

ISSN 2306-2827 (Print)
ISSN 3034-3038 (Online)

ВЕСТНИК

Поволжского государственного
технологического университета

**ЛЕС
ЭКОЛОГИЯ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**



2024



<http://www.volgatch.net/>

ВЕСТНИК

3(63)
2024

июль – сентябрь

ПОВОЛЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

СЕРИЯ «Лес. Экология. Природопользование»

Научный журнал

Издаётся с ноября 2007 года

Выходит четыре раза в год

Журнал публикует оригинальные результаты исследований по лесному хозяйству, физико-химической биологии, а также по технологиям, материалам и оборудованию лесозаготовок, лесного хозяйства, деревообработки и химической переработки биомассы дерева.

Журнал включён в систему РИНЦ, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY и ПЕРЕЧЕНЬ рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Учредитель и издатель:

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 67093 от 15 сентября 2016 г.)

Полное или частичное воспроизведение материалов, содержащихся в настоящем издании, допускается только с письменного разрешения редакции.

Адрес издателя и редакции:

424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Тел. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Факс (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Редактор, корректор *Т. А. Рыбалка*

Дизайн обложки *Л. Г. Маланкина*

Компьютерная верстка

Т. В. Отмахова

Перевод на английский язык

Ж. О. Кузьминых

Подписано в печать 30.09.24.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 10,93.

Тираж 500 экз. Заказ № 3781

Дата выхода в свет: 14.11.24.

Цена свободная

Поволжский государственный технологический университет
424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Вертола»

424004, Йошкар-Ола,
ул. Льва Толстого, 45

Главный редактор

Е. М. Романов, д-р с.-х. наук, профессор

Редакционный совет

Э. А. Курбанов, д-р с.-х. наук, профессор (*председатель*)

Ioannis Z. Gitas, профессор Университета Аристотеля (Салоники, Греция)

Cecil C. Konijnendijk, профессор Университета Британской Колумбии (Ванкувер, Канада)

Davide Pettenella, профессор (Университет Падуи, Италия)

В. В. Усенья, д-р с.-х. наук, профессор, акад. НАН Беларуси (Минск)

Редакционная коллегия

С. А. Денисов, д-р с.-х. наук, профессор (*зам. гл. редактора*)

В. П. Бессечёнов, д-р биол. наук, профессор (Нижегород)

О. Н. Бурмистрова, д-р техн. наук, профессор (Ухта)

Л. В. Ветчинникова, д-р биол. наук, доцент (Петрозаводск)

О. Н. Воробьёв, канд. с.-х. наук, доцент

Е. А. Гончаров, канд. с.-х. наук, доцент

Ю. П. Демаков, д-р биол. наук, профессор

(*отв. секретарь*)

Н. Н. Дубенок, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН (Москва)

Т. Л. Егошина, д-р биол. наук, профессор (Киров)

А. В. Жигунов, д-р с.-х. наук, профессор (Санкт-Петербург)

А. В. Каверин, д-р с.-х. наук, профессор (Саранск)

М. А. Карасёва, д-р с.-х. наук, профессор

С. А. Куролап, д-р геогр. наук, профессор (Воронеж)

Д. И. Мухортов, д-р с.-х. наук, доцент (*зам. гл. редактора*)

А. М. Носов, д-р биол. наук, профессор (Москва)

А. Н. Переволоцкий, д-р биол. наук (Москва)

А. С. Рулёв, д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН (Волгоград)

В. В. Тараканов, д-р с.-х. наук, профессор (Новосибирск)

С. А. Угрюмов, д-р техн. наук, профессор (Санкт-Петербург)

Е. М. Царёв, д-р техн. наук, профессор

В. Л. Черных, д-р с.-х. наук, профессор

С. И. Чумаченко, д-р биол. наук, профессор (Москва)

Г. О. Османова, д-р с.-х. наук, доцент

К. П. Рукомойников, д-р техн. наук, доцент

В. И. Стурман, д-р геогр. наук, профессор (Санкт-Петербург)

Е. С. Шарапов, д-р техн. наук, доцент

О. В. Шейкина, канд. с.-х. наук, доцент

Ю. А. Ширинин, д-р техн. наук, профессор

VESTNIK

3(63)
2024

July – September

OF VOLGA STATE UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY

Series «**Forest. Ecology. Nature Management**»

Academic Periodical

Has been published since 11, 2007

Is issued 4 times a year

The original results of researches for forest management, physico-chemical biology as well as for material and equipment of forest harvesting operations, forestry, woodworking and chemical treatment of tree biomass are published in the journal.

The journal has been included in the Russian Science Citation Index (RSCI) database, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY and in the list of peer-reviewed scientific editions for publishing the essential scientific results of the theses for the degrees of Candidate and Doctor of Sciences

Founder and Publisher:

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volga State University of Technology»

The journal is included in the register of Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Certificate of registration ПИ № ФС 77 – 67093 dated 15 September, 2016)

Any use of articles without the written consent of the editorial board is strictly prohibited.

Address:

424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Square

Tel. (8362) 68-78-46, 68-28-41

Fax (8362) 41-08-72

E-mail: vestnik@volgatech.net

Editor, proofreader *T. A. Rybalka*

Cover design *L. G. Malankina*

Computer assisted make up

T. V. Otmahova

Translation

Z. O. Kuzminykh

Passed for printing 30.09.24.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 10,93

Printing run 500 copies. Order No 3781.

Release date: 14.11.24.

Open price

Volga State University of Technology
424000, Yoshkar-Ola, 3, Lenin Square

Printed from the original layout
at LLC «Vertola»

424004, Yoshkar-Ola,
45, Leo Tolstoy St.

Editor-in-Chief

Evgeny M. Romanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Editorial Board:

Eldar A. Kurbanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (*Chairman*)

Ioannis Z. Gitas, Professor, Aristotle University of Thessaloniki (Thessaloniki, Greece)

Cecil C. Konijnendijk, Professor (The University of British Columbia, Vancouver, Canada)

Davide Pettenella, Doctor in Science in forest policy and economics (University of Padova, Italy)

Vladimir V. Usenya, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk)

Editorial team:

Sergey A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (*Vice Editor-in-Chief*)

Dmitry I. Mukhortov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor (*Vice Editor-in-Chief*)

Vladimir P. Besschetnov, Doctor of Biological Sciences, Professor (Nizhny Novgorod)

Olga N. Burmistrova, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukhta)

Lidia V. Vetchinnikova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor (Petrozavodsk)

Oleg N. Vorobyov, PhD in Agriculture, Associate Professor

Evgeny A. Goncharov, PhD in Agriculture, Associate Professor

Yuriy P. Demakov, Doctor of Biological Sciences, Professor (*Executive Secretary*)

Nikolay N. Dubenok, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Moscow)

Tatiana L. Egoshina, Doctor of Biological Sciences, Professor (Kirov)

Anatoliy V. Zhigunov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (St. Petersburg)

Aleksandr V. Kaverin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Saransk)

Margarita A. Karaseva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Semen A. Kurolap, Doctor of Geographical Sciences, Professor (Voronezh)

Aleksandr M. Nosov, Doctor of Biological Sciences, Professor (Moscow)

Aleksandr N. Perevolotsky, Doctor of Biological Sciences (Moscow)

Aleksandr S. Rulev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Volgograd)

Vyacheslav V. Tarakanov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor (Novosibirsk)

Sergey A. Ugryumov, Doctor of Technical Sciences, Professor (St. Petersburg)

Evgeny M. Tsarev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Valeriy L. Chernykh, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Sergey I. Chumachenko, Doctor of Biological Sciences, Professor (Moscow)

Konstantin P. Rukomoynikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Vladimir I. Sturman, Doctor of Geographical Sciences, Professor (St. Petersburg)

Evgeny S. Sharapov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Olga V. Sheykina, PhD in Agriculture, Associate Professor

Yuriy A. Shirnin, Doctor of Technical Sciences, Professor

© Volga State University of Technology, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Колонка главного редактора

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С. Региональные особенности содержания сухого вещества во фракциях фитомассы деревьев сосны обыкновенной

Нуреев Н. Б. Классификационное положение почв, развитых на пермских красноцветных отложениях под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл

Костин П. И., Быковский М. А. Новая технология отвода лесосек с применением беспилотных авиационных аппаратов и радиомаяков

Мухаметова С. В. Показатели качества плодов фундука (*Corylus*)

Тагирова О. В., Иванов Р. С., Кулагин А. Ю. Сезонная динамика содержания хлорофиллов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

Царёв Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов И. С., Анисимов Н. С., Макаров В. Е. Устройства для кольцевания деревьев при рубках ухода в молодняках

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В., Титов И. Е., Шубина О. А. Прогноз радиоактивного загрязнения продукции сельского и лесного хозяйства на бывших сельскохозяйственных угодьях Брянской области

Информация для авторов

CONTENTS

5 Editor's note

FORESTRY

Usoltsev V. A., Plyukha N. I., Tsepordey I. S. Regional Peculiarities of Dry Matter Content in the Phytomass Fractions of Scots Pine Trees

6

Nureev N. B. Classification Position of Soils Developed on Permian Red-Colored Sediments under Forest Plantations in the Conditions of the Republic of Mari El

20

Kostin P. I., Bykovsky M. A. A New Technology of Coupe Demarcation Using Unmanned Aerial Vehicles and Radiobeacons

34

Mukhametova S. V. Quality Indicators of Hazelnut (*Corylus*) Fruits

44

Tagirova O. V., Ivanov R. S., Kulagin A. Y. Seasonal Dynamics of the Chlorophyll Content in the Leaves of Silver Birch (*Betula pendula* Roth) under Conditions of Industrial Pollution

55

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

Tsarev E. M., Rukomojnikov K. P., Anisimov I. S., Anisimov N. S., Makarov V. E. Devices for Tree Ringing during Thinning in Young Forests

71

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE MANAGMENT. BIOTECHNOLOGIES

Perevolotsky A. N., Perevolotskaya T. V., Titov I. E., Shubina O. A. Forecast of Radioactive Contamination of Agricultural and Forestry Products on Former Agricultural Lands of the Bryansk Region

82

94 Information for the authors

Уважаемые коллеги!

Представляем вашему вниманию очередной номер нашего журнала за 2024 год.

Раздел «Лесное хозяйство» открывает статья, в которой впервые на основе авторской базы данных выявлены региональные особенности содержания сухого вещества (ССВ) в надземной и подземной фитомассе сосны обыкновенной на территории Северной Евразии. Представленные закономерности изменения ССВ в различных фракциях фитомассы могут быть использованы при оценках углерододепонирующей способности сосновых лесов данной части планеты. Вторая статья посвящена оценке влияния карбонатных почвообразующих пород на качественные признаки почвы под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл и анализ их классификационного положения в свете современной версии КиДПР. В почвах, формирующихся на карбонатных породах вне зависимости от наличия и состава лесных насаждений, степень проявления элювиального процесса заметно снижена. Это свидетельствует о приоритетном значении состава почвообразующих пород во влиянии на строение почвенного профиля и установление её классификационного положения на различных уровнях. В третьей статье представлена технология отвода лесосек при помощи беспилотных летательных аппаратов. Её применение значительно повышает эффективность процесса отвода, сокращает трудоёмкость и увеличивает точность закрепления границ лесосеки. В четвёртой статье дан анализ показателей качества плодов фундука и возможности их размножения в условиях Республики Марий Эл. Масса и размеры плодов фундука обусловлены сортовой принадлежностью при незначительном влиянии фактора погодных условий. Сорт «Академик Яблоков» рекомендуется для выращивания в условиях Волго-Вятского региона. В завершающей данный раздел статье на основе полученных сведений о сезонной динамике изменений содержания хлорофиллов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) делается вывод, что в условиях загрязнения окружающей среды происходит успешная адаптивная настройка хлорофилл-белкового комплекса ассимиляционного аппарата растения. При этом мелколистная форма берёзы повислой отличается более высокой изменчивостью содержания хлорофиллов в течение вегетационного периода, как в жилой, так и промышленной зонах, что является проявлением адаптивных реакций на условия произрастания.

