественных наук и технологий САФУ – 2024: сб. материалов науч.-практ. конф. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2024. С. 104–107.

Kovrigina A.A. The Resource Potential of the Blueberry *Vaccinium myrtillus* L. in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region. *Lomonosov Scientific Readings of Students, Postgraduates and Young Scientists of the Higher School of Natural Sciences and Technologies of NarFU – 2024: Proceedings of the Scientific and Practical Conference*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2024, pp. 104–107. (In Russ.).

7. Ковригина А.А., Попов А.Г., Третьяков С.В. Оценка ресурсного потенциала дикорастущих ягодников Приморского района Архангельской области // Лесное хозяйство: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотр. и аспирантов (с Междунар. участием). Минск: Беларус. гос. технол. ун-т, 2024. С. 164–166.

Kovrigina A.A., Popov A.G., Tretyakov S.V. Assessment of the Resource Potential of Wild Berries in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region. *Forestry: Proceedings of the 88th Scientific and Technical Conference of Faculty, Researchers and Postgraduates (With International Participation)*. Minsk: Belarusian State Technological University, 2024, pp. 164–166. (In Russ.).

8. Ковригина А.А., Третьяков С.В. Оценка ресурсного потенциала черники обыкновенной *Vaccinium myrtillus* L. в Приморском районе Архангельской области // Инженеры России и Беларуси: сила в сотрудничестве: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2024. С. 100–103.

Kovrigina A.A., Tretyakov S.V. Assessment of the Resource Potential of Blueberry *Vaccinium myrtillus* L. in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region. *Engineers of Russia and Belarus: The Power of Cooperation: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2024, pp. 100–103. (In Russ.).

9. Лесной план Архангельской области на 2019–2028 годы. Режим доступа: [https://yadi.sk/i/644OpWpLehILOA\\_13](https://yadi.sk/i/644OpWpLehILOA_13) (дата обращения: 18.02.26).

*Forest Plan of the Arkhangelsk Region for 2019–2028*. Available at: <https://yadi.sk/i/644OpWpLehILOA> (accessed 18.02.26). (In Russ.).

10. Негрбов В.В. Ресурсоведение лекарственных растений. Воронеж: ВГУ, 2015. 57 с.  
Negrobov V.V. *Resource Management of Medicinal Plants: Educational and Methodical Manual for Universities*. Voronezh, VSU Publ., 2015. 57 p. (In Russ.).

11. Панин И.А., Аржанников Ю.А., Боярский А.А., Грудцын А.А. Влияние проходных рубок на ресурсы черники обыкновенной Североуральской среднегорной лесорастительной провинции // Леса России и хозяйство в них. 2021. № 1(76). С. 4–12.

Panin I.A., Arzhannikov Yu.A., Boyarskiy A.A., Grudtsyn A.A. The Influence of Logging on the Resources of the Common Blueberry of the North Ural Mid-Mountain Forest Province. *Lesn Rossii i Khozyaystvo v Nih* = Forests of Russia and Agriculture in Them, 2021, no. 1(76), pp. 4–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.51318/FRET.2021.31.56.002>

12. Рекомендации по учету, прогнозированию и сбору недревесной продукции леса / сост. И.Н. Лукин, В.Г. Чертовской. Архангельск, 1975. 43 с.

Lukin I.N., Chertovskoy V.G. *Recommendations on Accounting, Forecasting and Collection of Non-Timber Forest Products*. Arkhangelsk, 1975. 43 p. (In Russ.).

13. Старицын В.В., Беляев В.В. Показатели урожайности черники (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусники (*Vaccinium vitisidaea* L.) на территории Плесецкого тектонического узла Архангельской области // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: САФУ, 2012. Вып. 15. С. 69–71.

Staritsyn V.V., Belyaev V.V. Yield Indicators of Blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and Lingonberries (*Vaccinium vitisidaea* L.) in the Territory of the Plesetsk Tectonic Node of the Arkhangelsk Region. *Ecological Problems of the Arctic and Northern Territories: an Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Arkhangelsk, NARFU Publ., 2012, iss. 15, pp. 69–71. (In Russ.).

14. Старицын В.В., Торопова Е.В. Особенности плодоношения черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в подзоне Северной тайги Архангельской области // II Лаврёвские чтения – Арктика: актуальные проблемы и вызовы: сб. науч. материалов Всерос. конф. с Междунар. участием. Архангельск: Типография № 2, 2023. С. 602–605.

Staritsyn V.V., Toropova E.V. Features of Fruiting of Blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) in the Northern Taiga Subzone of the Arkhangelsk Region. *II Laverov Readings. Arctic: Current Problems and Challenges: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation*. Arkhangelsk, Printing House No. 2, 2023, pp. 602–605. (In Russ.).

15. Торбик Д.Н., Феклистов П.А. Влияние обновительных рубок ухода на некоторые элементы микроклимата в ельниках черничных // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2009. № 1. С. 85–88.

Torbik D.N., Feklistov P.A. The Influence of Renewal Logging on Some Elements of the Microclimate in Blueberry Spruce Forests. *Lesnoy Vestnik* = Forestry Bulletin, 2009, no. 1, pp. 85–88. (In Russ.).

16. Торопова Е.В., Старицын В.В. Урожайность *Vaccinium vitis-idaea* L. по трансекте: ельник черничный – опушка – вырубка // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: материалы I Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. Т. 2. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2018. С. 93–96.

Toropova E.V., Staritsyn V.V. Yield of *Vaccinium vitis-idaea* L. According to the Transect: Blueberry Spruce Forest – Edge – Cutting. *Arctic Research: From Extensive Development to Integrated Development: Proceedings of the I International Youth Scientific and Practical Conference*. Vol. 2. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2018, pp. 93–96. (In Russ.).

17. Торопова Е.В., Старицын В.В. Продуктивность черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.) в экотонной зоне вырубki // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: сб. материалов Всерос. конф. с междунар. участием II Юдахинские чтения. Архангельск: ОМ-медиа, 2019. С. 407–412.

Toropova E.V., Staritsyn V.V. Productivity of Blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) in the Ecotone Cutting Zone. *Problems of Ensuring Environmental Safety and Sustainable Development of Arctic Territories: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation II Yudakhinsky Readings*. Arkhangelsk, OM-media, 2019, pp. 407–412. (In Russ.).

18. Третьяков С.В., Коптев С.В., Наквасина Е.Н., Бахтин А.А., Ильинцев А.С., Богданов А.П., Кекишева Ю.Е. Лесная таксация. Ч. 4. Закладка, таксация и описание

пробных площадей при проведении научных исследований и подготовке выпускных квалификационных работ. Архангельск: САФУ, 2023. 119 с.

Tretyakov S.V., Koptev S.V., Nakvasina E.N., Bakhtin A.A., Ilyintsev A.S., Bogdanov A.P., Kekisheva U.E. Forest Taxation. Part 4. *Laying, Taxation and Description of Test Areas during Scientific Research and Preparation of Final Qualifying Papers: A Textbook*. Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2023. 119 p. (In Russ.).

19. Трофимова И.Л., Кощеева У.П., Нагимов З.Я. Надземная фитомасса сосновых насаждений в различных типах леса в условиях Среднего Урала // Аграрн. вестн. Урала. 2012. № 8(100). С. 55–58.

Trofimova I.L., Koshcheeva U.P., Nagimov Z.Ya. Aboveground Phytomass of Pine Plantations in Various Types of Forests in the Conditions of the Middle Urals. *Agrarnyy Vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals, 2012, no. 8(100), pp. 55–58. (In Russ.).

20. Феклистов П.А., Шаньгина Н.П., Торбик Д.Н. Естественное лесовозобновление в сосняках черничных, пройденных проходными рубками ухода. Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2010. № 3. С. 150–153.

Feklistov P.A., Shangina N.P., Torbik D.N. Natural Reforestation in Blueberry Pine Forests, Which Have Been Traversed by Through-Cuttings of Care. *Lesnoy Vestnik* = Forestry Bulletin, 2010, no. 3, pp. 150–153. (In Russ.).

21. Ihalainen M., Pukkala T., Saastamoinen O. Regional Expert Models for Bilberry and Cowberry Yields in Finland. *Boreal Environment Research*, 2005, no. 10, pp. 145–158.

22. Ihalainen M., Salo K., Pukkala T. Empirical Prediction Models for *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea* Berry Yields in North Karelia. *Silva Fennica*, 2003, vol. 37, no. 1, pp. 95–108. <https://doi.org/10.14214/sf.513>

23. Miina J., Hotanen J.P., Salo K. Modelling the Abundance and Temporal Variation in the Production of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish Mineral Soil Forests. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 4, pp. 577–593. <https://doi.org/10.14214/sf.181>

24. Miina J., Pukkala T., Hotanen J.P., Salo K. Optimizing the Joint Production of Timber and Bilberries. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, no. 10, pp. 2065–2071. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.017>

25. Miina J., Pukkala T., Kurttila M. Optimal Multi-Product Management of Stands Producing Timber and Wild Berries. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, pp. 781–794. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0972-9>

26. Turtiainen M., Miina J., Salo K., Hotanen J.P. Modelling the Coverage and Annual Variation in Bilberry Yield in Finland. *Silva Fennica*, 2016, vol. 50, no. 4, art. id 1573. 12 p. <https://doi.org/10.14214/sf.1573>

27. Turtiainen M., Salo K., Saastamoinen O. *Model-Based Estimates of Regional and National Bilberry and Lingonberry Yields on Mineral Soils in Finland*. Joensuu, University of Joensuu, Faculty of Forestry, Research Notes, 2005. 44 p.

28. Turtiainen M., Salo K., Saastamoinen O. National and Regional Estimates of Blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and Lingonberry (*V. vitis-idaea* L.) Yields on Peatlands in Finland. *Suo*, 2007, vol. 58, no. 3–4, pp. 87–98.

29. Turtiainen M., Salo K., Saastamoinen O. Variations of Yield and Utilisation of Bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and Cowberries (*V. vitis-idaea* L.) in Finland. *Silva Fennica*, 2011, vol. 45, no. 2, pp. 237–251. <https://doi.org/10.14214/sf.115>

30. Wallenius T.H. Yield Variations of Some Common Wild Berries in Finland in 1956–1996. *Annales Botanici Fennici*, 1999, vol. 36, pp. 299–314.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

**Вклад авторов:** Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
**Authors' Contribution:** All authors contributed equally to the manuscript

Краткое сообщение

УДК 635.925(477.62)

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-175-188

## Видовое разнообразие и состояние дендрофлоры парка г. Донецка

Л.В. Хархота<sup>✉</sup>, канд. биол. наук; ResearcherID: [MFI-9710-2025](https://orcid.org/0000-0002-8399-1617),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8399-1617>

С.П. Жуков, канд. биол. наук; ResearcherID: [MGV-7000-2025](https://orcid.org/0009-0003-1653-6424),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1653-6424>

О.А. Гридько, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [MFI-9828-2025](https://orcid.org/0009-0003-3360-3588),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3360-3588>

Донецкий ботанический сад, просп. Ильича, д. 110, г. Донецк, Донецкая Народная Республика, Россия, 283023; [ludmilaharhota@yandex.ru](mailto:ludmilaharhota@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [ser64luk@yandex.ru](mailto:ser64luk@yandex.ru), [grydko@mail.ru](mailto:grydko@mail.ru)

---

Поступила в редакцию 12.03.25 / Одобрена после рецензирования 06.06.25 / Принята к печати 09.06.25

---

**Аннотация.** Обследованы зеленые насаждения парка Шахтостроителей г. Донецка с целью анализа видового состава, оценки состояния и декоративности древесно-кустарниковых растений парка. Работы проводили в июне–сентябре 2024 г. маршрутно-визуальным методом с перечетом деревьев и кустарников каждой породы. Индексы жизненного состояния древесных растений рассчитывали по общепринятой методике – по числу деревьев. В насаждениях парка выявлено 32 вида, 1 подвид, 4 формы и 1 разновидность деревьев, относящихся к 23 родам, 13 семействам, и 5 видов кустарников из 5 родов, 4 семейств. Всего в парке произрастает 1432 дерева и 1502 кустарника. Ландшафтные композиции древесных растений представлены рядовыми и групповыми посадками, живой изгородью. Самой распространенной в насаждениях древесной породой является *Aesculus hippocastanum* L. (226 экземпляров), из кустарников – *Philadelphus coronarius* L. (30 экземпляров). Индекс жизненного состояния *Populus balsamifera* L., *Prunus padus* L., *Salix alba* L. и рядовой посадки *Populus bolleana* Lauche меньше 0,49, что соответствует сильно поврежденному состоянию и обусловлено недолговечностью данных видов в условиях региона. Здоровые деревья преобладают в групповых посадках *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer campestre* L., *A. platanoides* L. (аборигенные виды); *Aesculus hippocastanum*, *Morus alba* L., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (адвентивная фракция местной флоры). Состояние кустарников здоровое и ослабленное. По результатам оценки декоративных качеств доминируют растения, декоративные в течение всего периода вегетации (37 %). Отмечено повреждение *Aesculus hippocastanum* каштановой минирующей молью, что приводит к значительной утрате декоративности растений в летний период. Даны рекомендации по улучшению состояния, сохранению и восстановлению насаждений парка.

**Ключевые слова:** парк, зеленые насаждения, деревья, кустарники, видовой состав, жизненное состояние, декоративность растений, г. Донецк, парк Шахтостроителей

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ «Донецкий ботанический сад» по теме «Комплексное изучение биоресурсного потенциала растений мировой флоры для содействия экологической стабилизации и устойчивого развития Донбасса», рег. № 126020616725-0.

*Для цитирования:* Хархота Л.В., Жуков С.П., Гридько О.А. Видовое разнообразие и состояние дендрофлоры парка г. Донецка // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 175–188. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-175-188>

Brief report

## Species Diversity and Condition of the Dendroflora of the Donetsk City Park

*Lyudmila V. Kharkhota*<sup>✉</sup>, Candidate of Biology; ResearcherID: [MFI-9710-2025](https://orcid.org/0000-0002-8399-1617),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8399-1617>

*Sergej P. Zhukov*, Candidate of Biology; ResearcherID: [MGV-7000-2025](https://orcid.org/0009-0003-1653-6424),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1653-6424>

*Olga A. Hrydko*, Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [MFI-9828-2025](https://orcid.org/0009-0003-3360-3588),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3360-3588>

Federal State Budgetary Scientific Institution "Donetsk Botanical Garden", ul. Ply-icha, 110, Donetsk, Donetskaya Narodnaya Respublika, Russian Federation, 283023; [ludmilaharkhota@yandex.ru](mailto:ludmilaharkhota@yandex.ru)<sup>✉</sup>, [ser64luk@yandex.ru](mailto:ser64luk@yandex.ru), [grydko@mail.ru](mailto:grydko@mail.ru)

---

Received on March 12, 2025 / Approved after reviewing on June 6, 2025 / Accepted on June 9, 2025

---

**Abstract.** The paper presents a survey of the green spaces in Shakhtostroiteley Park in the city of Donetsk. The aim of the work was to analyze the species composition, assess the vital condition, and identify the ornamental traits of trees and shrubs in the park. The survey was carried out between June and September 2024 using a visual route method with an inventory of trees and shrubs of each species. Vitality indices of woody plants were calculated according to the generally accepted methodology based on the number of individual trees. The study identified 32 species, 1 subspecies, 4 forms, and 1 variety of trees belonging to 23 genera and 13 families, as well as 5 species of shrubs from 5 genera and 4 families. A total of 1,432 trees and 1,502 shrubs grow in the park. Landscape compositions are represented by row and group plantings and hedges. The most common tree species is *Aesculus hippocastanum* L. (226 specimens); among shrubs, *Philadelphus coronarius* L. (30 specimens) is the most widespread. The vitality indices of *Populus balsamifera* L., *Prunus padus* L., *Salix alba* L., and a row planting of *Populus bolleana* Lauche are less than 0.49, which indicates a heavily damaged condition due to the age and limited longevity of these species under the regional conditions. Healthy trees predominate in group plantings of *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Acer campestre* L., and *A. platanoides* L. (native species), as well as *Aesculus hippocastanum*, *Morus alba* L., and *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle (adventive fraction of the local flora). The condition of the shrubs is characterized as healthy or weakened. According to the assessment of decorative qualities, plants that remain ornamental throughout the entire growing season dominate (37 %). Significant damage to *Aesculus hippocastanum* caused by the horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) was recorded, leading to a loss of decorativeness in summer. Recommendations are given for improving the condition, conservation, and restoration of the park's plantings.

**Keywords:** park, green spaces, trees, shrubs, species composition, vital state, decorativeness, Donetsk, Shakhtostroiteley Park

**Acknowledgements:** The research was implemented within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Donetsk Botanical Garden" on the topic "Comprehensive study of the bioresource potential of plants in the global flora to facilitate environmental stability and sustainable development in Donbas", Reg. № 126020616725-0.

**For citation:** Kharkhota L.V., Zhukov S.P., Hrydko O.A. Species Diversity and Condition of the Dendroflora of the Donetsk City Park. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 175–188. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-175-188>

### *Введение*

Зеленые насаждения города как важная часть его экологического каркаса занимают важнейшее место в решении проблемы благоустройства и достижения комфортности проживания населения. Древесные растения городских озелененных пространств способствуют оздоровлению среды, улучшают экологические, микроклиматические и санитарно-гигиенические условия. Урбанодендрофлора формирует культурный ландшафт современного города. Следовательно, организация озеленения городских пространств представляет собой одну из эффективных рекреационных мер, предупреждает негативные природные явления и ослабляет техногенную нагрузку на окружающую среду [3, 6, 11, 18, 21, 24, 26].

Древесные растения насаждений г. Донецка находятся в специфических условиях южной степной зоны. Решающими лимитирующими факторами среды для них являются обеспеченность влагой в летний период и резкие колебания температуры зимой и ранней весной [11]. Усилению действия указанных факторов способствует изменение климата в течение последних лет: увеличение безморозного периода, участвовавшие оттепели, заморозки в апреле–мае, рост максимальных температур до 40 °С в мае–августе, засуха. Сопряженное действие экстремальных природных и техногенных факторов обуславливает потерю устойчивости растениями и их ослабление, поражение вредителями и болезнями, уменьшение продуктивности и жизнеспособности и, как следствие, приводит к сокращению периода вегетации и продолжительности жизни, преждевременному старению и гибели растений [8, 11, 18, 22, 25, 26]. Также отметим, что большая часть деревьев, высаженная в городе в середине XX в., достигла критического возраста, в связи с чем возникла необходимость замены насаждений.

Роль растений в оптимизации городской среды, проблема устойчивости и состояние урбанодендрофлоры обсуждаются в работах ведущих ученых – сотрудников ботанических садов, научных институтов и лабораторий России, Беларуси и других стран [3, 6, 8, 11, 17, 18, 22, 23, 27, 28]. Это направление является приоритетным в деятельности ботанических садов мира и становится предпосылкой для успешного решения задачи озеленения городов. В 2011–2014 гг. в Донецком ботаническом саду проводились работы по оценке видового разнообразия и состояния древесных растений зеленых насаждений [4, 5, 11–14, 18, 19, 26, 27]. Вопросы восстановления полифункциональности древесных насаждений в трансформированной городской среде г. Донецка остаются актуальными, их научное решение обеспечит сохранение регионального биоразнообразия древесных растений и повысит эффективность использования дендроресурсов для оптимизации техногенной среды.

Основу озеленения городского ландшафта составляют парки, сведения об актуальном количественном составе и качественном состоянии дендрофлоры которых зачастую ограничены. Это снижает эффективность управленческих решений в вопросах охраны зеленых насаждений, ухода за ними и подбора ас-

сортимента, реконструкции объектов озеленения. Поддержание, восстановление и сохранение городских зеленых насаждений требует регулярного мониторинга состояния урбанодендрофлоры.

Цель работы – анализ видового состава, оценка жизненного состояния и декоративности древесно-кустарниковых растений парка Шахтостроителей г. Донецка.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектами исследования стали древесные растения парка Шахтостроителей, расположенного в северо-восточной части г. Донецка, в Калининском районе – одном из центральных и густонаселенных районов города. Парк занимает квартал между улицами Владычанского, Марии Ульяновой, Овнатаняна и Краснофлотской и разделен на 2 части улицей Антипова. Достоверных сведений о том, когда был основан парк, нет. Считается, что он появился в 1960-е гг. на территории, прилегающей к Калиновой балке, сформированной левым притоком реки Кальмиус – речкой Бутовой. В настоящее время его площадь составляет около 9 га.

Парк Шахтостроителей – популярное место для семейного отдыха жителей близлежащих микрорайонов. Расположение парка и его структура создают условия для беспрепятственного транзитного перемещения горожан, кратковременного и прогулочного отдыха, сочетания активного и тихого досуга взрослых и маленьких посетителей.

Обследование растительности парка проводили маршрутным методом в июне–сентябре 2024 г. Определяли диаметр ствола и высоту деревьев и кустарников, количество растений. Анализ дендрофлоры по жизненным формам осуществляли по И.Г. Серебрякову [15], географический анализ первичных ареалов видов – согласно флористическому районированию А.Л. Тахтаджяна [16]. Для оценки жизненного состояния растений использовали общепринятую шкалу категорий [1, 2]: 1 – хорошее, без признаков повреждений кроны и ствола; 2 – поврежденное или ослабленное (удовлетворительное); 3 – сильно поврежденное (неудовлетворительное); 4 – отмирающее, сухое. Индекс жизненного состояния рассчитывали по формуле:

$$I_n = \frac{n_1 + 0,7n_2 + 0,4n_3 + 0,1n_4}{n},$$

где  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$ ,  $n$  – количество здоровых, поврежденных, сильно поврежденных, отмирающих и общее количество деревьев (кустарников) соответственно.

При  $I_n$  от 1,0 до 0,8 состояние оценивалось как здоровое, при 0,79–0,50 – поврежденное, 0,49–0,20 – сильно поврежденное, < 0,2 – разрушенное или полностью деградированное.

Оценку декоративности проводили по шкале Н.В. Котеловой, Н.С. Гречко [7]: Д4 – растения декоративны в течение всего года; Д3 – в течение вегетационного периода; Д2 – только в отдельные периоды сезона; Д1 – декоративные лишь по отдельным признакам.

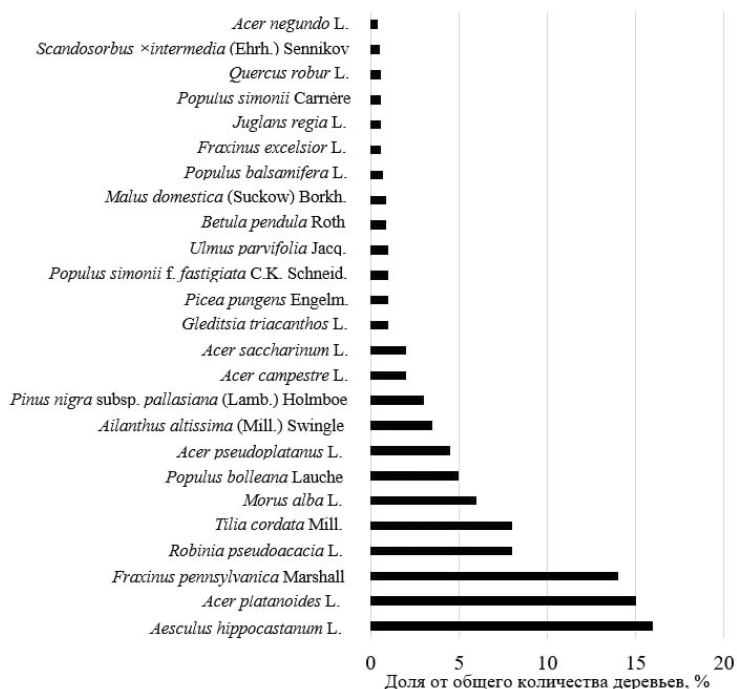
Номенклатура таксонов приведена согласно [20].

## Результаты исследования и их обсуждение

В составе дендрофлоры парка отмечено 32 вида, 1 подвида, 4 формы и 1 разновидность деревьев, относящихся к 23 родам, 13 семействам, в т. ч. 3 вида и 1 подвид хвойных из 3 родов, 2 семейств; и 5 видов кустарников из 5 родов, 4 семейств. Всего в парке произрастает 1432 дерева и 1502 кустарника (в т. ч. 1420 шт. в составе живой изгороди). Плотность деревьев составляет 159 шт./га, кустарников – 167 шт./га, что значительно ниже норм посадки деревьев и кустарников в городских парках степной зоны в соответствии с приказом госстроя РФ от 15.12.99 № 153. Наибольшим видовым разнообразием характеризуется семейство Rosaceae – 7 видов, относящиеся к 6 родам: на территории парка сформирована группа из 14 деревьев *Malus domestica* (Suckow) Borkh., остальные представители семейства встречаются в смешанных групповых посадках, и их общее количество составляет 2 % от всех деревьев. Семейство Sapindaceae насчитывает 6 видов и 2 формы 2 родов и имеет наибольшее количество растений – 587 экземпляров, что составляет 41 % от общего количества деревьев. К семейству Salicaceae относятся 5 видов, произрастающих на территории парка, и 1 форма из 2 родов (8 % от общего количества), к Oleaceae – 3 вида, 1 форма и 1 разновидность (15 %), к Fabaceae – 2 вида (9 %), к Pinaceae – 2 вида и 1 подвид (5 %). Доля участия остальных семейств – по 1 виду.

Самой распространенной в посадках парка древесной породой является *Aesculus hippocastanum* L. – 226 экземпляров, что составляет 16 % от общего количества деревьев в парке; *Acer platanoides* L. представлен 215 экземплярами, *Fraxinus pennsylvanica* Marshall – 199, *Robinia pseudoacacia* L. и *Tilia cordata* Mill. – по 111 экземпляров. На диаграмме отмечены таксоны, количество растений которых в насаждениях парка больше 10 экземпляров (рис. 1).

Рис. 1.  
Представленность  
древесных пород  
в насаждениях парка  
Шахтостроителей  
г. Донецка, 2024 г.  
Fig. 1. Representation  
of tree species  
in the plantings  
of Shakhtostroiteley  
Park in the city  
of Donetsk, 2024



Единичными растениями (1–5 экземпляров) представлены *Acer platanoides* f. *globosum* (G.Nicholson) Schwer., *A. pseudoplatanus* f. *purpureum* (Loudon) Rehder, *Fraxinus excelsior* f. *pendula* (Aiton) Schelle, *F. excelsior* var. *diversifolia* Aiton, *Juniperus virginiana* L., *Pinus sylvestris* L., *Platanus* × *hybrida* Brot., *Populus nigra* L., *Prunus armeniaca* L., *P. padus* L., *Pyrus communis* L., *Salix alba* L., *Sorbus aucuparia* L.

Свободнорастущие кустарники встречаются небольшими группами по 3–5 экземпляров. Доминируют *Philadelphus coronarius* L. и *Syringa vulgaris* L., которые составляют соответственно 37 и 27 % от общего количества кустарников. Также отмечены *Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) Zabel – 23 % и *Cornus alba* L. – 13 %.

В насаждениях парка преобладают листопадные растения – 88 % (38 таксонов), вечнозеленые представлены 3 видами и 1 подвидом – *Juniperus virginiana*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *P. sylvestris* и *Picea pungens* Engelm.

Результаты оценки состояния древесных растений парка приведены в таблице.

**Состояние деревьев и кустарников, произрастающих  
в парке Шахтостроителей г. Донецка  
Assessment of the vital condition of trees and shrubs growing  
in Shakhtostroiteley Park in the city of Donetsk**

Таксон	Семейство	Количество деревьев, шт., категории состояния				Всего деревьев, шт.	Индекс
		1	2	3	4		
<i>Деревья</i>							
<i>Juniperus virginiana</i> L.	Cupressaceae	2	2	–	–	4	0,85
<i>Picea pungens</i> Engelm.	Pinaceae	6	6	5	–	17	0,72
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> (Lamb.) Holmboe		37	5	1	–	43	0,95
<i>P. sylvestris</i> L.		–	1	–	–	1	0,70
<i>Betula pendula</i> Roth	Betulaceae	2	6	4	1	13	0,61
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	Fabaceae	13	4	–	–	17	0,93
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.		46	38	21	6	111	0,74
<i>Quercus robur</i> L.	Fagaceae	9	–	–	–	9	1,00
<i>Juglans regia</i> L.	Juglandaceae	6	1	2	–	9	0,83
<i>Tilia cordata</i> Mill.	Malvaceae	102	4	3	2	111	0,96
<i>Morus alba</i> L.	Moraceae	47	33	7	–	87	0,84
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	Oleaceae	4	5	–	–	9	0,83
<i>F. excelsior</i> f. <i>pendula</i> (Aiton) Schelle		1	–	–	–	1	1,00
<i>F. excelsior</i> var. <i>diversifolia</i> Aiton		2	1	–	–	3	0,90
<i>F. pennsylvanica</i> Marshall		109	68	22	–	199	0,83
<i>Platanus</i> × <i>hybrida</i> Brot.	Platanaceae	1	–	–	–	1	1,00
<i>Malus domestica</i> (Suckow) Borkh.	Rosaceae	9	2	1	2	14	0,79
<i>Prunus armeniaca</i> L.		2	–	–	–	2	1,00
<i>P. padus</i> L.		–	1	3	–	4	0,48
<i>Pyrus communis</i> L.		1	–	–	–	1	1,00

Окончание таблицы

Таксон	Семейство	Количество деревьев, шт., категории состояния				Всего деревьев, шт.	Индекс
		1	2	3	4		
<i>Scandosorbus</i> × <i>intermedia</i> (Ehrh.) Sennikov	Rosaceae	5	1	1	–	7	0,87
<i>Sorbus aucuparia</i> L.		–	1	–	–	1	0,70
<i>Salix alba</i> L.	Salicaceae	–	–	4	–	4	0,40
<i>Populus balsamifera</i> L.		–	5	2	3	10	0,46
<i>P. bolleana</i> Lauche		4	20	20	30	74	0,39
<i>P. nigra</i> L.		1	2	–	–	3	0,80
<i>P. simonii</i> Carrière		1	2	3	–	6	0,60
<i>P. simonii</i> f. <i>fastigiata</i> C.K. Schneid.		4	9	3	2	18	0,65
<i>Acer campestre</i> L.		Sapindaceae	25	9	1	–	35
<i>A. negundo</i> L.	1		4	2	–	7	0,66
<i>A. platanoides</i> L.	186		20	8	1	215	0,95
<i>A. platanoides</i> f. <i>globosum</i> (G.Nicholson) Schwer.	3		–	–	–	3	1,00
<i>A. pseudoplatanus</i> L.	48		14	3	–	65	0,91
<i>A. pseudoplatanus</i> f. <i>purpureum</i> (Loudon) Rehder	3		–	–	–	3	1,00
<i>A. saccharinum</i> L.	19		8	5	1	33	0,81
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	191		30	5	–	226	0,95
<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	Simaroubaceae	39	7	4	–	50	0,91
<i>Ulmus parvifolia</i> Jacq.	Ulmaceae	12	2	1	1	16	0,87
<i>Итого</i>		939	311	133	49	1432	0,85
<i>Кустарники</i>							
<i>Cornus alba</i> L.	Cornaceae	980	68	48	1	1097	0,95
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	Hydrangeaceae	28	2	–	–	30	0,98
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	Oleaceae	282	34	18	–	334	0,94
<i>Syringa vulgaris</i> L.		14	8	–	–	22	0,89
<i>Spiraea</i> × <i>vanhouttei</i> (Briot) Zabel	Rosaceae	19	–	–	–	19	1,00
<i>Итого</i>		1323	112	66	1	1502	0,95

Посадки деревьев и кустарников в парке проводились в 1960–1970-е гг. При подборе ассортимента предпочтение отдавалось видам, устойчивым к техногенному воздействию [8, 11], атмосферным и почвенным засухам, засолению почв, светолюбивым и быстрорастущим, из которых можно было за короткий срок сформировать зеленые насаждения на большой площади. Такой подход к озеленению города типичен для индустриального периода. Массовые посадки в последующие годы на территории парка не осуществлялись. Молодые растения *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus* L., *Fraxinus pennsylvanica*, *Robinia pseudoacacia* имеют порослевое и самосевное происхождение или высажены стихийно жителями города (*Platanus* × *hybrida*, *Morus alba* L.). В разных участках парка встречается корневая поросль и сеянцы инвазивного вида *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, которые зачастую нарушают заложенную структуру посадок, вырастая в живых изгородях, среди групп кустарников, на газонах.