В разделе «Технологии и машины лесного дела» представлена конструктивная проработка вариантов механизмов для кольцевания деревьев при рубках ухода в молодняках. Предложено несколько конструктивных вариантов механизмов для кольцевания деревьев, подлежащих удалению. Их использование обеспечивает низкую утомляемость рабочих при выполнении лесоводственных уходов за молодняками.

В разделе «Проблемы экологии и рационального природопользования» дана прогнозная оценка распределения бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения и группам почв, а также удельной активности ^{137}Cs в продукции сельского и лесного хозяйства. При выращивании на этой территории озимой ржи соответствующее допустимому нормативу на содержание ^{137}Cs возможно получить на площади 2,3 тыс. га в 2024 году и 6,1 тыс. га в 2055 году. Выращивание картофеля и получение кормов возможно на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах при плотности загрязнения ^{137}Cs $< 555 \text{ кБк/м}^2$ (3,8 тыс. га), а на легко- и средне-супесчаных – $< 1480 \text{ кБк/м}^2$ (5,7 тыс. га). Передача данных земель в лесной фонд для создания искусственных насаждений является одним из эффективных и безопасных путей их использования.

Уважаемые читатели, мы надеемся, что результаты исследований, представленные в этом номере, будут вам интересны и полезны в работе.

Профессор Евгений Романов



Dear colleagues!

We are pleased to present the new 2024 issue of our journal.

The section "Forestry" starts with an article in which, for the first time, based on the author's database, regional peculiarities of the dry matter content (DMC) in the aboveground and belowground phytomass of Scots pine in Northern Eurasia are identified. The presented patterns of change in DMC in different phytomass fractions can be used in assessing the carbon sequestration capacity of pine forests in this part of the planet.

The second article is devoted to the evaluation of the impact of carbonate soil-forming rocks on the qualitative characteristics of soils under forest plantations in the Republic of Mari El, as well as the analysis of their classification position in light of the updated version of the Russian soil classification system KiDPR. Soils formed on carbonate rocks, regardless of the presence or composition of forest plantations, exhibit a marked decrease in the degree of eluviation. This indicates the priority importance of the parent material composition in affecting the soil profile structure and determining the soil classification position at different levels. The third article presents a coupe demarcation technology using unmanned aerial vehicles. Its application significantly increases the efficiency of the coupe demarcation process, reduces its labor intensity and improves the accuracy of fixing the boundaries of an area designated for logging. The fourth article analyzes the quality indicators of hazelnut fruits and the possibility of hazel reproduction in the Republic of Mari El. The weight and size of hazelnuts are determined by the varieties they belong to, with an insignificant influence of the weather factor. The cultivar 'Akademik Yablokov' is recommended for growing in the Volga-Vyatka region. In the final article of the section, based on the obtained data on the seasonal dynamics of changes in the chlorophyll content in the leaves of the silver birch (*Betula pendula* Roth), it is concluded that in the conditions of environmental pollution, successful adaptive adjustment of the chlorophyll-protein complex of the assimilation apparatus of the plant takes place. At the same time, the small-leaved form of the silver birch is characterized by a higher variability of chlorophyll content during the vegetation period, both in residential and industrial zones, which is a manifestation of its adaptive reactions to the growing conditions.

The section "Forestry Technologies and Machines" presents a design study of the variants of mechanisms for ringing trees during thinning in young forests. Several design options of mechanisms for ringbarking trees subject to removal are proposed. Their use ensures low fatigue of workers when performing silvicultural treatments of young forests.

The section "Problems of Ecology and Rational Nature Management" provides a predictive assessment of the distribution of former agricultural lands across radioactive contamination zones and soil groups, as well as the specific activity of ^{137}Cs in agricultural and forestry products. In the case of growing winter rye on this territory, grain corresponding to the permissible standard for the content of ^{137}Cs can be obtained on an area of 2.3 thousand hectares in 2024 and 6.1 thousand hectares in 2055. Growing potatoes and obtaining fodder is possible on sod-podzolic sandy and sandy loam soils with a ^{137}Cs contamination density less than 555 kBq/m² (3.8 thousand hectares), and on light and medium sandy soils – less than 1480 kBq/m² (5.7 thousand hectares). The transfer of these lands to the forest fund for establishing forest plantations is one of the effective and safe ways of their use.

Dear readers, we hope that the research results presented in this issue will be interesting and useful for you.

Professor Evgeniy Romanov

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО FORESTRY

Научная статья

УДК 630*52:630*174.754

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.6>

EDN: MQBVKU

Региональные особенности содержания сухого вещества во фракциях фитомассы деревьев сосны обыкновенной

В. А. Усольцев^{1, 2✉}, Н. И. Плюха¹, И. С. Цепордей²

¹ Уральский государственный лесотехнический университет,
Российская Федерация, 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

² Ботанический сад УрО РАН,
Российская Федерация, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202а
Usoltsev50@mail.ru ✉

Аннотация. *Введение.* Квалиметрия надземной и подземной биомассы деревьев является составной частью исследований биологической продуктивности и углероддепонирующей способности лесного покрова, необходимых для корректной оценки углеродного цикла в земной биосфере в связи с изменением климата. Содержание сухого вещества (ССВ) во фракциях фитомассы определяет специфику продукционного процесса дерева, и для его оценки в трансконтинентальных градиентах необходима соответствующая база данных. Наличие впервые сформированной авторской базы данных о квалиметрии лесообразующих пород Северной Евразии позволило сформулировать *цель* исследования – выявить региональные особенности ССВ в надземной и подземной фитомассе сосны обыкновенной на территории Северной Евразии. *Объекты и методы.* Для осуществления цели исследования из авторской базы данных о квалиметрических показателях основных пород Северной Евразии взяты 3 700 показателей ССВ в надземной фитомассе и 89 – в фитомассе корней сосны обыкновенной, полученные на территории восьми регионов Северной Евразии. На их основе разработаны регрессионные модели смешанного типа, включающие две разновидности независимых переменных – численные, принимающие значения из непрерывного ряда чисел, и фиктивные переменные, представляющие дискретные качественные характеристики, в частности, принадлежность данных к той или иной породе. *Результаты.* Построены модели зависимости ССВ от возраста дерева и диаметра ствола на высоте груди, включающие блок фиктивных переменных. Регрессионные коэффициенты при численных переменных значимы на уровне вероятности от $p < 0,001$ до $p < 0,05$, и это означает, что построенные модели, дифференцированные по регионам Северной Евразии, характеризуются статистически значимым вкладом возраста дерева и диаметра ствола в объяснение изменчивости ССВ во всех фракциях фитомассы. *Выводы.* Ранжирование регионов по величине ССВ во фракциях фитомассы показало наличие существенных различий между ними. Эти различия достигают для ССВ в древесине ствола, коре ствола, хвое и ветвях соответственно 10, 14, 22 и 14 %. Из фракций фитомассы наибольшее межрегиональное различие (22 %) приходится на ССВ в хвое, с максимумом в Западной Сибири и минимумом в центре Русской равнины. Представленные закономерности изменения ССВ в различных фракциях фитомассы могут быть полезны при оценках абсолютно сухой фитомассы и углероддепонирующей способности сосновых лесов в разных регионах Северной Евразии.

Ключевые слова: содержание сухого вещества; древесина и кора ствола; хвоя; ветви; модели смешанного типа; региональные различия

Финансирование: работа выполнена согласно государственному заданию Ботанического сада УрО РАН.

Для цитирования: Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С. Региональные особенности содержания сухого вещества во фракциях фитомассы деревьев сосны обыкновенной // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3 (63). С. 6–19. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.6>; EDN: MQBVKU

© Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С., 2024

Введение

В последние годы мировая лесная экология характеризуется интенсивными исследованиями биологической продуктивности лесов в предположении антропогенного изменения климата и поиска возможностей его стабилизации. Квалиметрия наземной и подземной фитомассы является одним из направлений в исследованиях биологической продуктивности и углероддепонирующей способности лесного покрова, необходимых для корректной оценки углеродного цикла в земной биосфере в связи с изменением климата [1].

Для глобального количественного описания биосферных функций лесного покрова, в частности, его углероддепонирующей способности, необходимы соответствующие базы данных, включающие в себя количественные характеристики мировых лесов. Развивающиеся возможности IT-технологий открывают для этого широкие перспективы, а термин Big Data становится одним из ключевых (<https://www.osp.ru/iz/bigdata2018/>). Основная цель Big Data, тесно связанных с облачными технологиями, заключается в использовании огромных вычислительных и депозитарных ресурсов под централизованным управлением. Развитие облачных вычислений решает проблему хранения и обработки больших данных. Технология распределённого хранения информации, основанная на облачных вычислениях, искусственном интеллекте и нейронных сетях, даёт возможность эффективно управлять «большими данными» [2]. В связи с наступлением эры больших данных (Big Data Era) [3] актуализируется формирование мировых баз данных о количественных и качественных показателях фитомассы растительного покрова. Наличие подобных планетарных баз данных даёт возможность корректной оценки глобальной биосферной роли лесного покрова планеты.

Известно, что квалиметрические характеристики деревьев и древостоев довольно изменчивы и варьируют с возрас-

том, а также в связи с экологическими и другими факторами [4]. В условиях непрерывно возрастающей глобальной роли лесного покрова планеты исследование квалиметрических показателей деревьев и древостоев становится одним из приоритетных направлений. Развитие неразрушающих методов оценки квалиметрических показателей фитомассы деревьев и технологий наземного и дистанционного лазерного зондирования создаёт условия для прогресса в этом приоритетном научном направлении. Оперативное прогнозирование содержания влаги в древесине методом спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне позволяет снизить расходы на её обработку и оптимизировать процесс сушки за счёт предварительного распределения сортиментов по классам влажности [5].

Содержание сухого вещества во фракциях фитомассы деревьев (показатель, обратный влажности) является одним из ключевых признаков, дающих сведения о механических свойствах древесины и полезную информацию для многих промышленных и научных целей. Большинство физиологических процессов, связанных с транспирацией и фотосинтезом в листьях, невозможны без участия воды. Влажность растительных тканей определяет специфику физиологии растений. Для поддержания жизнедеятельности клеткам растений требуется 85–89 % воды, и от содержания воды в растительных тканях зависит рост и устойчивость растений [6]. ССВ в листе влияет на ход процесса фотосинтеза, продуцирования ассимилятов, связывания CO₂ и выделения кислорода [7].

Одной из ключевых характеристик продуктивности ассимиляционного аппарата является удельная поверхность листовой или хвои (specific leaf area – SLA) как отношение поверхности к абсолютно сухой массе [8]. Она может быть определена по её связи с ССВ. Эта зависимость, описанная степенной функцией по эмпирическим данным 780 выборок листовой в совокупно-

сти древесных, кустарниковых и травянистых растений, объяснила 92 % изменчивости удельной поверхности листы [9]. ССВ рассматривалось и как мера концентрации сухого вещества в объёме различных фракций фитомассы растений. Поскольку определение их объёма намного более трудоёмко, чем определение ССВ, при оценке SLA в качестве наиболее перспективной была признана её зависимость от ССВ [10]. Для совокупности древесных и травянистых видов на 49 пробных площадях в Англии было проведено сравнительное исследование зависимости надземной чистой первичной продукции сообществ от ССВ и от удельной поверхности листы и установлено, что ССВ объясняет наибольшую долю изменчивости первичной продукции (55 %) по сравнению с удельной поверхностью листы, оценка которой к тому же намного трудозатратнее, чем ССВ [11].