В сильно поврежденном состоянии находятся деревья *Salix alba*, *Populus bolleana* Lauche, *P. balsamifera* L., *Prunus padus*, у которых отмечено массовое усыхание скелетных ветвей, изменение формы кроны, рост водяных побегов на стволах и поросли из корневой шейки. Это в большей степени обусловлено возрастом деревьев, недолговечностью данных видов в условиях региона, а для *Populus bolleana* также близостью к проезжей части (автомобильные дороги с низкой интенсивностью транспортного потока) [11, 12, 14].

Значительное количество поврежденных деревьев отмечено для *Betula pendula* Roth, *Populus simonii* Carrière и его пирамидальной формы, *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia*, наступление сенильной стадии у которых в условиях региона отмечается в возрасте 30–40 лет [11]. Поврежденные и сильно поврежденные деревья обнаружены в загущенных групповых посадках *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Aesculus hippocastanum*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Morus alba*, *Picea pungens*. Среди деревьев *Picea pungens* также отмечены экземпляры с рублеными макушками.

Здоровым жизненным состоянием, несмотря на возраст, отличаются *Quercus robur* L., *Tilia cordata*, *Acer campestre* L., *A. platanoides* – аборигенные виды; и *Aesculus hippocastanum*, *Morus alba*, *Ailanthus altissima*, представляющие адвентивную фракцию местной флоры [9]. Деревья *Aesculus hippocastanum* – самого распространенного вида в насаждениях парка – в последние годы сильно повреждаются каштановой минирующей молью (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic), что вызывает значительную потерю их декоративности в летний период. Гибели растений не наблюдается, весной деревья распускаются, обильно цветут, в сентябре часто отмечается повторное, но необильное цветение.

На территории парка также зафиксированы участки общей площадью 500 м<sup>2</sup>, примыкающие к заброшенным с 2014 г. зданиям предприятий питания и проведения досуга и покрытые молодой порослью *Acer negundo*, *Cornus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus parvifolia* Jacq.

Ассортимент кустарников в насаждениях парка не отличается разнообразием и представлен видами, популярными в городском озеленении в годы его основания. Большая часть кустарников имеет здоровое (88 %) и поврежденное (7 %) состояние.

Согласно результатам географического анализа первичных ареалов видов, в насаждениях парка произрастают представители Циркумбореальной (10 видов, или 27 % от общего количества видов), Северо-Атлантической (7 видов, или 19 %), Восточноазиатской (4 вида, или 11 %) флористических областей. По 1 виду происходят из Средиземноморской области и области Скалистых гор. Ареал 10 видов охватывает несколько флористических областей. Есть также 23 вида (62 %) местной флоры, в т. ч. 11 видов адвентивной фракции [9, 10]. Видовой состав и происхождение древесных растений парка Шахтостроителей г. Донецка следующие:

<i>Acer campestre</i> L. ....	аборигенный вид
<i>A. negundo</i> L. ....	Северная Америка, адвентивная фракция флоры региона (агриофит, эргазиолипофит)
<i>A. platanoides</i> L. ....	аборигенный вид
<i>A. pseudoplatanus</i> L. ....	Карпаты; Кавказ; средняя, южная и юго-восточная части Западной Европы; северное побережье Малой Азии
<i>A. saccharinum</i> L. ....	Северная Америка

- Aesculus hippocastanum* L. .... Балканский полуостров, адвентивная фракция флоры региона
- Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle ..... Китай, адвентивная фракция флоры региона (эпекофит, эргазиофитофит)
- Betula pendula* Roth ..... аборигенный вид
- Cornus alba* L. .... европейская часть России, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Монголия, северная Корея, Япония, северо-восточный Китай
- Fraxinus excelsior* L. .... аборигенный вид
- F. pennsylvanica* Marshall ..... Северная Америка
- Gleditsia triacanthos* L. .... Северная Америка
- Juglans regia* L. .... Средняя Азия, Балканский полуостров, Иран, Афганистан, Гималаи, Корея, Китай, Япония, адвентивная фракция флоры региона
- Juniperus virginiana* L. .... Северная Америка
- Ligustrum vulgare* L. .... аборигенный вид
- Malus domestica* (Suckow) Borkh. .... в культуре, адвентивная фракция флоры региона (колонофит-эпекофит, эргазиофитофит)
- Morus alba* L. .... Япония, Китай, Индия, Малая Азия, адвентивная фракция флоры региона (эпекофит; эргазиофитофит)
- Philadelphus coronarius* L. .... европейская часть России, юг Сибири, Закавказье, Малая Азия, адвентивная фракция флоры региона (колонофит-эпекофит, эргазиолипофит)
- Picea pungens* Engelm. .... Скалистые горы (Северная Америка)
- Pinus sylvestris* L. .... аборигенный вид
- Populus balsamifera* L. .... Северная Америка
- P. bolleana* Lauche ..... Средняя Азия, Тянь-Шань
- P. nigra* L. .... аборигенный вид
- P. simonii* Carrière ..... Восток и юго-восток Казахстана, Корея, восток Монголии
- Prunus armeniaca* L. .... Средняя Азия (Западный и Восточный Тянь-Шань), Тибет, Северный Китай, адвентивная фракция флоры региона (эпекофит, эргазиофитофит)
- P. padus* L. .... аборигенный вид
- Pyrus communis* L. .... аборигенный вид
- Quercus robur* L. .... аборигенный вид
- Robinia pseudoacacia* L. .... Северная Америка, адвентивная фракция флоры региона (агриофит, эргазиолипофит)
- Salix alba* L. .... аборигенный вид
- Sorbus aucuparia* L. .... Европа, Крым, Кавказ, Малая Азия, Северная Африка, адвентивная фракция флоры региона (колонофит-эпекофит, эргазиолипофит)
- Syringa vulgaris* L. .... Карпаты, Балканский полуостров, адвентивная фракция флоры региона (эпекофит, эргазиолипофит)
- Tilia cordata* Mill. .... аборигенный вид
- Ulmus parvifolia* Jacq. .... Корея, Япония, северный и центральный Китай

Декоративные качества древесных растений играют наиболее важную роль при создании парковых композиций, оказывая значительное эстетическое воздействие на посетителей парка. По результатам оценки декоративных качеств древесных растений по шкале [7], в основу которой положено восприятие растений как элемента садовой архитектуры, оценку 1 балл декоративности (Д1) получили 6 видов – *Acer negundo*, *Ligustrum vulgare*, *Morus alba*, *Populus nigra*, *P. simonii*, *P. balsamifera*; 4 балла (Д4) – 11 таксонов: *Acer platanoides* f. *globosum*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior* f. *pendula*, *Platanus* × *hybrida*, *Populus bolleana*, *Quercus robur*, *Spiraea* × *vanhouttei*, *Juniperus virginiana*, *Pinus nigra*

subsp. *pallasiana*, *P. sylvestris* и *Picea pungens*. Декоративны в течение всего периода вегетации 16 таксонов (Д3), в т. ч. представители рода *Acer*, *Aesculus hippocastanum*, *Tilia cordata* и др.; в отдельные сезоны (Д2) – *Prunus padus*, *Robinia pseudoacacia*, *Syringa vulgaris* и др. (рис. 2).

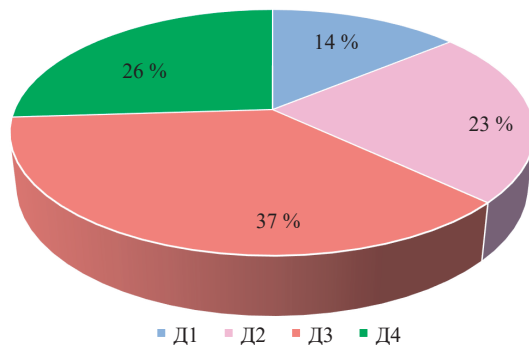


Рис. 2. Оценка декоративности древесных растений парка Шахтостроителей г. Донецка, 2024 г.

Fig. 2. Evaluation of the decorativeness of woody plants in Shakhthostroyteley Park in the city of Donetsk, 2024

Парк Шахтостроителей имеет прямоугольную форму. Дорожно-тропиночная сеть состоит из основной, второстепенной и дополнительных пешеходных дорог. Сеть тропинок и узких асфальтовых дорожек обрамляет отдельные группы деревьев.

Растения расположены в виде рядовых и групповых посадок, а также включены в живые изгороди. Рядовые посадки сформированы из *Acer platanoides*, *Aesculus hippocastanum* и *Fraxinus pennsylvanica*. По периметру парка с южной и восточной сторон проходит рядовая посадка деревьев *Populus bolleana*, примыкающая к автомобильным дорогам.

Чистые группы в парке сформированы из *Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *A. saccharinum* L., *Aesculus hippocastanum*, *Ailanthus altissima*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Gleditsia triacanthos* L., *Malus domestica*, *Morus alba*, *Pinus nigra* subsp. *pallasiana*, *Quercus robur*, *Robinia pseudoacacia*, *Tilia cordata*.

По периметру парк с южной стороны окружает двухрядная изгородь из стриженных кустарников *Cornus alba* и *Ligustrum vulgare* L., с северной и западной стороны – однорядная изгородь из *C. alba*.

Из агротехнических мероприятий по уходу за зелеными насаждениями в парке периодически проводилась обрезка сухих ветвей деревьев, удаление сухих растений, покос травы и стрижка изгороди. Ремонт дорожно-тропиночной сети не осуществлялся, не высаживались молодые растения, как на территории парка, так и в оголившихся участках живой изгороди, клумба в центре верхней части парка заросла сорной растительностью. В 1990-е гг. была произведена замена лавочек и обустроена небольшая детская площадка.

В качестве мероприятий, направленных на улучшение санитарного состояния парка, можно рекомендовать удаление сухих и в неудовлетворительном состоянии деревьев и кустарников с заменой молодыми растениями, обрезку сухих ветвей, регулярный мониторинг состояния растений, проведение лечебных мероприятий при появлении признаков повреждения (стволовая гниль, трещины, сухобокость, дупла и др.). Повысить ландшафтно-архитектурную выразительность паркового пространства можно за счет восстановления декоративных древесных групп и создания новых, замены линейной посадки по периметру парка и выпавших растений в живой изгороди, цветочного оформле-

ния пустующей клумбы, расширения ассортимента растений хвойными и красивоцветущими или декоративно-лиственными деревьями и кустарниками.

В случае реконструкции парка желательно провести модернизацию дорожно-тропиночной сети, благоустройство детской площадки и обогатить территорию малыми архитектурными формами, в т. ч. в сочетании с лиановидными растениями.

С учетом регулярного поражения *Aesculus hippocastanum* минирующей молью следует постепенно снижать его количество и заменить этот вид другими устойчивыми декоративными растениями. Необходима целенаправленная работа по уничтожению поросли *Ailanthus altissima*, поскольку применяемые методы борьбы (скашивание) неэффективны. Растения данного вида отличаются быстрым ростом, нарушают структуру посадок, снижают эстетические качества объекта в целом.

### Заключение

Дендрофлора парка Шахтостроителей г. Донецка представлена 37 видами, 1 подвидом, 4 формами и 1 разновидностью, относящимися к 28 родам, 17 семействам.

В насаждениях преобладают листопадные растения – 88 % (38 таксонов). Из жизненных форм преобладают деревья (38 таксонов из 23 родов, 13 семейств). По происхождению виды принадлежат к 5 флористическим областям, наибольшими по числу экземпляров являются Циркумбореальная (27 %) и Северо-Атлантическая (19 %).

Доминирующими видами в насаждениях парка стали *Aesculus hippocastanum* (16 %), *Acer platanoides* (15 %) и *Fraxinus pennsylvanica* (14 %), репрезентативность 27 таксонов растений не превышает 1 %. Значительно участие видов, сохраняющих декоративность в течение всего периода вегетации (37 %). Ландшафтные композиции растений представлены в виде групповых и рядовых посадок, живых изгородей.

Индекс жизненного состояния *Populus balsamifera*, *Prunus padus*, *Salix alba* и рядовой посадки *Populus bolleana* меньше 0,49, что соответствует сильно поврежденному состоянию и обусловлено недолговечностью данных видов в условиях региона. Здоровые деревья преобладают в групповых посадках *Quercus robur*, *Tilia cordata*, *Acer campestre*, *A. platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Morus alba*, *Ailanthus altissima*. Состояние кустарников здоровое и ослабленное.

Для улучшения санитарного состояния парка рекомендовано удаление сухих и неудовлетворительных по состоянию деревьев и кустарников с заменой их молодыми растениями (в т. ч. видами, которых пока нет в парке), обрезка сухих ветвей, регулярный мониторинг состояния растений, проведение лечебных мероприятий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Alekseev V.A. Diagnostics of the Vital Condition of Trees and Stands. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 1989, no. 4, pp. 51–57. (In Russ.).

2. Андреева Е.Н., Баккал И.Ю., Горшков В.В., Лянгузова И.В., Мазная Е.А., Нешатаев В.Ю., Ярмишко В.Т., Ярмишко М.А. Методы изучения лесных сообществ: моногр. СПб.: НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.

Andreeva E.N., Bakkal I.Yu., Gorshkov V.V., Lyanguzova I.V., Maznaya E.A., Neshataev V.Yu., Yarmishko V.T., Yarmishko M.A. *Methods of Studying Forest Communities: Monograph*. St. Petersburg, Research Institute of Chemistry, St. Petersburg State University Publ., 2002. 240 p. (In Russ.).