Показатель ССВ имеет также значение при оценке калорийности древесины [12]. Сведения о ССВ представляют наибольший интерес с точки зрения проблематики фитомассы деревьев, оцениваемой в абсолютно сухом состоянии. ССВ является одним из важных свойств растений, изучаемых в экологии, и объясняет наибольшую долю изменчивости первичной продукции растений. Моделирование ССВ во фракциях фитомассы деревьев даёт возможность селекции генотипов с максимальным его содержанием и формирования древостоев с повышенным ССВ путём лесохозяйственных мероприятий [12].

С целью изучения пространственной изменчивости ССВ в листе этот показатель был измерен у 5 641 вида растений из 72 растительных сообществ Китая, охватывающих большинство наземных экосистем. Было установлено, что ССВ в листе в среднем составляет 69 %, оно снижается с увеличением влажности почв и увеличивается в сухих условиях. Изменчивость ССВ в листе растительных сообществ была выше в засушливых районах, и виды с более низким ССВ были

более чувствительны к изменениям окружающей среды [13].

Способность растительных тканей к горению является ключевой характеристикой для понимания режима пожаров, сформировавших территориальное распределение экосистем и влияющих на эволюцию растений и биогеохимические циклы по всему миру. Это связано с тем, что при наличии источника воспламенения большинство наземных растений могут гореть при заданных диапазонах влажности окружающей среды и горючих материалов, в том числе фракций фитомассы лесного полога. В частности, рассчитываются регрессионные зависимости видоспецифичных спектральных характеристик листы от содержания в ней влаги с целью снижения риска возникновения пожара [14]. Поскольку водный статус разных фракций растений в различных экологических условиях может сильно различаться, предприняты попытки стандартизировать процедуры его определения [3, 9].

По сравнению с публикациями, посвящёнными изучению плотности древесины, количество работ с результатами по ССВ сравнительно меньше. Иногда приводятся данные ССВ как средние значения для той или иной фракции фитомассы исследуемого объекта [15], иногда они рассчитываются по связи с возрастом дерева и/или диаметром ствола [16]. Известно, что ССВ в древесине ствола у хвойных снижается в направлении от его основания к вершине в связи с увеличением доли заболони [17–19]. На Среднем Урале установлено изменение ССВ в древесине и коре стволов кедра сибирского, берёзы, сосны, ели и пихты в зависимости от диаметра ствола и положения вдоль оси ствола. На ССВ в ветвях влияло также положение вдоль оси кроны. У берёзы на статистически значимом уровне ССВ снижается при увеличении возраста дерева как в листе, так и в ветвях деревьев [18, 19], а у кедра сибирского ССВ с возрастом в хвое снижается, но в ветвях увеличивается [18].

Для трёх древесных пород лесостепной зоны были предложены четырёхэтапные алгоритмы определения ССВ в древесине и коре ствола по результатам обработки дисков, взятых на 10 относительных высотах ствола, и включающие в качестве одного из промежуточных этапов расчёт модели сбега древесины и коры стволов [20].

В хвое культур сосны обыкновенной в степной зоне Украины ССВ варьирует от 43 до 62 % (в среднем 53 %) и изменяется пропорционально возрасту дерева, а также – диаметру ствола и высоте дерева. Аллометрические модели связи ССВ в хвое с каждым из названных дендрометрических показателей объясняют изменчивость ССВ у сосны обыкновенной на 16–21 % и у робинии – на 31–36 % [21]. В древесине пихты китайской и лиственницы корейской в Китае установлена положительная связь ССВ во всех фракциях дерева с его возрастом. В целом, в силу действия многих неучтённых факторов, связи ССВ во фракциях фитомассы с диаметром ствола и возрастом дерева могут быть неустойчивыми и у разных пород могут иметь противоположный характер [22].

При исследовании фитомассы ельников был сделан вывод, что ССВ в древесине не может быть определено с достаточной точностью не деструктивным способом, т. е. замером только дендрометрических показателей деревьев. Для этого необходимо взятие кернов в стволах исследуемых деревьев. Величину ССВ в растениях часто определяют на основе взаимосвязи с базисной плотностью [23], объясняющей 82–99 % общего варьирова-

ния искомого показателя, но подобные модели могут применяться только в случаях, когда известна базисная плотность растительной ткани.

Насколько нам известно, результаты исследований географических закономерностей изменения ССВ в надземной фитомассе довольно редки [24], а в подземной – отсутствуют. Наше предыдущее исследование было посвящено анализу изменения ССВ во фракциях надземной фитомассы для каждого из 13 лесообразующих родов в градиентах географической широты и долготы [24]. При этом из дендрометрических показателей деревьев, используемых в качестве независимых переменных, наряду с географическими координатами, оказались статистически значимы лишь возраст и диаметр ствола.

Наличие впервые сформированной базы данных о квалитетрии лесообразующих пород Северной Евразии [25] позволило сформулировать **цель** нашего исследования – выявить региональные особенности ССВ в надземной и подземной фитомассе сосны обыкновенной на территории Северной Евразии, для чего разработать региональные регрессионные модели ССВ в фитомассе, описывающие его зависимость от дендрометрических показателей деревьев.

Объекты и методы исследования

Из упомянутой базы данных [25] отобраны 3 700 показателей ССВ в надземной фитомассе и 89 – в фитомассе корней сосны обыкновенной, полученных на территории восьми регионов Северной Евразии. Их характеристика дана в табл. 1.

Таблица 1. Статистики показателей модельных деревьев, включённых в регрессионный анализ
Table 1. Statistics of indicators of model trees included in the regression analysis

Обозначение статистик ^(a)	Анализируемые показатели ^(b)					
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>Sw</i>	<i>Sbk</i>	<i>Sf</i>	<i>Sbr</i>
Северо-Запад РФ						
Mean	108,7	13,9	48,4	48,6	46,9	48,4
Min	20,0	2,0	32,4	37,5	31,3	37,5
Max	200,0	30,0	54,2	54,4	55,1	53,2
SD	75,4	7,4	4,8	3,4	5,4	4,0
CV, %	69,4	53,0	9,9	7,1	11,5	8,2
n	33	33	33	33	33	33

Окончание таблицы 1

Обозначение статистик ^(а)	Анализируемые показатели ^(б)						
	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>Sw</i>	<i>Sbk</i>	<i>Sf</i>	<i>Sbr</i>	<i>Sr</i>
Центр Русской равнины							
Mean	81,2	23,4	49,6	48,8	36,0	46,1	48,3
Min	10,0	2,0	27,3	33,8	31,0	33,9	30,7
Max	150,0	52,0	68,8	75,0	55,8	57,0	67,0
SD	46,4	14,1	7,6	6,0	4,9	5,4	6,5
CV, %	57,2	60,1	15,2	12,3	13,6	11,8	13,5
n	56	56	56	52	56	56	56
Украина							
Mean	66,0	26,0	51,0	53,9	46,6	46,7	-
Min	9,0	7,0	35,2	32,0	38,9	36,3	-
Max	175,0	55,0	74,1	71,7	56,5	59,1	-
SD	39,6	11,7	7,2	9,4	4,8	5,4	-
CV, %	60,0	45,0	14,2	17,4	10,3	11,5	-
n	47	47	47	47	42	46	-
Средний Урал							
Mean	24,2	9,5	39,3	39,8	42,0	42,4	-
Min	15,0	2,4	30,0	28,6	33,0	33,0	-
Max	32,0	20,0	55,6	62,5	57,0	67,0	-
SD	6,5	4,7	4,9	5,8	5,3	8,1	-
CV, %	26,8	49,7	12,5	14,5	12,6	19,1	-
n	144	144	105	105	68	68	-
Южный Урал							
Mean	78,2	21,4	52,4	54,0	47,7	47,0	-
Min	44,0	7,0	40,1	36,9	40,0	41,0	-
Max	126,0	33,7	66,5	70,5	59,0	53,0	-
SD	17,6	7,6	6,7	7,8	2,7	2,3	-
CV, %	22,5	35,5	12,7	14,4	5,6	4,9	-
n	185	185	126	126	101	101	-
Тургайский прогиб							
Mean	26,6	7,0	44,2	48,3	47,1	45,1	-
Min	9,0	0,3	27,1	28,6	30,6	32,6	-
Max	110,0	34,5	75,0	83,5	61,2	66,6	-
SD	17,9	5,3	7,3	11,5	5,4	5,4	-
CV, %	67,3	75,5	16,4	23,8	11,6	12,0	-
n	3246	3246	3246	3246	910	444	-
Западная Сибирь							
Mean	33,6	12,6	43,7	42,0	53,7	53,1	-
Min	10,0	1,9	30,0	31,0	38,0	40,3	-
Max	90,0	50,4	61,0	60,0	72,0	67,0	-
SD	17,7	6,7	6,5	6,2	7,7	6,4	-
CV, %	52,5	53,4	14,9	14,7	14,4	12,1	-
n	181	181	82	75	181	181	-
Средняя Сибирь							
Mean	50,0	9,3	50,1	51,8	51,0	49,9	-
Min	50,0	3,2	43,4	46,8	47,4	46,9	-
Max	50,0	19,0	57,4	58,8	53,8	53,2	-
SD	-	4,3	4,2	3,7	1,7	1,8	-
CV, %	-	46,3	8,5	7,2	3,2	3,6	-
n	15	15	13	13	15	15	-

Примечание: ^(а) Mean, Min и Max – соответственно среднее, минимальное и максимальное значения; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; n – число наблюдений. ^(б) *A* – возраст дерева, лет; *D* – диаметр ствола на высоте груди, см; *Sw*, *Sbk*, *Sf*, *Sbr*, *Sr* – соответственно ССВ в древесине ствола, коре ствола, хвое, ветвях и корнях, %.

Таблица 2. Схема кодирования восьми регионов Северной Евразии, в которых определено ССВ в фитомассе деревьев сосны обыкновенной

Table 2. The coding scheme of eight regions of Northern Eurasia, in which dry matter content in the phytomass of Scots pine trees is determined

Регион	Блок фиктивных переменных						
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
Северо-Запад РФ (СЗР)	0	0	0	0	0	0	0
Центр Русской равнины (ЦРР)	1	0	0	0	0	0	0
Украина (Укр)	0	1	0	0	0	0	0
Средний Урал (СУ)	0	0	1	0	0	0	0
Южный Урал (ЮУ)	0	0	0	1	0	0	0
Тургайский прогиб (ТП)	0	0	0	0	1	0	0
Западная Сибирь (ЗС)	0	0	0	0	0	1	0
Средняя Сибирь (СС)	0	0	0	0	0	0	1

Эмпирические данные ССВ на пробных площадях получены на спиленных модельных деревьях деструктивным методом [26]. Значения ССВ древесины и коры получены по 3–10 дискам, выпиленным вдоль по стволу, а значения для ствола в целом рассчитаны как средневзвешенные, пропорционально объёму отрезков ствола, от которых взяты диски. ССВ хвои и ветвей рассчитаны по навескам, взятым из средней части всей кроны или трёх равных секций, на которые делили крону вдоль по стволу. В последнем случае рассчитывали среднее для кроны значение. ССВ дисков (отдельно древесины и коры) и навесок хвои и ветвей рассчитано путём взвешивания, сушки до постоянной массы и повторного взвешивания.

При моделировании фитомассы деревьев получили распространение модели смешанного типа (mixed-effects modeling) [27]. Аллометрическая модель смешанного типа включает две разновидности независимых переменных – численные, принимающие значения из непрерывного ряда чисел, и фиктивные переменные, представляющие дискретные качественные характеристики, например, принадлежность данных к той или иной породе. Поскольку аллометрические закономерности относительно подобны у различных пород деревьев, строится модель фитомассы смешанного типа для

нескольких древесных пород одновременно. Так были построены модели надземной и подземной фитомассы в зависимости от диаметра ствола для восьми пород Китая. Включение в модели блока фиктивных переменных дало возможность ранжировать древесные породы по величине фитомассы равновеликих деревьев [27].