3. Гаранович И. Древесные растения в антропогенном ландшафте // Наука и инновации. 2024. № 7. С. 61–67.

Garanovich I. Woody Plants in the Anthropogenic Landscape. *Nauka i innovatsii = Science and Innovations*, 2024, no. 7, pp. 61–67. (In Russ.).

4. Глухов А.З., Хархота Л.В., Пастернак Г.А., Лихацкая Е.Н. Современное состояние дендрофлоры г. Донецка // СамНЦ. 2016. № 2(15). С. 20–24.

Glukhov A.Z., Kharkhota L.V., Pasternak G.A., Likhatskaya E.N. Current State Of Dendroflora of the City of Donetsk. *Samarskiy nauchnyi vestnik = Samara Science Bulletin*, 2016, no. 2(15), pp. 20–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/snv20162104>

5. Глухов А.З., Хархота Л.В., Пастернак Г.А., Лихацкая Е.Н. Современное состояние дендрофлоры г. Харьцызска // Промышл. бот. 2016. Вып. 15–16. С. 39–47.

Glukhov A.Z., Kharkhota L.V., Pasternak G.A., Likhatskaya E.N. The Current State of Dendroflora of the Town of Khartsyzsk. *Promyshlennaya botanika = Industrial Botany*, 2016, iss. 15–16, pp. 39–47. (In Russ.).

6. Ерзин И.В., Разумовский Ю.В. О функциях системы озелененных и природных территорий: терминология и классификация // Лесн. вестн. / Forestry Bulletin. 2018. Т. 22, № 4. С. 59–67.

Erzin I.V., Razumovsky Yu.V. On the Functions of as System of Green and Natural Areas: Terminology and Classification. *Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 4, pp. 59–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-4-59-67>

7. Котелова Н.В., Гречко Н.С. Оценка декоративности // Цветоводство. 1969. № 10. С. 11–12.

Kotelova N.V., Grechko N.S. Evaluation of Decorativeness. *Tsvetovodstvo = Floriculture*, 1969, no. 10, pp. 11–12. (In Russ.).

8. Кулагин Ю.З. Древесные растения и промышленная среда. М.: Наука, 1974. 125 с. Kulagin Yu.Z. *Woody Plants and Industrial Environment*. Moscow, Nauka Publ., 1974. 125 p. (In Russ.).

9. Остапко В.М., Бойко А.В., Мосякин С.Л. Сосудистые растения юго-востока Украины. Донецк: Ноулидж, 2010. 247 с.

Ostapko V.M., Boiko G.V., Mosyakin S.L. *Vascular Plants of The South-East of Ukraine*. Donetsk, Noulig Publ., 2010. 247 p. (In Russ.).

10. Остапко В.М., Еременко Ю.А. Конспект адвентивной фракции дендрофлоры юго-востока Украины // Промышл. бот. 2010. Вып. 10. С. 42–48.

Ostapko V.M., Yeriomenko Yu.A. The Notes on Dendroflora of the Southeast of Ukraine Adventive Fraction. *Promyshlennaya botanika = Industrial Botany*, 2010, vol. 10, pp. 42–48. (In Russ.).

11. Поляков А.К. Интродукция древесных растений в условиях техногенной среды. Донецк: Ноулидж, 2009. 268 с.

Polyakov A.K. *Introduction of Woody and Shrub Plants in Conditions of Technogenic Environment*. Donetsk, Noulig Publ., 2009. 268 p. (In Russ.).

12. Поляков А.К., Суслова Е.П. Состояние древесных растений в условиях техногенного воздействия и принципы формирования устойчивых насаждений // Промышл. бот. 2004. Т. 4. С. 72–78.

Polyakov A.K., Suslova Ye.P. State of Arboreal Plants Under Conditions of Technogenic Impact and Principles of Forming Resistant Stands. *Promyshlennaya botanika = Industrial Botany*, 2004, vol. 4, pp. 72–78. (In Russ.).

13. Поляков А.К., Сулова Е.П. Видовой состав древесных растений в дендропарке Маяцкого лесничества (Донецкая область) // Промышл. бот. 2011. Т. 11. С. 185–190.

Polyakov A.K., Suslova Ye.P. The Species Composition of Woody Plants in the Dendropark of Mayackiy Forestry in Donetsk Region. *Promyshlennaya botanika* = Industrial Botany, 2011, vol. 11, pp. 185–190. (In Russ.).

14. Поляков А.К., Сулова Е.П., Хархота Л.В. Виды семейства Rosaceae Juss. в насаждениях парков и скверов промышленных городов юго-востока Украины // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер.: Лісівництво та декоративне садівництво. 2015. Вип. 219. С. 247–255.

Polyakov A.K., Suslova Ye.P., Kharkhota L.V. The Family Rosaceae Juss. in the Parkland of Industrial Cities in the East Ukraine. *Naukovij visnik Natsional'nogo universitetu bioresursiv i priroдокористування України. Seriya «Lisivnitstvo ta dekorativne sadivnitstvo»* = Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Natural History of Ukraine. Series "Forestry and Decorative Gardening", 2015, iss. 219, pp. 247–255. (In Russ.).

15. Серебряков И.Г. Экологическая морфология растений. М.: Высш. шк., 1962. 380 с.

Serebryakov I.G. *Ecological Morphology of Plants*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1962. 380 p. (In Russ.).

16. Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 248 с.

Takhtadzhyan A.L. *Floristic Regions of the Earth*. Leningrad, Nauka Publ., 1978. 248 p. (In Russ.).

17. Коршиков И.И., Гнатів П.С. Урботехногенне середовище як інтегральний чинник пристосування рослин // Промышл. бот. 2003. Вып. 3. С. 78–82.

Korshykov I.I., Hnativ P.S. Urbotechnogenic Environment as the Integrated Factor of the Adaptation of Plants. *Promyshlennaya botanika* = Industrial Botany, 2003, vol. 3, pp. 78–82. (In Ukr.).

18. Коршиков И.И., Сулова О.П., Петрушкевич Ю.М. Деревні рослини в умовах промислових міст степу: моногр. Одеса: Гельветика, 2020. 456 с.

Korshykov I.I., Suslova O.P., Petrushkevych Yu.M. *Woody Plants in the Conditions of Industrial Cities of the Steppe: Monograph*. Odesa, Helvetica Publ., 2020. 456 p. (In Ukr.).

19. Сулова О.П., Поляков О.К., Нецветов М.В., Дацько О.М., Лихацька О.М. Життєздатність деревних рослин у міських вуличних насадженнях на південному сході України // Промышл. бот. 2012. Вып. 12. С. 12–18.

Suslova O.P., Polyakov O.K., Netsvetov M.V., Datsko O.M., Lykhatska O.M. Viability of Woody Plants in Urban Street Stands in the South-East of Ukraine. *Promyshlennaya botanika* = Industrial Botany, 2012, vol. 12, pp. 12–18. (In Ukr.).

20. *Catalogue of Life COL Version: 2024-12-19*. Available at: <http://www.catalogueof-life.org/> (accessed 04.01.25).

21. Chiesa A. The Role of Urban Parks for the Sustainable City. *Landscape and Urban Planning*, 2004, no. 68, pp. 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003>

22. Ha J., Martinez H. Influence of Environmental Pollution on Leaf Properties of Urban Trees in China and USA: A Comparative Study Using Stomatal Density. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 2018, vol. 8, no. 6, pp. 1–7.

23. Ignatieva M., Konechnaya G. Floristic Investigations of Historical Parks in St. Petersburg, Russia. *Urban Habitats*, 2004, vol. 2, no. 1, pp. 174–216.

24. Jim C.Y. Sustainable Urban Greening Strategies for Compact Cities in Developing and Developed Economies. *Urban Ecosystems*, 2013, vol. 16, pp. 741–761.

<https://doi.org/10.1007/s11252-012-0268-x>

25. Mage D., Ozolins G., Peterson P., Webster A., Orthofer R., Vandeweerd V., Gwynne M. Urban Air Pollution in Megacities of the World. *Atmospheric Environment*, 1996, vol. 30, no. 5, pp. 681–686. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00219-7](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00219-7)

26. Östberg J. *Tree Inventories in the Urban Environment. Methodological Development and New Applications*: Doct. Diss. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 2013, no. 2013(29).

27. Suslova E., Kharkhota L. Monitoring of Roadside Stands of Industrial Cities and Towns (South-East of Ukraine). *Miestu želdynų formavimas = Formation of Urban Green Areas*, 2016, no. 1(13), pp. 373–380.

28. Suslova E., Polyakov A., Kharkhota L. Monitoring of Woody Plants in the Park Stands the Industrial Cities of SouthEast Ukraine. *Biologija*, 2013, vol. 59, no. 3, pp. 269–276. <https://doi.org/10.6001/biologija.v59i3.2789>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interests

Краткое сообщение

УДК 574.45;630.182.21

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-189-202

## Оценка пулов углерода в древесно-кустарниковом ярусе постагрогенных лесных фитоценозов Кенозерского национального парка

*Д.Н. Клевцов*<sup>1</sup>, д-р биол. наук; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

*А.С. Алимов*<sup>1</sup>✉, ассистент; ResearcherID: [LWH-9669-2024](https://orcid.org/0009-0004-3485-0713),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3485-0713>

*Т.А. Парина*<sup>1</sup>, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [AAL-5665-2021](https://orcid.org/0000-0002-2472-8392),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-8392>

*И.Б. Амосова*<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [LVS-7321-2024](https://orcid.org/0000-0003-1022-3470),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1022-3470>

*А.А. Копытов*<sup>2</sup>, зам. директора по науч. работе; ResearcherID: [LWH-8698-2024](https://orcid.org/0009-0004-7593-4016),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7593-4016>

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; [d.klevtsov@narfu.ru](mailto:d.klevtsov@narfu.ru), [a.alimov@narfu.ru](mailto:a.alimov@narfu.ru)✉, [t.parinova@narfu.ru](mailto:t.parinova@narfu.ru), [i.amosova@narfu.ru](mailto:i.amosova@narfu.ru)

<sup>2</sup>Национальный парк «Кенозерский», наб. Северной Двины, д. 78, г. Архангельск, Россия, 163000; [ecosystem@kenozero.ru](mailto:ecosystem@kenozero.ru)

---


Поступила в редакцию 09.01.25 / Одобрена после рецензирования 02.04.25 / Принята к печати 04.04.25

---

**Аннотация.** Оценены запасы углерода в компонентах надземной фитомассы древесно-кустарникового яруса мелколиственной стадии сукцессии для зарослей ольхи серой (*Alnus incana* L.) и ивы козьей (*Salix caprea* L.) с примесью березы (*Betula* sp.), произрастающих в постагрогенных условиях на территории Кенозерского национального парка. Исследованные биологические сообщества образованы на заброшенных пахотных землях возрастом до 30 лет в разнотравном типе лесорастительных условий. Установлено, что превосходящий запас углерода накапливается в древостое 16-летнего ольшаника разнотравного (31,11 т/га) по сравнению с запасом в ивняке разнотравном с замещением ольхой серой (18,67 т/га). Наибольший пул углерода приходится на компонент надземной фитомассы – стволую древесину. Доля стволовой древесины от общей надземной фитомассы древостоя составляет 70,5 % в ольшанике и 66,7 % в ивняке. Фракция ветвей занимает второстепенное положение по углеродному запасу в древостоях ольшаника (13,2 %) и ивняка (11,7 %). Доля углерода, аккумулированного стволовой корой, в общем пуле углерода надземной фитомассы древостоя для каждого из двух исследованных типов леса – 11,1 %. На фракцию листвы приходится наименьшая часть пула углерода в 1-м ярусе фитоценоза: для ивняка – 3,3 % и для ольшаника – 3,6 %. Вклад фракции сухих сучьев неоднозначен, т. к. для ольшаника это наименьшая доля запаса углерода – 1,5 %, а для ивняка наблюдается повышение значения до 7,3 %, что можно объяснить распадом ивового ценоза и сменой его на ольшаник. В запасе углерода нижней части фитоценоза наибольшая доля приходится на элементы подлеска: деревья второй величины и кустарники (64,9 % для ольшаника и 54,5 % для ивняка).

---

© Клевцов Д.Н., Алимов А.С., Парина Т.А., Амосова И.Б., Копытов А.А., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

**Ключевые слова:** пул углерода, надземная фитомасса, постагрогенные фитоценозы, постагрогенные земли, ивняк, ольшаник, ольха серая, *Alnus incana* L., ива козья, *Salix caprea* L., Кенозерский национальный парк

**Благодарности:** Исследование выполнено в рамках госзадания ФГБУ «Национальный парк “Кенозерский”» по теме «Оценка углеродного пула различных компонентов экосистем национального парка “Кенозерский” в хронорядях».

**Для цитирования:** Клевцов Д.Н., Алимов А.С., Парина Т.А., Амосова И.Б., Копытов А.А. Оценка пулов углерода в древесно-кустарниковом ярусе постагрогенных лесных фитоценозов Кенозерского национального парка // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 189–202. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-189-202>

Brief report

## Assessment of Carbon Pools in the Tree and Shrub Layer of Postagrogenic Forest Phytocenoses of Kenozersky National Park

*Denis N. Klevtsov*<sup>1</sup>, *Doctor of Biology*; ResearcherID: [A-7791-2019](https://orcid.org/0000-0001-6902-157X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-157X>

*Alexander S. Alimov*<sup>1</sup>✉, *Assistant*; ResearcherID: [LWH-9669-2024](https://orcid.org/0009-0004-3485-0713),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3485-0713>

*Tatyana A. Parinova*<sup>1</sup>, *Candidate of Biology, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [AAL-5665-2021](https://orcid.org/0000-0002-2472-8392),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-8392>

*Irina B. Amosova*<sup>1</sup>, *Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.*; ResearcherID: [LVS-7321-2024](https://orcid.org/0000-0003-1022-3470),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1022-3470>

*Andrey A. Kopytov*<sup>2</sup>, *Associate Director of Scientific Work*; ResearcherID: [LWH-8698-2024](https://orcid.org/0009-0004-7593-4016),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7593-4016>

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; [d.klevtsov@narfu.ru](mailto:d.klevtsov@narfu.ru), [a.alimov@narfu.ru](mailto:a.alimov@narfu.ru), [t.parinova@narfu.ru](mailto:t.parinova@narfu.ru), [i.amosova@narfu.ru](mailto:i.amosova@narfu.ru)

<sup>2</sup>Kenozersky National Park, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 78, Arkhangelsk, Russian Federation, 163000; [ecosystem@kenozero.ru](mailto:ecosystem@kenozero.ru)

---

Received on January 9, 2025 / Approved after reviewing on April 2, 2025 / Accepted on April 4, 2025

---

**Abstract.** An assessment of carbon pools in the components of the aboveground phytomass of the tree and shrub layer of the small-leaved stage of succession is presented for thickets of gray alder (*Alnus incana* L.) and goat willow (*Salix caprea* L.) with an admixture of birch (*Betula* sp.) growing in postagrogenic conditions on the territory of Kenozersky National Park. The studied biological communities were formed on abandoned arable lands with an age of up to 30 years in herb-rich forest vegetation conditions. It was found that the largest carbon pool accumulates in the 16-year-old herb-rich alder stand (31.11 t/ha) compared with the stock in the herb-rich willow stand undergoing successional replacement by gray alder (18.67 t/ha). The largest share of the carbon pool is accounted for by the stem wood fraction. The share of stem wood in the total aboveground phytomass of the overstorey is 70.5 % in the alder stand and 66.7 % in the willow stand. The branch fraction occupies a secondary position in terms of carbon stock in the stands of alder (13.2 %) and willow (11.7 %). The share of carbon accumulated by the stem bark in the total carbon pool of the aboveground phytomass for both forest types is identical (11.1 %). The fraction of foliage accounts for the lowest

share of the carbon pool in the first tier: 3.3% for willow and 3.6 % for alder. The carbon stock in the fraction of dry twigs is variable; for alder, this is the smallest share of the carbon pool (1.5 %), while in willow, the value increases to 7.3 %, which can be explained by the disintegration of the willow phytocenosis and its replacement by gray alder. In the carbon pool of the understory, the largest share is accounted for by the second-size trees and shrubs (64.9 % for the alder stand and 54.5 % for the willow stand).

**Keywords:** carbon pool, aboveground phytomass, postagrogenic phytocenoses, postagrogenic lands, willow, alder, gray alder, *Alnus incana* L., goat willow, *Salix caprea* L., Kenozersky National Park

**Acknowledgements:** The research was carried out within the framework of the state task of the Federal State Budgetary Institution “Kenozersky National Park” on the topic “Assessment of the carbon pool of various components of the ecosystems of the Kenozersky National Park in chronosequences”.

**For citation:** Klevtsov D.N., Alimov A.S., Parinova T.A., Amosova I.B., Kopytov A.A. Assessment of Carbon Pools in the Tree and Shrub Layer of Postagrogenic Forest Phytocenoses of Kenozersky National Park. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 189–202. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-189-202>

### Введение

С началом индустриальной эпохи атмосфера Земли стала подвергаться сильному антропогенному загрязнению – выбросы хозяйственной деятельности человека, ведущие к повышению концентрации парниковых газов за счет сжигания органических теплоемких веществ (нефти, природного газа и их производных). В результате данной антропогенной эмиссии в атмосферу планеты массово стали поступать агенты «парникового эффекта» – парниковые газы со свойством повышенного поглощения в среднем и дальнем инфракрасном диапазонах [20, 51]. Основной состав парниковых газов представлен углекислым газом (CO<sub>2</sub>), метаном (CH<sub>4</sub>), закисью азота и др. Увеличение концентрации парниковых газов приводит к повышению средней температуры Земли, что, в свою очередь, обуславливает смещение показателей климата и, как следствие, изменения экосистем планеты [36–38, 41, 44, 48].

В потоке вещества и энергии существует комплекс естественных биогеохимических процессов, которые являются основой баланса углерода на нашей планете. Как правило, данные процессы складываются из эмиссии и секвестрации. Все процессы можно поделить на 2 группы: биологические, связанные с органическими за счет фиксации углекислого газа посредством фотосинтеза и эмиссии CO<sub>2</sub> при осуществлении дыхания аэробными организмами; и геохимические, обусловленные химическими реакциями без влияния живых организмов, за исключением антропогенного воздействия. На долю неорганической фиксации углекислого газа из атмосферы приходится около 0,1 %, фотосинтетической секвестрации CO<sub>2</sub> – 99,9 % [14, 22, 40]. Наибольшую долю в депонировании углерода среди наземных комплексов берут на себя лесные экосистемы [12, 43]. Разные типы леса отличаются по продуктивности и продолжительности аккумуляции углерода, но при этом являются одними из крупнейших биологических резервуаров стока углерода наряду с болотными экосистемами [28, 29, 35]. Таким образом, лесные экосистемы являются эффективным комплексным стабилизационным механизмом потоков углерода. Человек способен влиять

на данный механизм посредством сохранения климаксовых лесных сообществ и лесовосстановления. Также большим секвестрационным потенциалом углерода обладают постагрогенные фитоценозы [50].

Биологическая продуктивность – фундаментальное свойство биосферы, способность живого вещества воспроизводить биомассу и образовывать биотический покров [1]. Лесные сообщества играют важную роль в глобальных потоках веществ и энергии, существенно накапливают фитомассу в биосфере [5]. За счет процессов депонирования и эмиссии углерода леса участвуют в изменении климата Земли [2]. Потоки углерода можно связать с продуктивностью лесных экосистем, а именно с запасом древесины и ее приростом, т. к. основная часть фитомассы лесов сосредоточена в деревьях [25, 31].

Актуальность исследования углеродного пула лесов напрямую связана с проблемой глобального изменения климата и парникового эффекта. Сохранение и разведение лесов является одним из способов депонирования атмосферного углерода. Поэтому в последнее время все чаще разрабатываются природно-климатические проекты по сохранению, повышению продуктивности и разведению лесов. Изучение естественных процессов накопления фитомассы является перспективным направлением в познании природы лесных экосистем [10, 33]. Фундаментальные знания о процессах аккумуляции углерода могут стать основой для формирования системы углеродных единиц [5].

В связи с социально-экономическими изменениями и спадом сельскохозяйственного производства в России сократилась общая площадь пахотных, сенокосных и пастбищных земель, многие угодья выведены из оборота, в результате естественных процессов образовались залежи [16]. Залежи – сельскохозяйственные угодья, ранее использовавшиеся в первую очередь как пашни, но не применявшиеся больше 1 года начиная с осени под посев сельскохозяйственных культур [1, 3]. Для Российской Федерации изучение этой перспективы представляет особый интерес, т. к. по площади постагрогенных земель страна занимает 1-е место в мире. После распада Советского Союза множество колхозов перестали существовать. Ввиду отсутствия должного хозяйственного ухода и использования данные земли стихийно зарастают древесно-кустарниковой растительностью, например, березой [34]. Особо интересно изучение биологической продуктивности пионерных мелколиственных лесов, образованных ольхой серой или ивой козьей [7, 9, 19, 27, 42, 45, 46]. С точки зрения изучения углеродного потенциала данные стадии мелколиственных сукцессий с подобным породным составом вызывают интерес в сфере природно-климатических проектов [21, 39]. С учетом современной экологической повестки можно рассматривать такие земли как карбоновые фермы. Например, Е.Н. Наквасиной и Ю.Н. Шумиловой показано, что забрасывание пахотных земель под самозаращение лесом и формирование на них лесных насаждений на плодородных остаточно-карбонатных почвах средней тайги приводит к постепенному снижению углеродного пула в почве, но будет способствовать секвестрации углерода в фитомассе растительности, прежде всего многолетней древесной, а также в лесной подстилке [18].

Цель работы – оценить углеродный пул древесно-кустарникового яруса постагрогенных фитоценозов на территории Кенозерского национального парка.

## Объекты и методы исследования

Предметом исследования являлась оценка запасов углерода в компонентах надземной фитомассы древесно-кустарниковой части фитоценоза (1-й ярус – древостой, 2-й ярус – подрост и подлесок) мелколиственной стадии сукцессии для зарослей ольхи серой (*Alnus incana* L.) и ивы козьей (*Salix caprea* L.) с примесью березы (*Betula* sp.), произрастающих в постагрогенных условиях на особо охраняемой природной территории, в Кенозерском национальном парке. Кенозерский национальный парк относится к таежной зоне Европейского Севера (юго-запад Архангельской области на стыке Каргопольского и Плесецкого районов).

Перед осуществлением полевых работ изучали документально-исторические материалы и выполняли рекогносцировочные обследования вблизи деревни Горбачиха. Установлено, что анализируемые сообщества произрастают на выбывших из хозяйственного оборота сельскохозяйственных угодьях.

На полевом этапе в пределах подобранных участков постагрогенных фитоценозов заложили 2 пробные площади – в ольшанике разнотравном и ивняке разнотравном (табл. 1), – на которых осуществляли сбор эмпирических данных. Методической базой при этом стали работы Н.Н. Соколова [23], Е.В. Мысина с соавт. [17], С.В. Третьякова с соавт. [26], Б.И. Грошева с соавт. [6], В.А. Усольцева с соавт. [29, 30] и А.С. Исаева с соавт. [13, 17]. После получения характеристик древостоя изучали подрост и подлесок. На 5 трансектах 2×10 м производили переучет всех элементов данного яруса фитоценоза с распределением по категориям высоты [8].

Таблица 1

**Дендрометрическая характеристика постагрогенных фитоценозов**  
**Dendrometric characteristics of postagrogenic phytocenoses**

Пробная площадь	Элемент леса*	Среднее			Количество деревьев, шт./га	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
		диаметр, см	высота, м	возраст, лет			
Ольшаник	9Ол	5,8	7,1	16	6569	0,89	81,6
	1Ив	3,7	6,0	18	624	0,07	2,7
	Б(ед)	3,7	7,8	14	273	0,03	1,1
	<i>Итого</i>				7466	0,99	85,4
Ивняк	6Ив	5,4	9,9	30	3416	0,41	55,7
	4Ол	5,7	10,9	20	1858	0,47	40,6
	Б(ед)	6,4	11,2	29	245	0,06	5,9
	<i>Итого</i>				5519	0,94	102,2

Тип леса определяли с учетом основных положений учения о лесной типологии В.Н. Сукачева [24]. Исследование почвы на участках проводили с закладкой почвенного разреза глубиной до 50 см. Диагностику почв осуществляли по классификации 1977 г. в модификации В.С. Кашенко [15].

На каждой пробной площади отбирали по 5–6 модельных деревьев основной породы. Для сопутствующих пород, подроста и подлеска брали по 3–4 модельных дерева или куста. К модельным и средним объектам относили нормально развитые деревья или кустарники без признаков механических и био-

логических повреждений. После отбора и валки модельное или среднее дерево разделяли на фракции фитомассы: древесину ствола, живые ветви (без листьев), листву, кору и сухие сучья. Фракционную фитомассу (во влажном состоянии) измеряли электронным безменом с точностью до 100 г. Подрост и подлесок фракционировали на листву и безлистные побеги с последующим замером на весах с точностью до 1 г.

Данные модельных деревьев обрабатывали с использованием регрессионного метода оценки фитомассы, а для сопутствующей породы, подроста и подлеска применяли метод среднего дерева. В результате проведенных расчетов получили пофракционные запасы надземной фитомассы древесно-кустарникового яруса исследованных фитоценозов. Запасы углерода для компонентов фитоценозов определяли через фракционные запасы надземной фитомассы с применением конверсионных коэффициентов (табл. 2), которые показывают содержание депонированного углерода в 1 кг абсолютно сухой фитомассы. Коэффициенты подобраны на основе [5, 11, 32, 49] и распоряжения Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р (ред. от 20.01.2021).

Таблица 2

**Конверсионные коэффициенты запаса углерода в 1 г  
абсолютно сухой фитомассы фракций [4]  
Conversion factors for carbon accumulation in 1 g of absolutely dry phytomass [4]**

Порода	Древесина	Кора	Листва	Ветви	Сухие сучья
Береза	0,500	0,500	0,444	0,516	0,516
Ольха	0,500	0,500	0,454	0,517	0,517
Ива	0,503	0,503	0,485	0,500	0,500
Другие мелколиственные породы	0,503	0,503	0,485	0,500	0,500
Подрост и подлесок	0,500				

*Результаты исследования и их обсуждение*

В ольшанике разнотравном наблюдается преобладание подроста ольхи серой жизнеспособного состояния. Подрост сопутствующих пород находится в неперспективном состоянии, его количество мало. Стоит отметить наличие подроста осины, которая отсутствует в верхнем ярусе. Возможно, в будущем здесь сформируется осиновый древостой. На данной территории наблюдается смена луговых сообществ ивой или ольхой, с постепенным замещением ивовых ценозов ольховыми. На более поздних стадиях облесения ольховый ценоз, вероятно, подвергнется распаду со сменой его березовым или осиновым древостоем с дальнейшим заселением ели.

В ивняке разнотравном подрост доминанта-эдификатора (ива козья) почти отсутствует, его состояние неудовлетворительное. Также важно отметить преобладание здорового подроста ольхи, что говорит о смене основной породы – в перспективе ивовый ценоз подвергнется распаду со сменой его на ольховый древостой. Кроме того, отмечено малое количество жизнеспособного подроста сопутствующей породы (березы) и единичное присутствие угнетенного подроста ели, которая отсутствует в верхнем ярусе.

Зафиксировано наличие подлесочных деревьев второй величины (черемухи и рябины). На обеих пробах черемуха преобладает. Также обнаружены

кусты смородины красной. Подлесок в ольшанике составлен 5 породами с явным количественным преобладанием черемухи и малины. Подлесок ивняка представлен 3 породами с численным превосходством черемухи. Таким образом, породное разнообразие в данном ярусе низкое. Черемуха как дерево второй величины превалирует по количественным показателям и средней высоте. В целом для молодой мелколиственной стадии сукцессии элементы подлеска не выражены и характеризуются незначительным запасом фитомассы.

В результате проведенного исследования получены пофракционные запасы абсолютно сухой фитомассы древесного и кустарникового ярусов фитоценозов на пробах. Запасы депонированного углерода рассчитывали по данным о запасах абсолютно сухой фитомассы и коэффициентам конверсии депонированного углерода на единицу абсолютно сухой фитомассы. Запасы депонированного углерода по исследуемому фракционному составу экстраполированы на 1 га данных типов фитоценозов (табл. 3, 4).

Таблица 3

**Запасы углерода в постагрогенном ольшанике, кг/га**  
**Carbon reserves of studied post-agrogenic phytocenoses, kg/ha**

Фракция, кг/га	Древостой			Подрост			Подлесок				
	Ольха	Ива	Береза	Ольха		Ива	Рябина	Черемуха	Шиповник	Смородина	Малина
				средний	мелкий						
Сухие сучья	444,44	15,60	2,82	–	–	–	–	–	–	–	–
Древесина	21418,33	316,90	161,02	9,44	1,21	0,36	3,85	9,28	1,16	0,04	0,44
Кора	3361,60	56,48	36,84	4,26		0,20	1,53				
Ветви	4017,98	40,55	40,84	2,41	0	0,35	0	16,63	0	0	0
Листва	1097,21	12,10	20,60	2,78	0,66	0,42	1,53	4,90	0,80	0,03	0,55
<i>Итого</i>	30339,56	441,62	262,11	18,87	1,87	1,32	6,90	30,80	1,96	0,07	0,99

Таблица 4

**Запасы углерода в постагрогенном ивняке, кг/га**  
**Carbon reserves of studied post-agrogenic phytocenoses, kg/ha**

Фракция, кг/га	Древостой			Подрост				Подлесок		
	Ива	Ольха	Береза	Ольха		Береза	Ива (0,85)	Смородина	Рябина	Черемуха
				средний	мелкий					
Сухие сучья	1211,41	29,25	114,81	–	–	–	–	–	–	–
Древесина	7736,47	3883,00	799,78	13,73	–	0,74	0,74	0,10	0,13	16,13
Кора	1264,06	682,02	128,24							
Ветви	1773,70	304,85	91,54							
Листва	382,58	204,32	27,13	3,74	–	0,22	0,04	0,20	0,01	6,41
<i>Итого</i>	12368,21	5103,44	1161,50	17,46	–	0,96	0,78	0,30	0,14	22,54

Общий пул углерода в 1-м и 2-м ярусах (древостой, подрост и подлесок) ольшаника составил 31 106,07 кг/га. Наибольшую долю по запасу углерода в наземной части данного фитоценоза занимает основная порода (эдификаторный вид) – ольха серая. Пул депонированного ольхой серой углерода – 30 339,56 кг/га (97,54 % от общего запаса древесно-кустарникового яруса).