Аналогичный принцип построения модели смешанного типа мы применили при решении задачи нашего исследования. Схема кодирования восьми регионов представлена в табл. 2.

Результаты и их обсуждение

На основе изложенного выше, в качестве исходной мы приняли следующую структуру модели:

$$\ln(S_i) = a_0 + b_1 \ln(A) + b_2 \ln(D) + \sum a_i X_i, \quad (1)$$

где S_i – ССВ в i -й фракции фитомассы, а именно, S_w , S_{bk} , S_f , S_{br} и S_r – соответственно в древесине и коре ствола, хвое, ветвях и корнях, %; A и D – соответственно возраст дерева, лет, и диаметр ствола на высоте груди, см; $\sum a_i X_i$ – блок фиктивных переменных в количестве $(i+1)$; a_0 , b_1 и b_2 – регрессионные коэффициенты уравнения. Результаты расчёта модели (1) для фракций надземной фитомассы приведены в табл. 3.

Таблица 3. Характеристики уравнения (1)

Table 3. Characteristics of equations (1)

Зависимые переменные	Регрессионные коэффициенты и независимые переменные										adjR ²⁽²⁾	SE ⁽³⁾
	a ₀ ⁽¹⁾	b ₁ ln(A)	b ₂ ln(D)	a ₁ X ₁	a ₂ X ₂	a ₃ X ₃	a ₄ X ₄	a ₅ X ₅	a ₆ X ₆	a ₇ X ₇		
ln(Sw)	2,9961	0,2437	-0,1003	0,1762	0,2806	0,1219	0,2049	0,1864	0,2137	0,1824	0,506	0,116
ln(Sbk)	3,5153	0,1194	-0,0542	0,0382	0,2004	-0,0820	0,1378	0,0724	-0,0263	0,0993	0,105	0,208
ln(Sf)	3,6889	0,0227	0,0240	-0,3069	-0,0107	-0,0846	0,0085	0,0514	0,1613	0,1088	0,352	0,116
ln(Sbr)	3,7172	0,0553	-0,0348	-0,0093	0,0380	-0,1348	0,0038	-0,0220	0,1596	0,0575	0,326	0,118
ln(Sr)	3,8368	-0,0379	0,0926	-0,0757	-	-	-	-	-	-	0,281	0,080

Примечание: здесь и далее: ⁽¹⁾ свободный член в уравнениях скорректирован на величину поправки $\exp(SE^2/2)$ [28]; adjR²⁽²⁾ – коэффициент детерминации, скорректированный на число переменных; SE⁽³⁾ – стандартная ошибка оценки.

Поскольку данные для ССВ в корнях имеются лишь для двух регионов, соответствующая модель рассчитана по иной схеме фиктивных переменных, а именно, X₀ – для Северо-Запада РФ и X₁ – для центра Русской равнины. Несмотря на сравнительно невысокие показатели коэффициентов детерминации (от 0,11 до 0,51), численные переменные во всех уравнениях (1) оказались значимыми на уровне от $p < 0,001$ до $p < 0,05$.

Поскольку в модели (1) статистически значимыми оказались две независимые численные переменные, её геометрическая интерпретация может быть выполнена в 3D-формате. Однако 3D-формат модели исключает возможность наглядного сопоставления эмпирических и расчётных искомых показателей в изометрии или аксонометрии. Для обеспечения возможности показа зависимости ССВ от одной независимой переменной в 2D-формате, например, от возраста дерева на фоне эмпирических данных, мы рассчитали вспомогательные уравнения:

$$\begin{aligned} \text{для надземной фитомассы} \\ \ln D = -0,7467 + 0,8021 \ln A + 0,5666 X_1 + \\ + 0,9013 X_2 + 0,5925 X_3 + 0,5063 X_4 + \\ + 0,1234 X_5 + 0,6964 X_6 - 0,0174 X_7; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{adj}R^2 = 0,400; SE = 0,70$$

и для корней

$$\begin{aligned} \ln D = -0,8249 + 0,8895 \ln A + 0,2779 X_i; \\ \text{adj}R^2 = 0,360; SE = 0,71. \end{aligned} \quad (3)$$

Численные переменные в уравнениях (2) и (3) значимы на уровне $p < 0,001$. Путём подстановки уравнений (2) и (3) в уравнение (1) и табулирования последнего по задаваемым значениям возраста и номерам фиктивных переменных мы получили графические изображения зависимостей ССВ от возраста по восьми регионам для надземной фитомассы и для двух регионов для корней на фоне эмпирических данных (рис. 1 и 2).

Мы видим на рис. 1 и 2, что ССВ во всех фракциях фитомассы увеличивается с возрастом деревьев, и благодаря использованию фиктивных переменных возрастные тренды ССВ взаимно согласованы по регионам. Наибольшие ССВ в древесине приходятся на Украину и Среднюю Сибирь и наименьшие – на Северо-Запад РФ; наибольшие значения ССВ в коре – соответственно на Украину, и наименьшие – на степи Тургайского прогиба; наибольшие значения ССВ в хвое – на Западную Сибирь и наименьшие – на Тургайский прогиб; наибольшие значения ССВ в ветвях – на Западную Сибирь и наименьшие – на Средний Урал. В корнях сосны ССВ на Северо-Западе РФ несколько выше, чем в центре Русской равнины (рис. 2).

Для наглядности сопоставлений выполнено ранжирование регионов по величине ССВ в разных фракциях надземной фитомассы (рис. 3).

Значения ССВ во фракциях фитомассы при среднем возрасте 100 лет в разных регионах показаны в табл. 4.

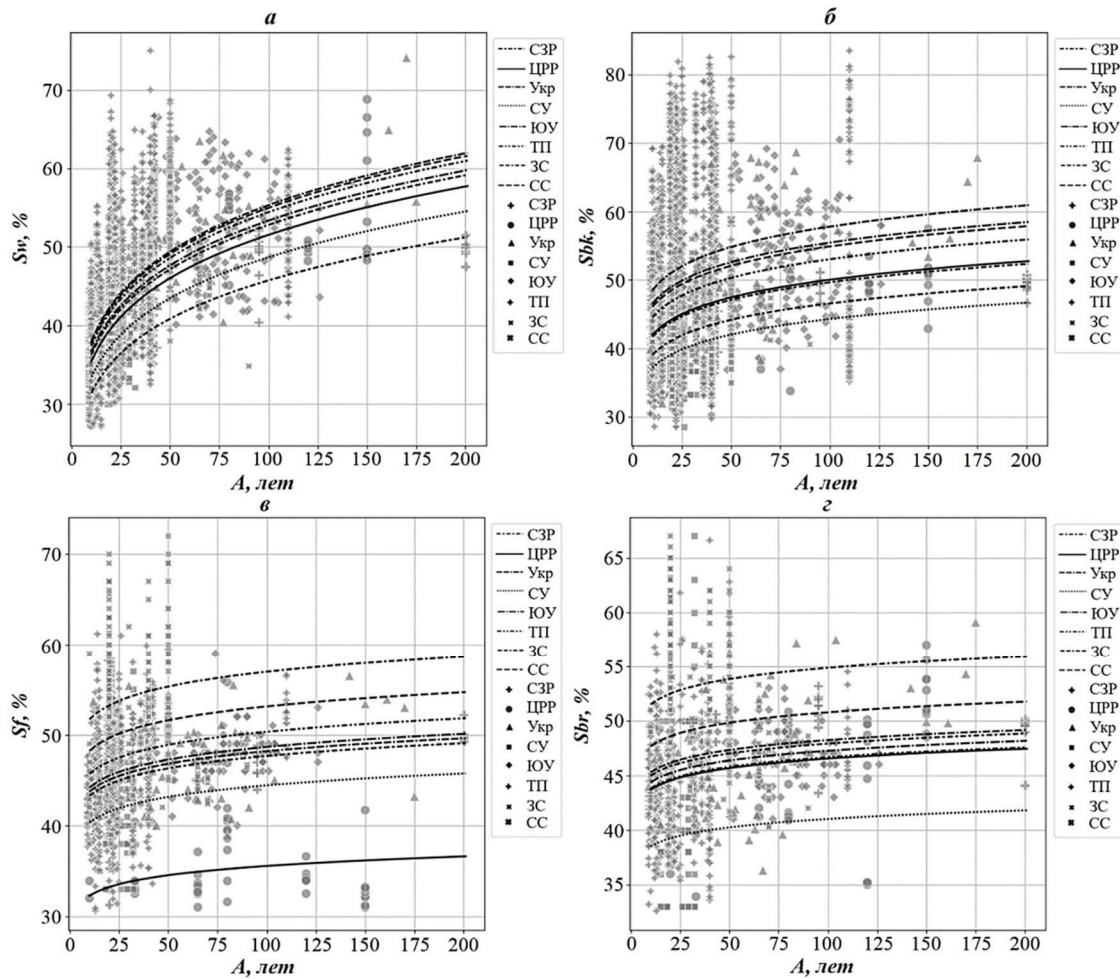


Рис. 1. Изменение расчётных значений ССВ в надземной фитомассе в зависимости от возраста дерева (A) на фоне эмпирических данных по 8 регионам Северной Евразии; а, б, в, г – соответственно ССВ в древесине ствола (Sw), коре ствола (Sbk), хвое (Sf) и ветвях (Sbr), %

Fig. 1. Change in the calculated values of DMC in aboveground phytomass depending on the tree age (A) in the context of empirical data for eight regions of Northern Eurasia; a, b, c, d – DCM in stem wood (Sw), stem bark (Sbk), foliage (Sf) and branches (Sbr), respectively (%)

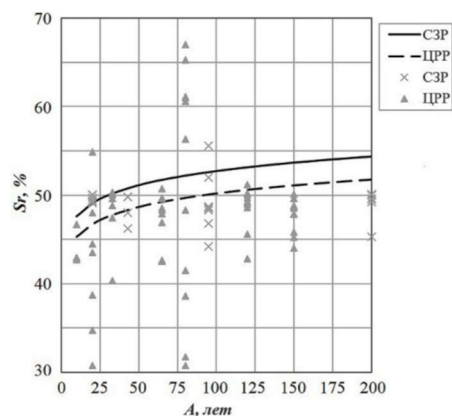


Рис. 2. Изменение расчётных значений ССВ в корнях (Sr) в зависимости от возраста дерева (A) на фоне эмпирических данных по двум регионам Северной Евразии, %

Fig. 2. Change in the calculated values of DMC in the roots (Sr) depending on the tree age (A) in the context of empirical data for two regions of Northern Eurasia (%)