При разделении основной породы на фракции получаем следующие относительные значения (рис. 1): стволовая древесина – 68,9 % (21 418,33 кг/га); ветви – 13,0 % (4017,98 кг/га); кора – 10,8 % (3361,6 кг/га); листва – 3,6 % (1097,21 кг/га); сухие сучья – 1,5 % (444,44 кг/га). Для фракций фитомассы сопутствующих пород (ива и береза) запас углерода составляет 2,26 % (703,7 кг/га) от общего запаса в 1-м и 2-м ярусах. Из них 1,42 % (441,62 кг/га) приходится на общий запас депонированного ивой козьей углерода и 0,84 % (262,11 кг/га) аккумулирует береза. Запас углерода в подросте и подлеске составляет 42,2 кг/га, что равняется 0,2 % от общего пула углерода древесно-кустарникового яруса (рис. 2).

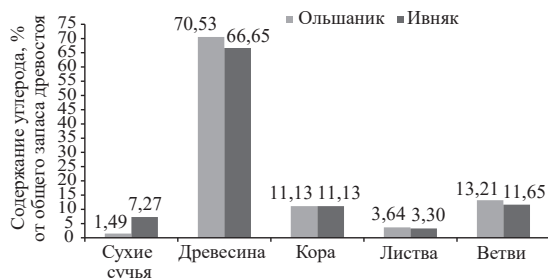


Рис. 1. Соотношение углерода по фракциям древостоя на 1 га для 1-го яруса

Fig. 1. Carbon ratio by fractions of forest stand per 1 ha

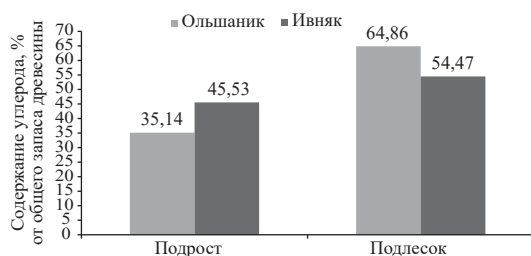


Рис. 2. Запасы углерода в подросте и подлеске

Fig. 2. Carbon reserves in sapling and undergrowth

Общий пул углерода в древесно-кустарниковом ярусе ивняка – это 18 675,32 кг/га. Наибольшую долю запаса углерода имеет ива козья – 12 368,21 кг/га (66,2 % от общего запаса в 1-м и 2-м ярусах). При разделении основной породы на фракции получаем следующие относительные значения (рис. 1): стволовая древесина – 41,4 % от общего запаса депонированного углерода в древесно-кустарниковом ярусе (7736,47 кг/га); ветви – 9,5 % (1773,7 кг/га); кора – 6,8 % (1264,06 кг/га); листва – 2,0 % (382,6 кг/га); сухие сучья – 6,5 % (1211,41 кг/га). Отмечается повышенное содержание сухих сучьев, что свидетельствует о снижении жизненного состояния основной породы. На смену распадающемуся ивняку приходит сопутствующая на данной стадии сукцессии порода – ольха серая – 27,3 % (5103,4 кг/га) от общего запаса депонированного углерода. Фитомасса березы, еще одной сопутствующей породы, занимает 6,2 % (1161,5 кг/га). Пул углерода подроста и подлеска – это 0,2 % (62,78 кг/га) от общего запаса углерода в 1-м и 2-м ярусах (рис. 2).

Исходя из полученного относительного соотношения фракций в молодых мелколиственных лесах, произрастающих на залежах, можно отметить преобладание запасов углерода в стволовой древесине. Сравнение исследованных фитоценозов между собой показывает снижение содержания углерода во фракциях стволовой древесины и ветвей в ивняке по сравнению с ольшаником. Вероятно, это связано с увеличением доли сухих сучьев в ивняке. Данное соотно-

шение обусловлено биологическими особенностями ивы козьей, т. к. в данном возрасте наблюдается интенсивное очищение ствола за счет отмирания ветвей (это становится причиной потери части углерода в данной фракции). Также отмечаются признаки замещения ивы ольхой серой, для которой процесс усыхания не так выражен. Можно предположить, что ольшаник более эффективен в депонировании углерода по сравнению с ивняком.

На данном этапе развития исследуемых сообществ большая доля углерода содержится в фитомассе подлеска, а наименьшая – в фитомассе подроста (все породы древостоя). Подлесок представлен порослью, состав которой имеет некоторые различия (в ольшанике – 5 видов, в ивняке – 3, однако эти виды характерны и для ольшаника). По древесно-кустарниковому ярусу исследованных постагрогенных фитоценозов подрост и подлесок характеризуются незначительным запасом углерода в сравнении с древостоем.

### Заключение

На залежах, зарастающих лесными мелколиственными породами (ольхой серой, ивой козьей и березой), в структуре общего запаса углерода надземной части древесно-кустарникового яруса наибольшую долю составляет древостой, в котором основная часть накопленного углерода приходится на фракцию стволовой древесины. Подрост, деревья второй величины, кустарниковые и полукустарниковые виды во 2-м ярусе для данной стадии сукцессии представлены незначительно при депонировании низкого относительного запаса углерода. В углеродном пуле данного яруса наибольшую долю занимают элементы подлеска. Данные по углеродному пулу исследованных постагрогенных фитоценозов дают представление о соотношении запасов углерода на залежных землях в различных фракциях надземной фитомассы. Полученные результаты целесообразно учитывать при расчетах углеродного бюджета лесных экосистем, а также при реализации природоохранных проектов и исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 295 с.

*Bazilevich N.I. Biological Productivity of Ecosystems of Northern Eurasia.* Moscow, Nauka Publ., 1993. 295 p. (In Russ.).

2. *Ваганов Е.А., Швиденко А.З.* Оценка вклада сибирских регионов в глобальный экологический баланс (на примере вклада сибирских лесов в кругооборот углерода) // Макрорегион Сибирь: проблемы и перспективы развития: сб. науч. тр. М.: НИЦ ИНФРА-М; Красноярск: СФУ, 2014. С. 39–47.

*Vaganov E.A., Shvidenko A.Z.* Assessment of the Contribution of Siberian Regions to the Global Ecological Balance (on the Example of the Contribution of Siberian Forests to the carbon cycle). *Macro-region Siberia: Problems and Prospects of Development. Collection of Scientific Papers.* Moscow, NITS INFRA-M Publ., Krasnoyarsk, SIBFU Publ., 2014, pp. 39–47. (In Russ.).

3. *Варфоломеев Л.А., Цымбалюк Г.А.* Почвенно-земельный фонд Архангельской области как составляющая землепользования // Почва как природный ресурс севера: материалы VII Сибирцев. чтений. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 34–40.

*Varfolomeev L.A., Tsybalyuk G.A.* The Soil and Land Fund of the Arkhangelsk Region as a Component of Land Use. Soil as a Natural Resource of the North. *Proceedings*

of the VII Sibirtsev Readings. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2005, pp. 34–40. (In Russ.).

4. Войтов И.В., Рожков Л.Н. Проект «Развитие лесного сектора Республики Беларусь»: Министерство лесного хозяйства республики Беларусь. Минск: БГТУ, 2018. 135 с.

Voytov I.V., Rozhkov L.N. *The Project "Development of the Forest Sector of the Republic of Belarus"*. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Minsk, BSTU Publ., 2018. 135 p. (In Russ.).

5. Гавриков В.Л., Хлебопрос Р.Г. Киотский лес и экономическая возможность национального «углеродного» рынка // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер.: Гум. науки. 2015. Т. 8, № 5. С. 144–153.

Gavrikov V.L., Khlebopros R.G. The Kyoto Forest and the Economic Opportunity of the National "Carbon" Market. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya Gumanitarnye nauki = Journal of the Siberian Federal University. Humanities Series*, 2015, vol. 8, no. 5, pp. 144–153. (In Russ.).

6. Грошев Б.И., Синицын С.Г., Мороз П.И., Сеперович Н.П. Лесотаксационный справочник. М: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.

Groshev B.I., Sinityn S.G., Moroz P.I., Seperovich N.P. *Forest Inventory Handbook*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 288 p. (In Russ.).

7. Гульбе А.Я., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А. Надземная фитомасса и годовичная продукция древостоев ольхи серой на брошенной пашне в подзоне Южной тайги (Ярославская область) // Актуальн. проблемы лесн. комплекса. 2008. № 21-3. С. 25–29.

Gulbe A.Ya., Gulbe Ya.I., Gulbe T.A. Aboveground Phytomass and Annual Production of Stands of Gray Alder on Abandoned Arable Land in the Subzone of the Southern Taiga (Yaroslavl Region). *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa = Relevant Problems of the Forest Complex*, 2008, no. 21(3), pp. 25–29. (In Russ.).

8. Гусев И.И., Калинин В.И., Неволин О.А. и др. Полевой справочник таксатора: для таежных лесов Европейского Севера / сост. И.И. Гусев; под общ. ред. В.И. Левина. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. 196 с.

Gusev I.I., Kalinin V.I., Nevolin O.A. et al. *Field Guide of the Taxator: For the Taiga Forests of the European North*. Vologda, Severo-Zapadnoe Knizhnoe Izdatel'stvo Publ., 1971. 196 p. (In Russ.).

9. Данилов Д.А., Яковлев А.А., Суворов С.А., Крылов И.А., Корчагов С.А., Хамитов Р.С. Формирование надземной фитомассы лиственных древесных пород на постагrogenных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 65–76.

Danilov D.A., Yakovlev A.A., Suvorov S.A., Krylov I.A., Korchagov S.A., Khamitov R.S. Formation of Aboveground Phytomass of Deciduous Tree Species on Postagrogenic lands. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 1, pp. 65–76. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-65-76>

10. Ефимов В.И. Реальность углеродного следа в глобальном изменении климата // Жизнь Земли. 2021. Т. 43, № 3. С. 328–335.

Efimov V.I. The Reality of the Carbon Footprint in Global Climate Change. *Zhizn' zemli = Life of the Earth*, 2021, vol. 43, no. 3, pp. 328–335. (In Russ.).

[https://doi.org/10.29003/m2437.0514-7468.2020\\_43\\_3/328-335](https://doi.org/10.29003/m2437.0514-7468.2020_43_3/328-335)

11. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.

Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. Determination of Carbon Reserves by Age-Dependent Plantings Conversion-Volume Coefficients. *Lesovedenie = Forestry Science*, 1998, no. 3, pp. 84–93. (In Russ.).

12. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого

газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России. М.: Центр экол. политики России, 1995. 156 с.

Isaev A.S., Korovin G.N., Suhih V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. *Ecological Problems of Carbon Dioxide Absorption Through Reforestation and Afforestation in Russia*. Moscow, Tsentr ehkologicheskoi Politiki Rossii Publ., 1995. 156 p. (In Russ.).

13. Исаев А.С., Овчинникова Т.М., Суховольский В.Г. Распределение фитомассы деревьев и насаждений по фракциям (модель конкуренции) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2007. Т. 21. С. 232–250.

Isaev A.S., Ovchinnikova T.M., Sukhovolsky V.G. The Fractional Distribution of Tree and Stand Phytomass: A Competition Model. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* = Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems, 2007, vol. 21, pp. 232–250. (In Russ.).

14. Исаев А.С., Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Честных О.В., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение. 2001. № 5. С. 8–23.

Isaev A.S., Utkin A.I., Zamolodchikov D.G., Chestnykh O.V., Zukert N.V. Forests of Russia as a Reservoir of Organic Carbon of the Biosphere. *Lesovedenie* = Forestry Science, 2001, no. 5, pp. 8–23. (In Russ.).

15. Крышень А.М., Федорец Н.Г., Преснухин Ю.В., Синькевич С.М. Методы классифицирования и описания лесных фитоценозов и почв. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 58 с.

Kryshen A.M., Fedorets N.G., Presnukhin Yu.V., Sinkevich S.M. *Methods of Classification and Description of Forest Phytocenoses and Soils*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2003. 58 p. (In Russ.).

16. Курганова И.Н., Лопес Де Гереню В.О. К чему ведет сокращение пахотных земель // Природа. 2009. № 11(1131). С. 20–27.

Kurganova I.N., Lopez De Guereu V.O. What Reduction of Arable Land Brings about. *Priroda* = Nature, 2009, no. 11(1131), pp. 20–27. (In Russ.).

17. Мысин Е.В., Рыжова Н.В., Шутов В.В. Особенности таксации молодняков ивы козьей и ольхи серой // Твои века, Кострома: материалы XII регион. (с Междунар. участием) студ. науч.-практ. конф. Кострома: Костром. гос. ун-т, 2020. С. 76–78.

Mysin E.V., Ryzhova N.V., Shutov V.V. Features of Taxation of Young Goat Willow and Gray Alder. *Your Centuries, Kostroma: Materials of the XII Regional (With International Participation) Student Scientific and Practical Conference*, Kostroma, Kostroma State University Publ., 2020, pp. 76–78. (In Russ.).

18. Наквасина Е.Н., Шумилова Ю.Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных землях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 1. С. 46–59.

Nakvasina E.N., Shumilova Yu.N. Dynamics of Carbon Reserves in the Formation of Forests on Postagrogenic Lands. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2021, no. 1, pp. 46–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-46-59>

19. Парамонов А.А., Усольцев В.А., Третьяков С.В., Цветков И.В., Цепордей И.С. Обобщенные модели фитомассы деревьев ивы (род *Salix* L.): мета-анализ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 64–75.

Paramonov A.A., Usoltsev V.A., Tretyakov S.V., Tsvetkov I.V., Tsepordey I.S. Generalized Models of Phytomass of Willow Trees (Genus *Salix* L.): Meta-Analysis. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2024, no. 5, pp. 64–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-64-75>

20. Парниковые газы – глобальный экологический ресурс: справочное пособие / под ред. А.О. Кокорина. М.: WWF России, 2004. 136 с.

*Greenhouse Gases – A Global Environmental Resource: A Reference Guide*. Moscow, WWF Rossii Publ., 2004. 136 p. (In Russ.).

21. Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А. Изменение запасов углерода в постагрогенных экосистемах в результате естественного восстановления лесов в Костромской области // Лесоведение. 2015. № 4. С. 307–317.

Ryzhova I.M., Erokhova A.A., Podvezennaya M.A. Changes in Carbon Stocks in Postagrogenic Ecosystems as a Result of Natural Forest Restoration in the Kostroma Region. *Lesovedenie = Forestry Science*, 2015, no. 4, pp. 307–317. (In Russ.).

22. Саковец В.И., Иванчиков А.А. Запасы и потоки углерода в лесах Карелии // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы Третьих Мелеховских чт., посвящ. 100-летию со дня рождения И.С. Мелехова. Архангельск: АГТУ, 2005. С. 14–16.

Sakovets V.I., Ivanchikov A.A. Carbon Stocks and Fluxes in Forests of Karelia. *Problems of Forest Science and Forestry: Proceedings of the III Melekhov Readings Dedicated to the 100th Anniversary of I.S. Melekhov*, Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2005, pp. 14–16. (In Russ.).

23. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.

Sokolov N.N. *Methodological Guidelines for Diploma Design on the Taxation of Trial Areas*. Arkhangelsk, RIO ALTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.).

24. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.

Sukachev V.N., Sonn S.V. *Methodological Guidelines for the Study of Forest Types*. Moscow, AN SSSR Publ., 1961. 144 p. (In Russ.).

25. Тишин Д.В. Оценка продуктивности древостоев. Казань: Казанск. ун-т, 2011. 31 с.