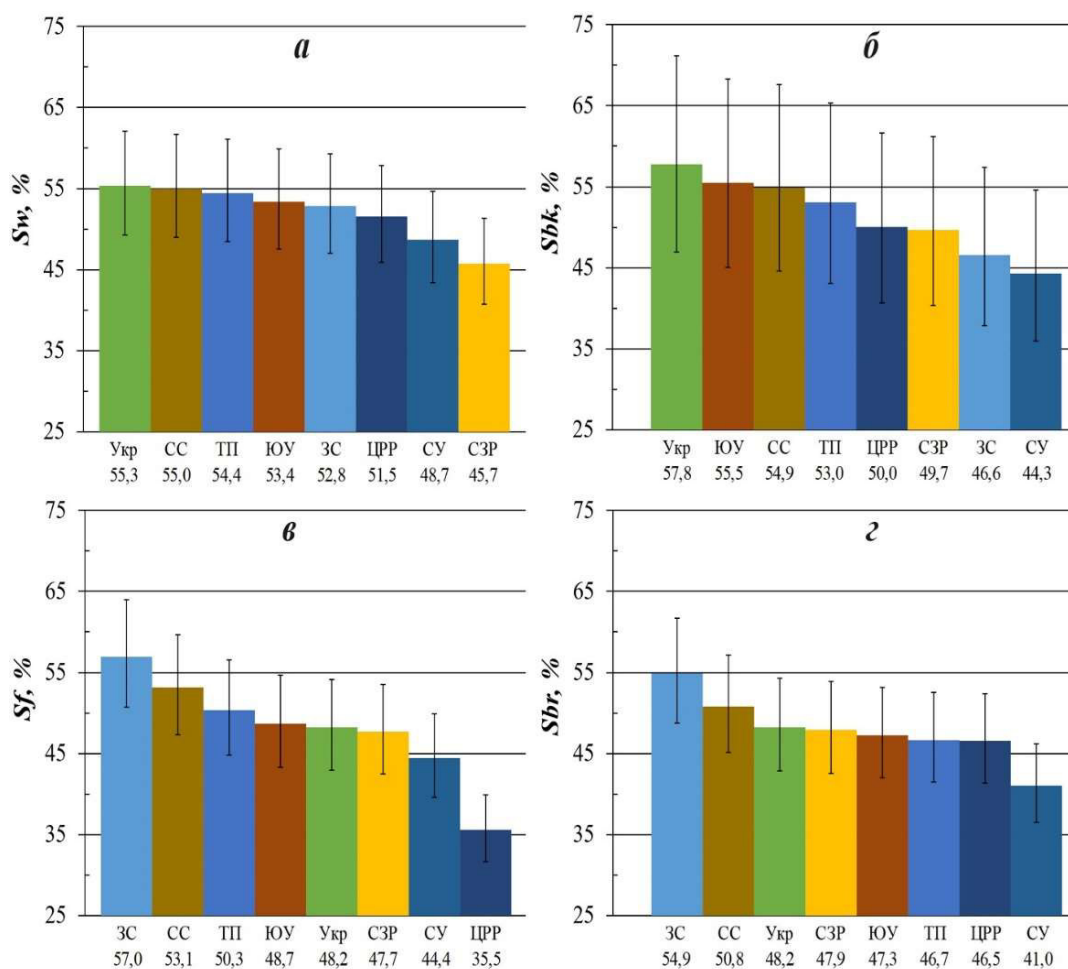


Рис. 3. Ранжирование регионов по величине ССВ в разных фракциях надземной фитомассы; а, б, в, г – соответственно ССВ в древесине ствола, коре ствола, хвое и ветвях, %. Обозначения регионов в табл. 2. Цифры вдоль оси абсцисс показывают значения ССВ для соответствующих регионов

Fig. 3. Ranking of regions by DMC in different fraction of aboveground phytomass; a, b, c, d – DMC in stem wood, stem bark, foliage and branches, respectively (%). See region designations in Table 2. The numbers along the abscissa axis show DMC values for the respective regions

Таблица 4. Средние значения ССВ во фракциях фитомассы в разных регионах (среднее значение $\pm$ среднеквадратическое отклонение)

Table 4. Mean values of DMC in phytomass fractions in different regions (mean value $\pm$ standard deviation)

Регион	ССВ во фракциях фитомассы, %				
	S_w	S_{bk}	S_f	S_{br}	S_r
Северо-Запад РФ	45,7 $\pm$ 5,3	49,7 $\pm$ 10,4	47,7 $\pm$ 5,5	47,9 $\pm$ 5,7	51,8 $\pm$ 5,2
Центр Русской равнины	51,5 $\pm$ 6,0	50,0 $\pm$ 10,5	35,5 $\pm$ 4,1	46,5 $\pm$ 5,5	49,8 $\pm$ 5,0
Украина	55,3 $\pm$ 6,4	57,8 $\pm$ 12,1	48,2 $\pm$ 5,6	48,2 $\pm$ 5,7	–
Средний Урал	48,7 $\pm$ 5,7	44,3 $\pm$ 9,3	44,4 $\pm$ 5,2	41,0 $\pm$ 4,9	–
Южный Урал	53,4 $\pm$ 6,2	55,5 $\pm$ 11,6	48,7 $\pm$ 5,7	47,3 $\pm$ 5,6	–
Тургайский прогиб	54,4 $\pm$ 6,3	53,0 $\pm$ 11,1	50,3 $\pm$ 5,9	46,7 $\pm$ 5,5	–
Западная Сибирь	52,8 $\pm$ 6,1	46,6 $\pm$ 9,8	57,0 $\pm$ 6,6	54,9 $\pm$ 6,5	–
Средняя Сибирь	55,0 $\pm$ 6,4	54,9 $\pm$ 11,5	53,1 $\pm$ 6,2	50,8 $\pm$ 6,0	–

Отмеченная выше положительная связь ССВ во всех фракциях фитомассы с возрастом дерева, полученная в нашем исследовании (рис. 1), согласуется с аналогичной зависимостью, полученной в кедровниках для ССВ в древесине и ветвях, но противоречит отрицательной зависимости с возрастом для ССВ в хвое [18].

Мы получили статистически значимые закономерности изменения ССВ в зависимости от возраста и диаметра ствола дерева, однако модели для коры ствола, хвои и ветвей характеризуются относительно низкими коэффициентами детерминации. Это означает, что в регрессионный анализ были привлечены необходимые и статистически значимые, но далеко не достаточные независимые переменные. В частности, содержание влаги в компонентах фитомассы варьирует даже в течение суток, оно сильно зависит от погодных условий дня и месяца, генетической изменчивости и других факторов, определяющих физиологическое состояние дерева, которые пока не подлежат учёту. Низкие коэффициенты детерминации были показаны также в работах, посвящённых исследованию ССВ в фитомассе других пород. Например, в кедровниках Урала возраст и диаметр ствола объясняли изменчивость ССВ в коре

ствола на 37 %, а в хвое и ветвях – на 27 % [18]. В березняках Урала возраст дерева и диаметр ствола объясняли изменчивость ССВ в коре ствола на 12 %, в листве на 21 % и в ветвях на 35 %, но в наибольшей степени в древесине ствола – на 63 % [19].

Выводы

1. Построенные в нашей работе модели зависимости ССВ в фитомассе деревьев от возраста дерева и диаметра ствола сосны обыкновенной, дифференцированные по регионам Северной Евразии, характеризуются статистически значимым вкладом возраста дерева и диаметра ствола в объяснение изменчивости ССВ во всех фракциях фитомассы.

2. Ранжирование регионов по величине ССВ показало наличие существенных различий между ними. Эти различия достигают для ССВ в древесине ствола, коре ствола, хвое и ветвях соответственно 10, 14, 22 и 14 %. Из фракций фитомассы наибольшее межрегиональное различие (22 %) приходится на ССВ в хвое, с максимумом в Западной Сибири и минимумом в центре Русской равнины.

3. Представленные закономерности изменения ССВ в различных фракциях фитомассы могут быть полезны при оценках углероддепонирующей способности сосновых лесов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Climate has a larger effect than stand basal area on wood density in *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* in the southwestern USA / D. Vaughan, D. Auty, T. E. Kolb et al. // *Annals of Forest Science*. 2019. Vol. 76, iss. 3. Art. 85. DOI: 10.1007/s13595-019-0869-0
2. Chen M., Mao S., Liu Y. Big Data: A Survey // *Mobile Networks and Applications*. 2014. Vol. 19, iss. 2. Pp. 171–209. DOI: 10.1007/s11036-013-0489-0
3. Ocampo-Zuleta K., Pausas J. G., Paula S. FLAMITS: A global database of plant flammability traits // *Global Ecology and Biogeography*. 2024. Vol. 33, iss. 3. Pp. 412–425. DOI: 10.1111/geb.13799
4. The effect of tree slenderness on wood properties in Scots pine. Part II: modulus of rupture and modulus of elasticity / A. Tomczak, T. Jelonek, M. Jakubowski et al. // *Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology*. 2016. Vol. 96, iss. 1. Pp. 188–194.
5. Defo M., Taylor A. M., Bond B. Determination of moisture content and density of fresh-sawn red oak lumber by near infrared spectroscopy // *Forest Products Journal*. 2007. Vol. 57, iss. 5. Pp. 68–72.
6. Maiti R., González-Rodríguez H., Ivanova N. S. Autoecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2016. 384 p. DOI: 10.1002/9781119104452
7. Наквасина Е. Н. Ассимиляционный аппарат как показатель адаптации сосны обыкновенной к изменению климатических условий произрастания // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2009. № 3. С. 12–19. EDN: MUEKMV
8. Уткин А. И., Ермолова Л. С., Уткина И. А. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование: монография. М.: ФГУП «Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр "Наука"», 2008. 292 с. EDN: QKQUAR
9. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content /

- E. Garnier, B. Shipley, C. Roumet et al. // *Functional Ecology*. 2001. Vol. 15, iss. 5. Pp. 688–695. DOI: 10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x
10. Shipley B., Vu T.-T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts // *New Phytologist*. 2002. Vol. 153, iss. 2. Pp. 359–364. DOI: 10.1046/j.0028-646X.2001.00320.x
11. Leaf dry matter content is better at predicting aboveground net primary production than specific leaf area / S. M. Smart, H. C. Glanville, M. del Carmen Blanes et al. // *Functional Ecology*. 2017. Vol. 31, iss. 6. Pp. 1336–1344. DOI: 10.1111/1365-2435.12832
12. Effect of moisture content on gasification efficiency in down draft gasifier / H. Kumar, P. Baredar, P. Agrawal et al. // *International Journal of Scientific Engineering and Technology*. 2014. Vol. 3, iss. 4. Pp. 411–413.
13. Variation and adaptation of leaf water content among species, communities, and biomes / R. Wang, N. He, S. Li et al. // *Environmental Research Letters*. 2021. Vol. 16. Art. 124038. DOI: 10.1088/1748-9326/ac38da
14. Foliar moisture content from the spectral signature for wildfire risk assessments in Valparaíso-Chile / J. Villacrés, T. Arevalo-Ramirez, A. Fuentes et al. // *Sensors*. 2019. Vol. 19, iss. 24. Art. 5475. DOI: 10.3390/s19245475
15. Поздняков Л. К. Лесное ресурсоведение. Новосибирск: Наука, 1973. 120 с.
16. Additive biomass equations based on complete weighing of sample trees for open eucalypt forest species in south-eastern Australia / H. Bi, S. Murphy, L. Volkova et al. // *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 349. Pp. 106–121. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.007
17. Исаева Л. Н. Особенности распределения влаги в различных частях древесины стволов кедра сибирского // *Труды Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР*. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 77–82.
18. Количественная и квалитетическая составляющие биологической продуктивности кедровников Урала / В. А. Усольцев, И. С. Лазарев, В. В. Крудышев и др. // *Сборник научных трудов учёных и специалистов факультета экономики и управления УГЛТУ*. Вып. 3. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. С. 261–270.
19. Усольцев В. А., Воробейчик Е. Л., Бергман И. Е. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: исследование системы связей и закономерностей: монография. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2012. 365 с. EDN: QLDEWD
20. Усольцев В. А. Рост и структура фитомассы древостоев: монография. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с. EDN: SRBVNT
21. Sytnyk S., Lovynska V., Lakyda I. Foliage biomass qualitative indices of selected forest forming tree species in Ukrainian Steppe // *Folia Oecologica*. 2017. Vol. 44, iss. 1. Pp. 38–45. DOI: 10.1515/foecol-2017-0005
22. The relationships between water storage and biomass components in two conifer species / L. Zhou, S. Saeed, Y. Sun et al. // *Peer Journal*. 2019. Vol. 7. Art. e7901. DOI: 10.7717/peerj.7901
23. Estimation of moisture content of oil palm fronds through correlation with density for the process of gasification / S. A. Sulaiman, F. M. Guangul, R. E. Konda et al. // *BioResources*. 2016. Vol. 11, iss. 4. Pp. 8941–8952. DOI: 10.15376/biores.11.4.8941-8952
24. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Содержание сухого вещества в биомассе деревьев 13 видов Евразии: географические аспекты // *Хвойные бореальной зоны*. 2022. Т. 40, № 3. С. 194–201. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-194-201; EDN IXXMOW
25. Усольцев В. А. Сбег стволов, плотность и содержание сухого вещества в фитомассе деревьев, произрастающих в Центральной Евразии: монография. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2020. URL: <https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649> (дата обращения: 20.12.2023). EDN: GAVEGX
26. Усольцев В. А. Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев: монография. Красноярск: Красноярский государственный университет, 1985. 192 с. EDN: TFM PKD
27. Zeng W. S. Developing tree biomass models for eight major tree species in China // *Biomass volume estimation and valorization for energy*. Chapter 1. Rijeka, Croatia: Intech Publishing, 2017. Pp. 3–21. DOI: 10.5772/65664

Статья поступила в редакцию 10.01.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 28.08.2024

Информация об авторах

УСОЛЬЦЕВ Владимир Андреевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН; профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация, фитогеография. Автор 905 научных публикаций, в том числе 43 монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>; SPIN-код: 3668-6843

ПЛЮХА Николай Иванович – аспирант, Институт леса и природопользования, Уральский государственный лесотехнический университет. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация. Автор 19 научных публикаций. SPIN-код: 4682-7412

ЦЕПОРДЕЙ Иван Степанович – кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, Ботанический сад УрО РАН. Область научных интересов – лесоведение, лесная таксация, фитогеография. Автор 140 научных публикаций, в том числе пяти монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>; SPIN-код: 3853-7684

Доступность данных и материалов: наборы данных, проанализированные в ходе исследования, являются общедоступными.

Вклад авторов:

Усольцев В. А. – постановка цели и задач, разработка программы и методики.

Плюха Н. И. – выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Цепордей И. С. – разработка программы и методики, выполнение экспериментальной работы, написание и подготовка статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*52:630*174.754

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.6>

EDN: MQBVKU

Regional Peculiarities of Dry Matter Content in the Phytomass Fractions of Scots Pine Trees

V. A. Usoltsev^{1,2✉}, N. I. Plyukha¹, I. S. Tsepordey²

¹ Ural State Forest Engineering University,

37, Sibirskii Trakt, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation

² Botanical Garden, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

202a, 8 Marta St., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation

Usoltsev50@mail.ru_✉

Abstract. *Introduction.* Qualimetry of the aboveground and belowground biomass of trees is an integral part of studies on the biological productivity and carbon deposition capacity of the forest cover, necessary for the correct assessment of the carbon cycle in the terrestrial biosphere in relation to climate change. Dry matter content (DMC) in phytomass fractions determines the specificity of the tree production process, so an appropriate database is needed for its assessment in transcontinental gradients. The availability of the first author's database on the qualimetry of forest-forming species of Northern Eurasia made it possible to formulate *the purpose of the study*, which was to study the regional features of DMC in the aboveground and belowground phytomass of Scots pine in Northern Eurasia. *Objects and methods.* To achieve the purpose of the research, 3,700 DMC indicators of the aboveground phytomass and 89 DMC indicators of the root phytomass of Scots pine obtained on the territory of eight regions of Northern Eurasia were selected from the author's database of qualimetric indices of major Northern Eurasian species. On their basis, mixed-type regression models were built that included two types of independent variables: numerical variables taking values from a continuous series of numbers, and dummy variables representing discrete qualitative characteristics, in particular, the belonging of data to a certain species. *Results.* Models of the dependence of DMC on the tree age and the stem diameter at breast height including a set of dummy variables have been built. The regression coefficients for numerical variables are significant at the probability level from $p < 0.001$ to $p < 0.05$, which means that the constructed models, differentiated by regions of Northern Eurasia, are characterized by a statistically significant contribution of tree age and stem diameter to the explanation of DMC variability in all phytomass fractions. *Conclusion.* The ranking of regions by the DMC value in phytomass fractions revealed significant differences between them. These differences reach 10, 14, 22 and 14 % for DMC in stem wood, stem bark, needle-foliage and branches, respectively. Of the phytomass fractions, the greatest interregional difference (22 %) falls on the DMC in the needle-foliage, with a maximum in Western Siberia and a minimum in the center of the Russian Plain. The presented patterns of DMC changes in various phytomass fractions can be useful in estimating the absolutely dry phytomass and carbon deposition capacity of pine forests in different regions of Northern Eurasia.

Keywords: dry matter content (DMC), stem wood and bark, needle-foliage, branches, mixed-type models, regional differences

Funding: the study was carried out under the state task of the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Usoltsev V. A., Plyukha N. I., Tsepordey I. S. Regional Peculiarities of Dry Matter Content in the Phytomass Fractions of Scots Pine Trees. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest Ecology. Nature Management.* 2024;(3):6–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.6>; EDN: MQBVKU

REFERENCES

1. Vaughan D., Auty D., Kolb T. E. et al. Climate has a larger effect than stand basal area on wood density in *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* in the southwestern USA. *Annals of Forest Science.* 2019;76(3). Art. 85. DOI: 10.1007/s13595-019-0869-0
2. Chen M., Mao S., Liu Y. Big Data: A Survey. *Mobile Networks and Applications.* 2014;19(2):171–209. DOI: 10.1007/s11036-013-0489-0
3. Ocampo-Zuleta K., Pausas J. G., Paula S. FLAMITS: a global database of plant flammability traits. *Global Ecology and Biogeography.* 2023;33(3):412–425. DOI: 10.1111/geb.13799
4. Tomczak A., Jelonek T., Jakubowski M. et al. The effect of tree slenderness on wood properties in Scots pine. Part II: modulus of rupture and modulus of elasticity. *Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology.* 2016; 96(1):188–194.
5. Defo M., Taylor A. M., Bond B. Determination of moisture content and density of fresh-sawn red oak lumber by near infrared spectroscopy. *Forest Products Journal.* 2007;57(5):68–72.
6. Maiti R., González Rodríguez H., Ivanova N. S. Autecology and ecophysiology of woody shrubs and trees: concepts and applications. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.; 2016. 384 p. DOI: 10.1002/9781119104452
7. Nakvasina E. N. Assimilation apparatus as factor of Scotch pine adaptation to change of growth climatic conditions. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal).* 2009;(3):12–19. EDN: MUEKMV (In Russ.).
8. Utkin A. I., Ermolova L. S., Utkina I. A. Surface area of forest plants: essence, parameters, use. Moscow: Nauka Publ., 2008. 292 p. EDN: QKQUAR (In Russ.).
9. Garnier E., Shipley B., Roumet C. et al. A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology.* 2001;15(5):688–695. DOI: 10.1046/j.0269-8463.2001.00563.x
10. Shipley B., Vu T.-T. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist.* 2002;153(2):359–364. DOI: 10.1046/j.0028-646X.2001.00320.x
11. Smart S. M., Glanville H. C., del Carmen Blanes M. et al. Leaf dry matter content is better at predicting aboveground net primary production than specific leaf area. *Functional Ecology.* 2017;31(6):1336–1344. DOI: 10.1111/1365-2435.12832
12. Kumar H., Baredar P., Agrawal P. et al. Effect of moisture content on gasification efficiency in down draft gasifier. *International Journal of Scientific Engineering and Technology.* 2014;3(4):411–413.
13. Wang R., He N., Li S. et al. Variation and adaptation of leaf water content among species, communities, and biomes. *Environmental Research Letters.* 2021;(16). Art. 124038. DOI: 10.1088/1748-9326/ac38da
14. Villacrés J., Arevalo-Ramirez T., Fuentes A. et al. Foliar moisture content from the spectral signature for wildfire risk assessments in Valparaíso-Chile. *Sensors.* 2019;19(24). Art. 5475. DOI: 10.3390/s19245475
15. Pozdnyakov L. K. Forest resource studies. Novosibirsk: Nauka Publ., 1973. 120 p. (In Russ.).
16. Bi H., Murphy S., Volkova L. et al. Additive biomass equations based on complete weighing of sample trees for open eucalypt forest species in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management.* 2015;349:106–121. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.03.007
17. Isaeva L. N. Features of moisture distribution in various parts of Siberian cedar trunks. In: *Proceedings of the V.N. Sukachev Institute of Forest and Timber of the SB Academy of Sciences of the USSR.* Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. Pp. 77–82. (In Russ.).
18. Usoltsev V. A., Lazarev I. S., Krudyshev V. V. et al. Quantitative and qualitative components of biological productivity of *Pinus sibirica* Du Tour forests of the Urals. In: *Collection of scientific works of scientists and specialists of the Faculty of Economics and Management of the Ural State Forest Engineering University.* Iss. 3. Yekaterinburg: USFEU Publ., 2012. Pp. 261–270. (In Russ.).
19. Usoltsev V. A., Vorobeichik E. L., Bergman I. E. Biological productivity of Ural forests under conditions of air pollutions: a study of a system of regularities. *Monograph.* Yekaterinburg: USFEU Publ., 2012. 365 p. EDN: QLDEWD (In Russ.).
20. Usoltsev V. A. Growth and structure of stand phytomass. *Monograph.* Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 253 p. EDN: SRBVNT (In Russ.).
21. Sytnyk S., Lovynska V., Lakyda I. Foliage biomass qualitative indices of selected forest forming tree species in Ukrainian Steppe. *Folia Oecologica.* 2017;44(1):38–45. DOI: 10.1515/foecol-2017-0005
22. Zhou L., Saeed S., Sun Y. et al. The relationships between water storage and biomass components in two conifer species. *Peer Journal.* 2019;(7). Art. e7901. DOI: 10.7717/peerj.7901
23. Sulaiman S. A., Guangul F. M., Konda R. E. et al. Estimation of moisture content of oil palm

fronds through correlation with density for the process of gasification. *BioResources*. 2016;11(4):8941–8952. DOI: 10.15376/biores.11.4.8941-8952

24. Usoltsev V. A., Tsepordey I. S. Dry matter content in the biomass of trees of 13 species of Eurasia: geographical aspects. *Conifers of the Boreal Area*. 2022;40(3):194–201. DOI: 10.53374/1993-0135-2022-6-194-201; EDN IXXMOW (In Russ.).

25. Usoltsev V. A. Stem taper, density and dry matter content in biomass of trees growing in Central Eurasia. *CD-monograph*. Yekaterinburg: USFEU Publ.; 2020. Available from:

<https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/9649> [Accessed 20 December 2023]. EDN: GAVEGX (In Russ.).

26. Usoltsev V. A. Modeling of the structure and dynamics of tree stand phytomass. *Monograph*. Krasnoyarsk: Publishing House of the Krasnoyarsk State University, 1985. 192 p. EDN: TFMPKD (In Russ.).

27. Zeng W. S. Developing tree biomass models for eight major tree species in China. In: *Biomass volume estimation and valorization for energy*. J. S. Tumuluru (Ed.). Chapter 1. Rijeka, Croatia: Intech Publ., 2017. 516 p. Pp. 3–21. DOI: 10.5772/65664

The article was submitted 10.01.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 28.08.2024

Information about the authors

Vladimir A. Usoltsev – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Department of Forest Mensuration and Management, Ural State Forestry Engineering University. Research interests – forestry, forest taxation, phytogeography. Author of 905 scientific publications, including 43 monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4587-8952>; SPIN: 3668-6843

Nikolai I. Plyukha – Postgraduate student of the Ural State Forestry Engineering University. Research interests – forestry, forest taxation. Author of 19 scientific publications. SPIN: 4682-7412

Ivan S. Tsepordey – Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Research interests – forestry, forest taxation, phytogeography. Author of 140 scientific publications, including five monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-5017>; SPIN: 3853-7684

Availability of data and materials. The datasets analyzed during the current study are publicly available.