Tishin D.V. *Evaluation of the Productivity of Stands*. Kazan, Kazan University Publ., 2011. 31 p. (In Russ.).

26. Третьяков С.В., Богданов А.П., Демиденко С.А., Коптев С.В., Ильинцев А.С., Тимофеева А.В., Федотов А.В. Нормативы таксации насаждений ольхи серой на Европейском Севере // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. Архангельск: Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2014. С. 177–181.

Tretyakov S.V., Bogdanov A.P., Demidenko S.A., Koptev S.V., Ilincev A.S., Timofeeva A.V., Fedotov A.V. Standards of Taxation of Gray Alder Plantations in the European North. *Environmental Problems of the Arctic and Northern Territories. An Interuniversity Collection of Scientific Papers*, Arkhangelsk, Northern (Arctic) Federal University Named After M.V. Lomonosov Publ., 2014, pp. 177–181. (In Russ.).

27. Третьяков С.В., Коптев С.В., Карaban А.А., Парамонов А.А., Давыдов А.В. Возрастная динамика нормальных древостоев ольхи серой в таежной зоне северо-востока европейской части России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 6. С. 70–80.

Tretyakov S.V., Koptev S.V., Karaban A.A., Paramonov A.A., Davydov A.V. Age Dynamics of Normal Stands of Gray Alder in the Taiga Zone of the North-East of the European Part of Russia. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 6, pp. 70–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-70-80>

28. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексева, Р.А. Бердси. Красноярск: ИЛ СО РАН, 1994. 224 с.

*Carbon in Ecosystems of Forests and Swamps of Russia*. Eds. V.A. Alekseev, N.A. Berdsi Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., 1994. 224 p. (In Russ.).

29. Усольцев В.А., Азаренок В.А., Баракoвских Е.В., Накай Н.В. Депонирование и динамика углерода в фитомассе лесов Уральского региона // Лесная таксация и лесостроительство. 2009. № 1(41). С. 108–115.

Usoltsev V.A., Azarenok V.A., Barakovskikh E.V., Nakai N.V. Carbon Deposition and Dynamics in the Phytomass of Forests of the Ural Region. *Lesnaya Taksatsiya i Lesoustroistvo = Forest Taxation and Forest Management Publ.*, 2009, no. 1(41), pp. 108–115. (In Russ.).

30. Усольцев В.А., Залесов С.В. Методы определения биологической продуктивности насаждений. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. С. 147.

Usoltsev V.A., Zalesov S.V. *Methods for Determining Biological Productivity of Plantings*. Yekaterinburg, Ural State Forestry Engineering University Publ., 2005. P. 147. (In Russ.).

31. Уткин А.И. Изучение пулов и потоков углерода на уровнях экосистемы и территориального комплекса // Стационарные лесоэкологические исследования: методы, итоги, перспективы. Сыктывкар, 2003. С. 9–12.

Utkin A.I. The Study of Carbon Pools and Fluxes at Ecosystem and Territorial Complex Levels. *Stationary Forest-Ecological Research: Methods, Results, Prospects*. Syktyvkar, 2003, pp. 9–12. (In Russ.).

32. Фадеев А.Н., Жгулева О.А. Методика оценки способности лесных насаждений к депонированию углерода // Вестн. Марийск. гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 1. С. 88–92.

Fadeev A.N., Zhguleva O.A. Methodology for Assessing the Ability of Forest Plantations to Deposit Carbon. *Vestnik Mariiskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya "Les. Ekhkologiya. Prirodopol'zovanie" = Bulletin of the Mari State Technical University. Series. "Forest. Ecology. Environmental Management"*, 2009, no. 1, pp. 88–92. (In Russ.).

33. Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс: Российская академия наук, Институт народнохозяйственного прогнозирования. М.: Научный консультант, 2017. 82 с.

Fedorov B.G. *Russian Carbon Balance*. Moscow, Nauchnyi konsul'tant Publ., 2017. 82 p. (In Russ.).

34. Филиппов А.В. Оценка запасов углерода в фитомассе березняков Северной Евразии и их география: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2005. 24 с.

Filippov A.V. *Assessment of Carbon Reserves in the Phytomass of Birch Forests of Northern Eurasia and Their Geography*. Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Yekaterinburg, 2005. 24 p. (In Russ.).

35. Щепаченко Д.Г., Швиденко А.З., Шалаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России: моногр. М.: Московск. гос. ун-т леса, 2008. 296 с.

Shchepashchenko D.G., Shvidenko A.Z., Shalaev V.S. *Biological Productivity and Carbon Budget of Larch Forests of the North-East of Russia*. Moscow, Moscow State Forest University Publ., 2008. 296 p. (In Russ.).

36. Arndt D.S., Blunden J., Willett K.M. State of the Climate in 2015. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2016, vol. 97, no. 8. 300 p.

<https://doi.org/10.1175/2016BAMSStateoftheClimate.1>

37. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

38. Feulner G. Global Challenges: Climate Change. *Global Challenges*, 2015, no. 1, iss. 1, pp 5–6. <https://doi.org/10.1002/gch2.1003>

39. Harmon M.E., Franklin J.F., Ferrell W.K. Effects on Carbon Storage of Conversion of Old-Growth Forests to Young Forests. *Science*, 1990, vol. 247, pp. 699–702.

<https://doi.org/10.1126/science.247.4943.699>

40. Hunt S.L., Gordon A.M., Morris D.M. Carbon Stocks in Managed Conifer Forests in Northern Ontario, Canada. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, iss. 4, pp. 563–582.

<https://doi.org/10.14214/sf.128>

41. Karl T.R., Trenberth K.E. Modern Global Climate Change. *Science*, 2003, vol. 302, pp. 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>

42. Kurganova I.N., Telesnina V.M., Lopes de Gerenyu V.O., et al. The Dynamics of Carbon Pools and Biological Activity of Retic Albic Podzols in Southern Taiga During the Postagrogenic Evolution. *Eurasian Soil Science*, 2021, vol. 54, pp. 337–351.

<https://doi.org/10.1134/S1064229321030108>

43. Marland G., Marland S. Should We Store Carbon in Trees? *Water Air Soil Pollut*, 1992, vol. 64, pp. 181–195. <https://doi.org/10.1007/BF00477101>
44. Pandey D., Agrawal M., Pandey J.S. Carbon Footprint: Current Methods of Estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, vol. 178, pp. 135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
45. Rytter L., Rytter R. Growth and Carbon Capture of Grey Alder (*Alnus Incana* (L.) Moench.) Under North European Conditions – Estimates Based on Reported Research. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 373, pp. 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.04.034>
46. Tang X., Wang Y., Zhou G., Zhang D., Liu Sh., Liu Sh., Zhang Q., Liu J., Yan J. Different Patterns of Ecosystem Carbon Accumulation Between a Young and an Old-Growth Subtropical Forest in Southern China. *Plant Ecology*, 2011, vol. 212, pp. 1385–1395. <https://doi.org/10.1007/s11258-011-9914-2>
47. Thomas S.C., Martin A.R. Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests*, 2012, no. 3, pp. 332–352. <https://doi.org/10.3390/f3020332>
48. Vakulenko N.V., Nigmatullin R.I., Sonechkin D.M. On the Problem of the Global Climate Change. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2015, vol. 40, pp. 629–634. <https://doi.org/10.3103/S1068373915090083>
49. Weggler K., Dobbertin M., Jüngling E., Kaufmann E., Thürig E. Dead Wood Volume to Dead Wood Carbon: The Issue of Conversion Factors. *European Journal of Forest Research*, 2012, vol. 131, pp. 1423–1438. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0610-0>
50. Weissgerber M., Chanteloup L., Bonis A. Carbon Stock Increase During Post-agricultural Succession in Central France: No Change of the Superficial Soil Stock and High Variability Within Forest Stages. *New Forests*, 2024, vol. 55, pp. 1533–1555. <https://doi.org/10.1007/s11056-024-10044-y>
51. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016*. World Meteorological Organization (WMO), 2017. 28 p.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest

Краткое сообщение

УДК 630\*181.22

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-2-203-210

## Биогруппы дуба черешчатого как фактор повышения устойчивости дубрав на урбанизированных территориях

**В.В. Гревцова**<sup>1</sup>, *мл. науч. сотр.*; ResearcherID: [PJC-1465-2026](https://orcid.org/0000-0003-1463-9123),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1463-9123>

**О.С. Залывская**<sup>2</sup>, *д-р с.-х. наук, доц.*; ResearcherID: [AAY-4901-2020](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-6295>

<sup>1</sup>Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, ул. Ботаническая, д. 4, с. 1, Москва, Россия, 127106; vera3128@mail.ru<sup>✉</sup>

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; o.zalyskaya@narfu.ru

---

Поступила в редакцию 27.03.25 / Одобрена после рецензирования 15.06.25 / Принята к печати 16.06.25

---

**Аннотация.** Сохранение дубрав в условиях антропогенной нагрузки в урбанизированной среде является актуальной задачей. Целью исследования была комплексная оценка влияния группового и одиночного способов произрастания дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на устойчивость деревьев в условиях городской дубравы. Исследование проводили в зеленушково-разнотравной дубраве Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (г. Москва). На временной пробной площади было отобрано 60 деревьев в возрасте 110–140 лет. Их разделили на 2 равные выборки: одиночно растущие и деревья в естественных биогруппах. Для оценки структурной целостности древесины применен метод резистографии с последующим статистическим анализом данных. Установлено, что деревья в биогруппах характеризуются достоверно большей стабильностью роста. При близких средних диаметрах у одиночных деревьев и деревьев в биогруппах коэффициент вариации диаметра и его дисперсия были существенно выше у одиночных экземпляров. Деревья в биогруппах оказались в среднем на 1 м выше при меньшей вариабельности показателя. Анализ данных резистограмм выявил значительно бóльшую однородность здоровой заболонной древесины у деревьев в биогруппах. Фитосанитарная оценка показала достоверно превосходящую долю здоровой древесины и меньшее количество скрытых дефектов (очагов пониженного сопротивления) в биогруппах. Полученные результаты обосновывают целесообразность использования группового способа размещения деревьев дуба для повышения устойчивости, долговечности и фитосанитарного состояния дубрав, особенно на урбанизированных и рекреационно-нагруженных территориях.

**Ключевые слова:** *Quercus robur* L., дуб черешчатый, биогруппы дуба черешчатого, городские дубравы, городские леса, устойчивость насаждений, резистография, групповое произрастание, внутривидовое партнерство, Главный ботанический сад

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках госзадания ГБС РАН по теме № 122042700002-6 «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения».

**Для цитирования:** Гревцова В.В., Залывская О.С. Биогруппы дуба черешчатого как фактор повышения устойчивости дубрав на урбанизированных территориях // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 2. С. 203–210. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-203-210>

---

© Гревцова В.В., Залывская О.С., 2026

 Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

Brief report

## English Oak Biogroups as a Factor for Enhancing the Sustainability of Oak Forests in Urban Areas

Vera V. Grevtsova<sup>1</sup>✉, Junior Research Fellow; ResearcherID: [PJC-1465-2026](https://orcid.org/0000-0003-1463-9123),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1463-9123>

Olga S. Zalyvskaya<sup>2</sup>, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAV-4901-2020](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-6295>

<sup>1</sup>N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, ul. Botanicheskaya, 4, bld. 1, Moscow, Russian Federation, 127106; vera3128@mail.ru✉

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, Russian Federation, 163002; o.zalyvskaya@narfu.ru

---

Received on March 27, 2025 / Approved after reviewing on June 15, 2025 / Accepted on June 16, 2025

---

**Abstract.** This study assesses the influence of group (biogroup) versus solitary growth modes on the stability of English oak (*Quercus robur* L.) trees in an urban oak forest. The research was conducted in a Luzulo pilosae-Herbal oak forest at the N.V. Tsitsin Main Botanical Garden of the RAS (Moscow) on 60 trees aged 110–140 years. The sample was divided into two equal groups: solitary trees and trees in natural biogroups with interlocking crowns. The resistography method (Resistograph R650-EA) was applied to evaluate wood structural integrity and detect hidden defects. It was established that trees within biogroups are characterized by significantly higher growth stability. While mean diameters were similar for both groups, the coefficient of variation and variance of diameter were substantially higher for solitary specimens. Biogroup trees were on average 1 m taller with lower height variability. Analysis of resistograph data revealed significantly higher homogeneity of healthy sapwood in biogroups. Phytosanitary assessment demonstrated a significantly higher proportion of sound wood and a lower number of hidden defects (zones of reduced drilling resistance) in biogroup specimens compared to solitary ones. The results substantiate the effectiveness of utilizing the group planting approach as a silvicultural technique for enhancing the stability, longevity, and phytosanitary condition of oak stands in urban and recreationally stressed areas.

**Keywords:** *Quercus robur* L., English oak, biogroups, urban oak forests, urban forests, stand sustainability, resistography, group growth, intraspecific partnership, Main Botanical Garden

**Acknowledgments:** This work was supported by the state assignment of the Main Botanical Garden, RAS, topic No. 122042700002-6 "Biological Diversity of Natural and Cultivated Flora: Fundamental and Applied Aspects of Study and Conservation".

**For citation:** Grevtsova V.V., Zalyvskaya O.S. English Oak Biogroups as a Factor for Enhancing the Sustainability of Oak Forests in Urban Areas. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 2, pp. 203–210. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-2-203-210>

### Введение

За последние 3 десятилетия площади дубрав в европейской части России сократились в 2 раза, а оставшиеся насаждения демонстрируют признаки деградации [2, 5, 10]. Сохранение и повышение устойчивости дубрав, в т. ч. на урбанизированных территориях, представляет собой актуальную задачу для со-

временного лесного и лесопаркового хозяйства [8, 10, 14, 20]. Особенно остро эта проблема проявляется в черте г. Москвы, где дубравы, являющиеся особо охраняемыми природными территориями, также подвергаются интенсивному антропогенному воздействию [6].

В современном лесоводстве традиционная модель, основанная на представлении о конкуренции между деревьями, постепенно уступает место новой концепции, признающей кооперацию и внутривидовое партнерство как ключевые факторы формирования устойчивых фитоценозов [12, 13]. Эта трансформация обусловлена открытием закона неравномерного размещения деревьев. Согласно этому закону, во взрослых насаждениях деревья формируют агрегированную структуру независимо от изначального способа размещения или проведенных рубок [11, 12].

Исследования, выполненные в среднетаежных ельниках Верховьев Печоры, выявили четкую организацию подроста в биогруппы на расстоянии до 1,0 м, тогда как взрослые деревья размещаются случайно [7]. Такая пространственная организация отражает естественный ход лесовосстановления и подтверждает, что групповой способ размещения является эволюционно выработанной стратегией заселения территории [17]. Групповое произрастание следует рассматривать как эволюционно закрепленное свойство лесных сообществ. В условиях биогрупп создается благоприятная микросреда, способствующая реализации внутривидового партнерства. Это проявляется в срастании корневых систем, обмене питательными веществами и синхронизации физиологических процессов у соседних особей [4, 12, 15]. Однако при слишком высокой плотности размещения растений преимущества группового роста нивелируются из-за конкуренции за свет, питание и пространство.

Особую актуальность групповой подход приобретает в условиях урбанизированных территорий, поскольку рекреационные нагрузки являются наиболее сильным фактором, нарушающим организационную структуру и устойчивость лесных фитоценозов.