Contribution of the authors:

Usoltsev V. A. – setting the research goal and objectives, development of program and methodology.

Plyukha N. I. – performing experimental work, writing and preparation of the article.

Tsepordey I. S. – development of program and methodology, performing experimental work, writing and preparation of the article.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.

Научная статья

УДК 630*114(470.343)

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.20>

EDN: EQOKEL

Классификационное положение почв, развитых на пермских красноцветных отложениях под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл

Н. Б. Нуреев

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
NureevNB@volgatech.net

Аннотация. *Введение.* Большое значение в формировании профиля почвы, формулы профиля и её свойств имеет почвообразующая порода, оказывающая влияние на качественные признаки почвы и соответственно на её классификационное положение. *Цель* исследования заключается в оценке влияния карбонатных почвообразующих пород на качественные признаки почвы под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл и анализе их классификационного положения в свете современной версии Классификации и диагностики почв России (КиДПР) (2004). *Объекты и методы.* Объектом исследования являются почвы, сформированные под лесными насаждениями на пермских карбонатных и бескарбонатных красноцветных отложениях, имеющие значительное распространение на территории различных районов восточной части Республики Марий Эл в силу специфики геологического строения республики. Описание и диагностика изученных почв проведены по обновлённой субстантивно-генетической классификации России – КиДПР. *Результаты.* На примере исследованных почв в пределах одного отдела (текстурно-дифференцированных почв) показана обновлённая индексация почвенных горизонтов, а также система критериев и признаков современной субстантивно-генетической КиДПР (2004), в соответствии с которыми классифицируют почвы на типовом и надтиповом уровне. Установлена закономерность степени проявления элювиирования в зависимости от состава почвообразующих пород. *Выводы.* Результаты исследования показали, что степень проявления элювиирования заметно снижена в почвах, формирующихся на карбонатных породах вне зависимости от наличия и состава лесных насаждений, что говорит о приоритетном значении состава почвообразующей породы во влиянии на строение профиля почвы, её качественных признаков и установлении её классификационного положения на типовом и надтиповом уровнях.

Ключевые слова: почвы; КиДПР (Классификация и диагностика почв России); диагностический горизонт; субстантивно-генетические признаки; почвенный профиль; пермские отложения

Благодарности: автор выражает признательность Николаю Борисовичу Хитрову, доктору сельскохозяйственных наук, заведующему отделом Почвенного института им. В. В. Докучаева за консультации, ценные советы и замечания при работе над статьёй.

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Нуреев Н. Б. Классификационное положение почв, развитых на пермских красноцветных отложениях под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3 (63). С. 20–33. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.20>; EDN: EQOKEL

Введение

Большое значение в формировании профиля почвы и её свойств имеет почвообразующая порода, оказывающая непосредственное влияние на качествен-

ные признаки почвы. Характер, состав почвообразующих пород и сформированных на них почв, несомненно, сказывается и на формировании растительности, в частности, лесных насаждений – их

© Нуреев Н. Б., 2024

биоразнообразие, санитарное состояние и продуктивность во многом зависят от физико-химических особенностей и строения всего профиля почвы, в том числе и почвообразующей породы, что ранее отмечалось и другими исследователями [1, 2]. В ходе как их многолетних исследований почв, формирующихся под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл (особенно в пределах Вятского Увала) и других регионов, так и наших собственных исследований выявлено достаточно много разновидностей по качественным и количественным характеристикам почв, развитых на пермских красноцветных карбонатных и бескарбонатных отложениях [3]. Вышеуказанные породы в республике приурочены к району Вятского Увала, который занимает около 46 % территории республики и является наиболее возвышенной областью с выходами к поверхности пермских отложений.

Пермские рыхлые отложения палеозоя возрастом около 300 млн лет характеризуются разнообразным минералогическим и гранулометрическим составом, богатством оксидов железа, часто содержат карбонаты и, как правило, имеют ярко выраженную водопрочную структуру и часто выступают в качестве почвообразующих и подстилающих пород для современных почв, в том числе почв региона. Почвы, которые формируются на таких почвообразующих породах, наследуют вышеуказанные свойства через минералогический, гранулометрический и химический состав, что сказывается как на строении почвенного профиля и его формуле, так и на направлении почвообразования и физико-химических свойствах почв [4].

Издавна многие почвоведы отмечали почвообразующие породы как наиболее важный эдафический фактор, определяющий многие свойства почв: отличительные морфологические признаки почв, сформировавшихся на красноцветном элювии пермских пород. Их высокое

плодородие отмечал С. И. Коржинский [5], А. Я. Гордягин [6] в Казанской губернии на элювии пермских песчаников впервые выделил супесчаные почвы без признаков оподзоливания. Своеобразие почв, сформировавшихся на красноцветных пермских отложениях, отмечали многие исследователи почв Среднего Поволжья и Предуралья [7–14].

В условиях Марий Эл, с промывным типом водного режима и кислыми продуктами распада растительных остатков, когда зачастую создаются условия для разрушения минеральной части и вымывания продуктов разрушения из верхних горизонтов в нижние, порой даже на карбонатных породах, в зависимости от глубины их залегания и количества, формируются признаки оподзоливания (кремнеземистая присыпка) и оглеения в верхних горизонтах без формирования обособленного элювиального (подзолистого) горизонта, в соответствии с чем критерии и правила «Классификации и диагностики почв» (1977) в условиях лесной зоны относили их к почвам подзолистого типа различной степени подзолистости. С появлением КиДПР (2004), с её изменёнными критериями по диагностике горизонтов, почвы с подобным незначительным проявлением оподзоливания (элювиирования) нельзя отнести к типу дерново-подзолистых, поскольку главным критерием для этого служит наличие обособленного, однородного элювиального горизонта ЕL.

Учитывая появление современной версии «Классификации и диагностики почв России» (2004), с обновлениями (2008, 2022 гг.), – далее КиДПР, разработанной учёными Почвенного института им. В. В. Докучаева и Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, которая приобретает всё большую популярность в научной среде почвоведов страны, считаем актуальным при описании и диагностике почв также использовать современные подходы [15, 16].

Современная версия КиДПР при описании почв наибольший упор делает на субстантивные почвенные признаки с целью устранения несовершенства и устаревших положений, а в качестве инструментов диагностики почв выступают обновлённые и значительно изменённые диагностические горизонты и признаки, совокупность которых составляет формулу профиля. Почва в КиДПР рассматривается М. И. Герасимовой, И. И. Лебедевой и Н. Б. Хитровым как объект классифицирования; принцип приоритета свойств почв, выраженных через диагностические горизонты, названия отделов и некоторых типов почв. Для характеристики почвы применяются устойчивые почвенные качественные признаки, на основе которых диагностируются горизонты и профиль в целом, а для нижних таксонов – на основании количественных критериев, определяемых универсальными методами, что обеспечивает объективность классификации почв [17, 18].

Не последнюю роль в появлении современной отечественной классификации играет Международная классификация почв (WRB). В обеих классификациях отмечено определённое сходство [19, 20].

Обновлённая классификация почв России всё более широко используется в научном сообществе, о чём свидетельствуют публикации в журнале «Почвоведение». Главное внимание в анализе современной ситуации в КиДПР уделено диагностическим горизонтам и генетическим признакам – базовым элементам классификации почв России. С одной стороны, именно они определяют почвенные единицы системы, с другой – наиболее активно обсуждаются научным сообществом [21], поэтому представляется особенно актуальным и важным выяснить классификационное положение изучаемых почв в свете обновлённой классификации.

Объект исследования

Объектом нашего исследования являются почвы, сформированные под лес-

ными насаждениями на пермских красноцветных отложениях, которые имеют значительное распространение на территории Республики Марий Эл в силу специфики геологического строения республики. Все исследуемые объекты находятся в северо-восточной, восточной и юго-восточной части Республики Марий Эл на территории различных административных районов – Новоторъяльского, Сернурского, Медведевского, Волжского, Моркинского и сформированы под лесными насаждениями различного состава. Описание и диагностика изученных почв основаны на обновлённой субстантивно-генетической классификации России – КиДПР.

Целью работы является оценка влияния карбонатных почвообразующих пород на качественные признаки почвы под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл и анализ их классификационного положения в свете современной версии КиДПР.

Задачи – закладка почвенных разрезов в местах выхода к поверхности пермских отложений, описание морфологических признаков и выявление качественных диагностических признаков и критериев для определения классификационного положения изученных почв на типовом и надтиповом уровне.

Методы исследований

Почвы, сформировавшиеся на пермских красноцветных суглинисто-глинистых отложениях, изучались нами в разные периоды времени (2000–2023 гг.) под лесными насаждениями разного состава и возраста на территории различных районов республики (Новоторъяльский, Сернурский, Медведевский, Волжский, Моркинский районы). На каждом из объектов закладывались полнопрофильные почвенные разрезы с выделением диагностических горизонтов и признаков и подробным их описанием. Для дальнейшего изучения физико-химических свойств почв (для уточнения положения почвы на подтиповом уровне) также были отобраны почвенные

образцы в соответствии с общепринятыми методиками – ГОСТ 17.4.3.01-2017¹.

Определены почвообразующие горные породы, которые оказывают непосредственное влияние на генезис почвенного профиля.

Классификация, диагностика и описание почв проводились по «Классификации и диагностике почв России» с изменениями и дополнениями (2008, 2022) и «Полевому определителю почв России» (2008) [22].

Результаты и их обсуждение

Анализ строения почвенных профилей, их классификационного положения

и произрастаемой на почвах растительности приводится на примере пяти наиболее типичных почвенных разрезов на соответствующих пробных площадях (рис. 1). Всего в ходе исследований было изучено более 30 почвенных разрезов.

Почвенный разрез 1 (ПР-1) заложен в квартале 31 Новоторьяльского лесничества, под пологом ельника кисличника и имеет следующее строение профиля:

О 0–4 см – лесная подстилка типа модер, рыхлая, влажная. Состоит из хвои, веточек, листьев, шишек. Переход в нижележащий горизонт резкий.

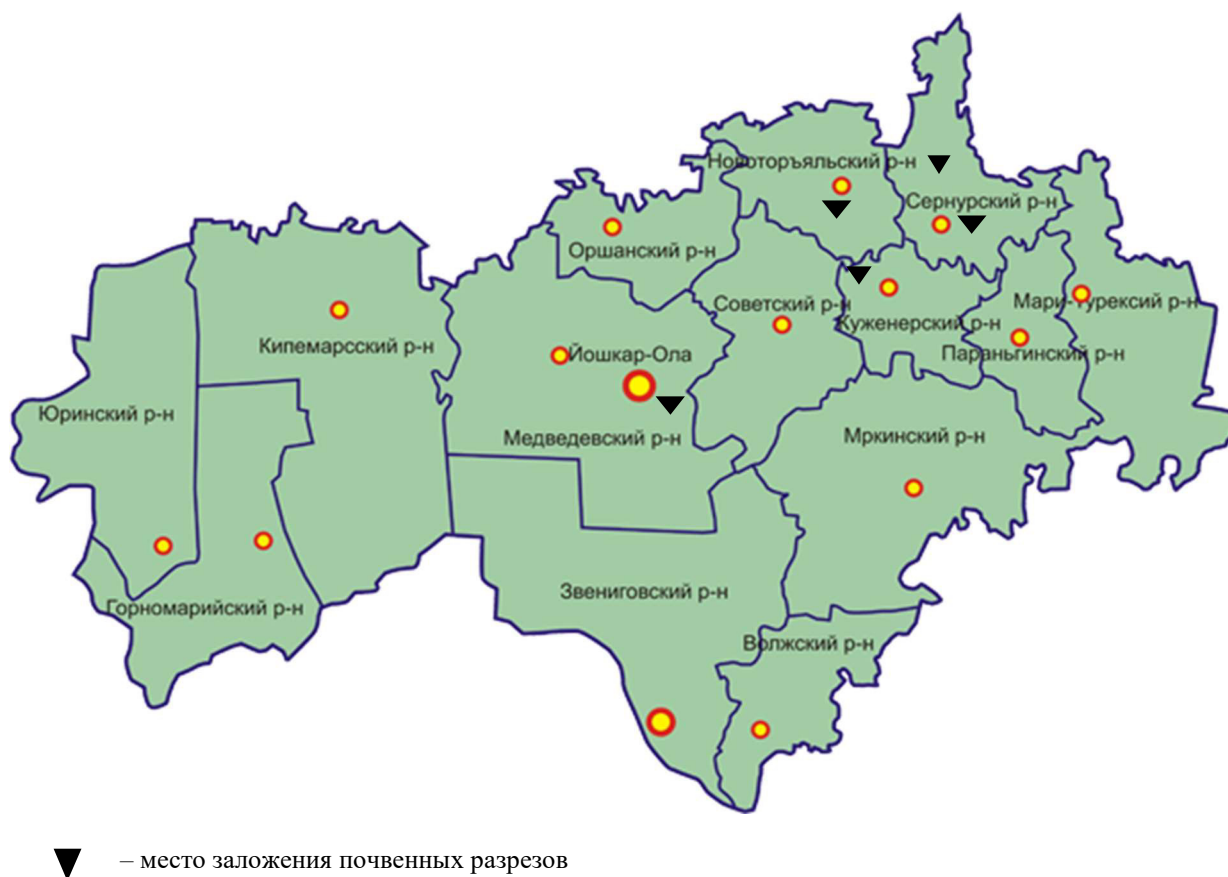


Рис. 1. Карта Республики Марий Эл. Места заложения почвенных разрезов (составлено автором)