Несмотря на накопленные теоретические и практические данные по биогруппам в естественных лесах, остается недостаточно исследованной роль такого способа размещения деревьев в условиях урбанизированных территорий. Отсутствуют количественные оценки влияния способа произрастания (одиночного или группового) на структурную целостность древесины и фитосанитарное состояние стволов дуба черешчатого в городских условиях. Метод резистографии, широко применяемый для оценки скрытых дефектов древесины в урбанизированной среде [1, 19, 21–23], ранее не использовался для сравнительного анализа одиночно растущих деревьев и деревьев в биогруппах.

Целью настоящего исследования было оценить влияние группового способа произрастания на устойчивость дуба черешчатого в условиях урбанизированной среды на основе комплексного анализа таксационных показателей и структурных характеристик древесины.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования выступила зеленчуково-разнотравная дубрава Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН (ГБС РАН, г. Москва). На наиболее типичном по почвенным условиям, рельефу и составу древостоя

участке была заложена временная пробная площадь размером  $100 \times 100$  м. Рельеф характеризуется слабым уклоном (0,5 %) в направлении северо-запад–юго-восток. В пределах пробной площади выделили 60 деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в возрасте 110–140 лет. Эти деревья были разделены на 2 выборки по 30 экземпляров: одиночно растущие деревья и деревья в естественных био группах (деревья с соприкасающимися или пересекающимися кронами). Среднее расстояние между деревьями дуба в био группах составляет 7–10 м, диаметр крон – 6–12 м. Диаметр крон одиночно расположенных деревьев – 14–16 м. Такое разделение позволило провести сравнительный анализ влияния способа произрастания на устойчивость насаждений в условиях городской дубравы ГБС РАН.

Таксационные показатели – диаметр на высоте 1,3 м и высоту – измеряли стандартными лесоустроительными методами. Для оценки структурной целостности древесины применяли метод резистографии с использованием прибора Resistograph R650-ЕА. Сверление проводили на высоте груди в направлении юг–север на глубину 10 см. Анализ однородности здоровой заболонной древесины выполняли по профилю сопротивления сверлению в диапазоне 4–10 см, исключая зону коры. С каждого дерева получали по 500 показаний сопротивления. Для выявления стволовых гнилей проводили расшифровку полного профиля сверления от коры до центра ствола с использованием программы DECOM.

Статистическую обработку данных осуществляли в пакете PAST 4.17 [18]. Для оценки различий между группами применяли непараметрические критерии Манна–Уитни и Бруннера–Мюнцеля. Многомерный анализ проводили методом главных компонент (РСА). Кластеризацию – методом Уорда с евклидовой метрикой расстояний. Статистическую надежность дендрограммы оценивали бутстреп-анализом (1000 реплик), достоверными считали узлы с поддержкой выше 50 % [16].

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Сравнительный анализ таксационных показателей выявил принципиальные различия в стабильности роста дуба черешчатого в зависимости от способа произрастания. Средние диаметры на высоте 1,3 м были близкими у одиночных деревьев и деревьев в био группах –  $56,7 \pm 1,8$  и  $55,9 \pm 1,3$  см соответственно. Ключевое отличие проявилось в вариабельности признака. Коэффициент вариации диаметра составил 17,6 % у одиночных деревьев и 12,8 % у деревьев в био группах. Дисперсия различалась почти в 2 раза (99,2 и 51,1 соответственно). Диапазон значений у одиночных экземпляров был шире (38,0–76,0 см), что свидетельствует о наличии угнетенных и аномально развитых деревьев. По высоте несходство оказалось более выраженным. Деревья в био группах превосходили одиночные на 1,0 м ( $22,2 \pm 0,2$  и  $21,2 \pm 0,5$  м соответственно) при значительно меньшей вариабельности (коэффициент вариации 5,6 и 12,0 %). Минимальная высота в био группах составила 20 м. Среди одиночных деревьев встречались слаборазвитые экземпляры высотой 17 м.

Анализ структурной целостности древесины методом резистографии подтвердил преимущества группового произрастания. Оценка однородности здоровой заболонной древесины в диапазоне 4–10 см от поверхности коры вы-

явила достоверно меньший коэффициент вариации сопротивления сверлению у деревьев в био группах (5,6), чем у одиночных (12,0). Результаты применения метода главных компонент и кластерного анализа методом Уорда с бутстреп-поддержкой (1000 реплик) показали формирование компактного кластера у деревьев в био группах, что отражает высокую однородность внутренней структуры ствола. Напротив, одиночные деревья демонстрировали разбросанные позиции в пространстве признака, указывающие на нестабильность условий роста.

Фитосанитарная оценка стволов выявила достоверно лучшее состояние древесины в био группах. Доля здоровой древесины была выше (критерий Манна–Уитни:  $U = 288,5$ ;  $p = 0,017$ ), а количество очагов пониженного сопротивления сверлению меньше (критерий Бруннера–Мюнцеля:  $p = 0,040$ ).

Данные других исследований подтверждают устойчивость и долговечность био групп как структурной единицы лесного фитоценоза. Так, в 180-летнем сосновом древостое Кировского района г. Перми до 40 % деревьев продолжают расти именно в био группах. При этом их диаметры статистически не отличаются от средних по древостою, а между показателями соседних деревьев наблюдается положительная корреляция ( $r = 0,47-0,58$ ), что свидетельствует о партнерском типе взаимодействия, а не о конкуренции [11]. Эти наблюдения опровергают устоявшийся тезис о неизбежном угнетении при плотном размещении [12]. При восстановлении дубрав на основе естественного возобновления в Среднем Поволжье при осветлении лучший рост дуба черешчатого наблюдался именно в био группах [9]. Аналогичные результаты получены при восстановлении кедровых лесов Дальнего Востока методом реконструктивно-семенных посадок мелкоконтурными участками (био группами), что обеспечило сохранность более 80 % саженцев и высокий прирост без последующего ухода [3].

Полученные нами результаты показывают, что био группы не только обеспечивают внешнюю однородность древостоя городской дубравы ГБС РАН по таксационным показателям, но и формируют более стабильную внутреннюю структуру древесины дуба – одного из индикаторов долгосрочной устойчивости насаждений.

### *Выводы*

1. Групповой способ произрастания дуба черешчатого в естественных био группах в условиях городской дубравы ГБС РАН обеспечивает достоверно более высокую стабильность роста по сравнению с одиночным размещением.

2. Средние диаметры на высоте 1,3 м практически идентичны у одиночных деревьев и деревьев в био группах, однако коэффициент вариации у расположенных отдельно экземпляров выше, а дисперсия почти в 2 раза больше, что свидетельствует о неоднородности условий произрастания одиночных деревьев.

3. Анализ однородности здоровой заболонной древесины методом резистографии выявил достоверно меньший коэффициент вариации сопротивления сверлению у деревьев в био группах, что также отражает стабильность условий роста. Результаты, полученные с применением метода главных компонент и кластерного анализа методом Уорда с бутстреп-поддержкой (1000 реплик) подтвердили формирование компактного кластера у деревьев в био группах,

свидетельствующего о высокой однородности внутренней структуры ствола, в отличие от разбросанных позиций одиночных деревьев.

4. Фитосанитарная оценка стволов показала достоверно более высокую долю здоровой древесины в биогруппах и меньшее количество очагов пониженного сопротивления сверлению, что указывает на меньшее количество скрытых дефектов.

5. Восстановление дубрав созданием биогрупп может быть эффективным лесоводственным приемом повышения устойчивости насаждений на урбанизированных территориях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Волкодаева М.В. О методах контроля состояния зеленых насаждений урбанизированных территорий // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 4(54). С. 65–70.

Volkodaeva M.V. On Methods for Monitoring the Condition of Urban Green Spaces. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* = Environmental Monitoring Systems, 2023, no. 4(54), pp. 65–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2023-4-65-70>

2. Деградация дубрав Центрального Черноземья: моногр. / под общ. ред. Н.А. Харченко. Воронеж: Воронежск. гос. лесотехн. акад., 2010. 604 с.

*Degradation of Oak Forests in the Central Chernozem Region: A Monograph*. Ed. by N.A. Kharchenko. Voronezh, Voronezh State University of Forestry and Technologies Publ., 2010. 604 p. (In Russ.).

3. Ковалев А.П., Шешуков М.А., Позднякова В.В. Метод восстановления кедровых лесов на Дальнем Востоке // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 3. С. 77–83.

Kovalev A.P., Sheshukov M.A., Pozdnyakova V.V. A Method for Restoring Cedar Forests in the Far East. *Lesnoy zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2018, no. 3, pp. 77–83. (In Russ.).

4. Колтунова А.И. О формировании горизонтальной структуры и срастании корневых систем в древостоях сосны // Эко-потенциал. 2013. № 3–4(3–4). С. 136–142.

Koltunova A.I. On the Formation of Horizontal Structure and Root Grafting in Pine Stands. *Eko-potentsial* = Eco-Potential, 2013, no. 3–4(3–4), pp. 136–142. (In Russ.).

5. Конашова С.И. Состояние и рост дубрав в Восточно-Европейской части России // Лесн. вестн. / Forestry bulletin. 2007. № 6. С. 43–46.

Konashova S.I. Condition and Growth of Oak Forests in the East European Part of Russia. *Lesnoi vestnik* = Forestry bulletin, 2007, no. 6, pp. 43–46. (In Russ.).

6. Манджи О., Ярославцев А.М., Васнев И.И. Оценка антропогенного воздействия на лесные экосистемы города Москвы // Journal of Agriculture and Environment. 2023. Т. 6, № 34. Режим доступа: <https://jae.cifra.science/en/archive/6-34-2023-june/10.23649/JAE.2023.34.2> (дата обращения: 25.02.26).

Mandzhi O., Yaroslavtsev A.M., Vasenev I.I. Assessment of Anthropogenic Impact on Forest Ecosystems of Moscow City. *Journal of Agriculture and Environment*, 2023, vol. 6, no. 34. (In Russ.). <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.34.2>

7. Манов А.В., Кутявин И.Н. Пространственные взаимосвязи в размещении древесных растений в среднетаежных коренных ельниках верховьев реки Печоры // Сиб. лесн. журн. 2021. № 2. С. 82–95.

Manov A.V., Kutyavin I.N. Spatial Interrelationships in the Distribution of Woody Plants in Primary Middle-Taiga Spruce Forests of the Upper Pechora River. *Sibirskii lesnoi zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2021, no. 2, pp. 82–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20210208>

8. Научные основы устойчивого управления лесами: материалы IV Всерос. науч. конф. с Междунар. участием. М.: ЦЭПЛ РАН, 2020. 252 с.

*Scientific Foundations for Sustainable Forest Management: Proceedings of the 4th All-Russian Scientific Conference with International Participation*. Moscow, TsePL RAN Publ., 2020. 252 p. (In Russ.).

9. Петров В.А., Ильин Ф.С., Кузнецова Н.Ф. Восстановление дубрав на основе естественного возобновления дуба в Среднем Поволжье // Лесохоз. информ. 2022. № 1. С. 35–49.

Petrov V.A., Il'in F.S., Kuznetsova N.F. Restoration of Oak Forests Based on Natural Regeneration of Oak in the Middle Volga Region. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2022, no. 1, pp. 35–49. (In Russ.).

10. Пуряев А.С., Зарипов И.Н., Петров В.А. Дубравы Среднего Поволжья: состояние, воспроизводство и сохранение // Лесохоз. информ. 2019. № 3. С. 190–198.

Puryaev A.S., Zaripov I.N., Petrov V.A. Oak Forests of the Middle Volga Region: Condition, Reproduction, and Conservation. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2019, no. 3, pp. 190–198. (In Russ.).

<https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.3.16>

11. Рогозин М.В. Био группы в старых насаждениях сосны // Вестн. Пермск. ун-та. Сер.: Биология. 2018. № 2. С. 150–158.

Rogozin M.V. Biogroups in Old Pine Plantations. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya* = Perm University Herald. Biology, 2018, no. 2, pp. 150–158. (In Russ.).

<https://doi.org/10.17072/1994-9960-2018-2-150-158>

12. Рогозин М.В. Структура древостоев: конкуренция или партнерство? Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2019. 223 с.

Rogozin M.V. Forest Stand Structure: Competition or Partnership? Perm, Perm State National Research University Publ., 2019. 223 p. (In Russ.).

13. Рогозин М.В. Пространственный анализ конкуренции и сотрудничества деревьев в культурах сосны // Вестн. Пермск. ун-та. Сер.: Биология. 2021. № 4. С. 235–248.

Rogozin M.V. Spatial Analysis of Competition and Cooperation Among Trees in Pine Plantations. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya* = Perm University Herald. Biology, 2021, no. 4, pp. 235–248. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2021-4-235-248>

14. Савченкова В.А., Гревцова В.В., Касьянова У.Ю., Цабаева К.А. Современное состояние дубравы Главного ботанического сада и повышение устойчивости дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) // Лесохоз. информ. 2019. № 2. С. 69–79.

Savchenkova V.A., Grevtsova V.V., Kas'yanova U.Yu., Tsabaeva K.A. Current State of the Main Botanical Garden Oak Forest and Enhancement of English Oak (*Quercus robur* L.) Sustainability. *Lesokhozyaistvennaya informatsiya* = Forestry Information, 2019, no. 2, pp. 69–79. (In Russ.).

15. Усольцев В.А. Срастание корневых систем деревьев: экология, биология, моделирование // Сиб. лесн. журн. 2025. № 2. С. 20–46.

Usol'tsev V.A. Grafting of Tree Root Systems: Ecology, Biology, Modelling. *Sibirskii lesnoi zhurnal* = Siberian Journal of Forest Science, 2025, no. 2, pp. 20–46. (In Russ.).

16. Шитиков В.К. Использование рандомизации и бутстрапа при обработке результатов экологических наблюдений // Принципы экологии. 2012. № 1. С. 4–24.

Shitikov V.K. The Use of Randomization and Bootstrapping in Processing Ecological Observation Results. *Printsipy ekologii* = Principles of Ecology, 2012, no. 1, pp. 4–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.15393/j1.art.2012.481>

17. Gu L., O'Hara K.L., Li W.Z., Gong Z.W. Spatial Patterns and Interspecific Associations Among Trees at Different Stand Development Stages in the Natural Secondary Forests on the Loess Plateau, China. *Ecology and Evolution*, 2019, no. 9(11), pp. 6410–6421. <https://doi.org/10.1002/ece3.5216>

18. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.006>

19. Johnstone D., Moore G., Tausz M., Nicolas M. The Measurement of Wood Decay in Landscape Trees. *Arboriculture & Urban Forestry (AUF)*, 2010, no. 36(3), pp. 121–127. <https://doi.org/10.48044/jauf.2010.016>

20. Mölder A., Meyer P., Ralf-Volker N. Integrative Management to Sustain Biodiversity and Ecological Continuity in Central European Temperate Oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) Forests: An Overview. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 437, pp. 324–339.

21. Rinn F. Basics of Micro-Resistance Drilling for Timber Inspection. *Holztechnologie*, 2012, no. 3, pp. 24–29.

22. Rinn F. Practical Application of Micro-Resistance Drilling for Timber Inspection. *Holztechnologie*, 2013, no. 4, pp. 32–38.

23. Rinn F., Schweingruber F. Resistograph and X-Ray Density Charts of Wood. Comparative Evaluation of Drill Resistance Profiles and X-ray Density Charts of Different Wood Species. *Holzforschung*, 1996, vol. 50, iss. 4, pp. 303–311. <https://doi.org/10.1515/HFSG.1996.50.4.303>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interests