Fig. 1. Map of the Republic of Mari El. Soil pit locations (compiled by the author)

¹ ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». М.: Стандартинформ, 2018.

АУ 4–15 см – серогумусовый горизонт буровато-серый, комковато-зернистый, рыхлый, с обилием толстых и тонких корней, легкоглинистый, свежий. Переход ясный по неровной линии.

АЕЛ 15–23 см – гумусово-элювиальный горизонт серый, комковатый, плотноватый, густо пронизан корнями, легкоглинистый, свежий. Переход в следующий горизонт ясный по неровной линии.

ВЕЛ 23–35 см – субэлювиальный горизонт серый с коричневым оттенком, комковато-ореховатый, плотноватый, густо пронизан корнями, легкоглинистый, свежий. Переход по неровной линии.

ВТ 35–61 см – текстурный горизонт желтовато-буро-коричневый, слабокомковатый, плотный, встречаются корни, корневины, обильные гумусово-глинистые кутаны по граням структурных отдельностей, легкоглинистый, влажноватый, переход постепенный.

С 61–84 см – почвообразующая порода желтовато-бурая, бесструктурная, плотная, имеются корни, обилие корневинов, легкоглинистая, влажноватая, переход ясный.

Дса, g 84–140 см – подстилающая порода неоднородного цвета, пестроцветный элювий мергелей с преобладанием белесовато-красной окраски, бесструктурная, плотная, встречаются корни, корневины, пятна оглеения, легкоглинистая, влажная.

Грунтовые воды вскрыты на глубине 140 см. Вскипание от соляной кислоты бурное, сплошное с глубины 84 см.

Почва (по КиДПР) – серая легкоглинистая глубокоглееватая на карбонатном элювии перми.

Фитоценоз, произрастающий на изученной почве, имеет состав 8Е2П, возраст 75 лет, относительная полнота 0,6. Тип лесорастительных условий – Д₂, класс бонитета – I. Подрост средней густоты, состоящий из ели, пихты, благонадёжный, равномерно распределён по площади. Подлесок представлен бересклетом бородавчатым, рябиной обыкновенной, жимолостью обыкновенной, бузиной красной, шиповником, средней густоты, неравно-

мерный. В живом напочвенном покрове встречаются следующие виды: кислица обыкновенная, мхи, копытень европейский, сныть обыкновенная, щитовник мужской, ландыш майский, чина весенняя, орляк обыкновенный, майник двулистный, костяника, земляника. Покров 70 %.

Почвенный разрез 2 (ПР-2) заложен под ельником кислично-снытьевым в квартале 49 Сernурского лесничества и характеризуется следующим строением:

О 0–4 см – лесная подстилка коричнево-бурая, среднеразложившаяся, рыхлая, влажная, состоит из хвои, шишек, переплетена мицелием грибов. Переход резкий.

АУ 4–12 см – серогумусовый горизонт тёмно-серый, зернисто-комковатый, рыхлый, обилие корней, среднесуглинистый, влажноватый, переход заметный по неровной линии.

АЕЛ 12–24 см – гумусово-элювиальный горизонт неоднородный, буровато-серый, комковато-чешуйчатый, рыхлый, обилие корней, тяжелосуглинистый, влажноватый, переход заметный.

ВЕЛ 24–33 см – субэлювиальный горизонт неоднородный, буро-коричневый с серыми морфонами, комковато-ореховатый, плотный, наличие корней, корневинов, скелетаны по граням структурных отдельностей, легкоглинистый, свежий, переход ясный.

ВТ1 33–54 см – текстурный горизонт коричневый, комковато-призматический, плотный, корни, корневины, гумусово-глинистые кутаны, легкоглинистый, свежий, переход постепенный.

ВТ2 54–78 см – текстурный горизонт буровато-серый, комковато-призматический, плотный, корни, корневины, гумусовые кутаны по граням структурных отдельностей, легкоглинистый, свежий, переход ясный.

ВСg 78–90 см – неоднородный, сизовато-красно-коричневый, бесструктурный, плотный, корни, корневины, потёки гумуса по корневинам, пятна оглеения, тяжелосуглинистый, влажноватый, переход ясный.

C1 90–133 см – почвообразующая порода неоднородного цвета, красно-коричневая, бесструктурная, плотная, корни, корневины, потёки гумуса по корневинам, легкоглинистая, влажноватая, переход постепенный по неровной линии.

C2ca 133–175 см – почвообразующая порода неоднородная, коричневатокрасная, бесструктурная, плотная, корни, корневины, карбонаты, легкоглинистая, влажноватая.

Грунтовые воды не вскрыты. Вскипание от HCl бурное, местное с глубины 133 см.

Почва – серая лесная среднесуглинистая глееватая на карбонатном элювии перми.

Древостой одноярусный 6ЕЗПБ+С, класс бонитета I, относительная полнота 0,7, возраст 80 лет, ТЛУ – Д₂. Подрост средней густоты, куртинами из ели. Подлесок редкий и состоит из рябины, черёмухи, малины, бересклета. Степень покрытия живым напочвенным покровом составляет 70 %, представлен следующими видами: сныть обыкновенная, кислица, копытень европейский, купена многоцветковая, будра плющевидная, пролесник многолетний, хвощ полевой, чина весенняя, звездчатка ланцетовидная.

Серая глееватая среднесуглинистая почва на карбонатных пермских красноцветных отложениях (ПР-3) выделена нами в квартале 37 Сернурского лесничества на плоском участке водораздельного плато под пологом сложного осинового насаждения. Состав древостоя I яруса 8Ос1Е1Лп+П, возраст 50 лет, полнота 0,6. Состав II яруса 6Е4Лп. Подрост из ели и пихты, редкий. В подлеске клён, рябина, жимолость, черёмуха, бересклет – густой. Степень покрытия живым напочвенным покровом составляет 70 % и представлен следующими видами: звездчатка ланцетовидная, седмичник обыкновенный, копытень европейский, крапива двудомная, сныть обыкновенная, щитовник мужской, будра плющевидная, костяника.

Почва имеет следующее строение:

О 0–4 см – лесная подстилка буровато-коричневая, состоит из листьев, хвои, веточек, влажноватая, переход резкий.

AYel, g 4–22 см – серогумусовый горизонт светло-серый, слоеватый, плотноватый, имеется много корней, гумусово-железистых конкреций, заметны светлые пылеватые зёрна минералов, среднесуглинистый, свежий, с пятнами оглеения, переход ясный.

BELg 22–30 см – субэлювиальный горизонт неоднородный, белесоватосветло-коричневый, комковато-ореховатый, плотный, имеются корни, гумусово-железистые конкреции, обильные скелетаны по граням структурных отдельностей, пятна оглеения, тяжелосуглинистый, влажноватый, переход заметный.

BT1 30–48 см – текстурный горизонт серовато-бурый, комковато-призматический, плотный, имеются корни, корневины, скелетаны, тяжелосуглинистый, свежий, переход постепенный.

BT2 48–77 см – текстурный горизонт темновато-коричневый, призматический, плотный, корни, корневины, поры, легкоглинистый, свежий, переход заметный.

C1 77–107 см – почвообразующая порода желтовато-коричневая, бесструктурная, корни, корневины, тяжелосуглинистая, свежая, переход ясный.

C2ca, g 107–165 см – горизонт почвообразующей породы неоднородный, коричнево-красный, бесструктурный, плотный, корни, корневины, пятна оглеения, тяжелосуглинистый, свежий.

Грунтовые воды не вскрыты. Вскипание от кислоты не обнаружено.

Почвы аналогичного генезиса и формулы профиля, описание которых не вошло в текущую работу, были нами также изучены на территории Куженерского и Моркинского районов. Все исследованные почвы объединяются следующими диагностическими морфологическими признаками – это чётко выделенный серогумусовый горизонт (AY), иногда с признаками элювирования, отсутствие чётко выраженного одно-

родного элювиального горизонта (EL), наличие диагностических горизонтов AEL и (или) BEL. Текстуальный горизонт BT диагностирован по наличию обильных глинистых и гумусово-глинистых кутан и значительной величине коэффициента дифференциации ила ($KД > 3$). Согласно КиДПР и логике субстантивно-генетической классификации, почвы с соответствующим строением профиля соответствуют типу серых почв, текстурно-дифференцированного отдела постлитогенного ствола. Изученные почвы на уровне ниже типового (вид, разновидность и разряд) могут иметь некоторые различия, которые будут освещены в следующих работах, после получения данных лабораторных анализов. Отличительными особенностями большинства почв, развитых на карбонатных отложениях, как правило, являются более тёмный оттенок с бурыми морфонами и лучшая оструктуренность серогумусового горизонта (рис. 2).

Кроме того, в пределах республики (Сернурский, Советский, Медведевский районы) нами также изучены почвы на пермских красноцветных отложениях, не содержащих карбонаты, но имеющие, как правило, чётко выраженный однородный элювиальный горизонт (EL) и наличие серогумусового горизонта (AY) с менее выраженной структурой и более светлым оттенком по сравнению с серыми почвами, что, согласно как прежней (1977), так и обновлённой классификации (2004), относится к типу дерново-подзолистых – ПР-4, 5, описание которых приводится ниже (рис. 3).

Дерново-подзолистая среднесуглинистая глубокоглееватая почва на бескарбонатных пермских красноцветных отложениях (ПР-4) изучена на территории Учебно-опытного лесничества Медведевского района Республики Марий Эл под пологом сложного ельника снытьевого. Состав древостоя 5Е4Лп1Б, класс бонитета I, относительная полнота 0,7, возраст 70 лет, ТЛУ – Д₂. Подрост густой, равномерный из ели, клёна. Подлесок редкий

и состоит из рябины, бересклета. Степень покрытия живым напочвенным покровом составляет 70 %, представлен следующими видами: сныть обыкновенная, пролесник многолетний, копытень европейский, будра плющевидная, хвощ полевой.

Профиль почвы имеет следующее строение:

О 0–4 см – лесная подстилка однослойная, состоит из листьев, хвои, веточек, влажная, переход резкий.

AYel 4–10 см – серогумусовый горизонт тёмно-серый, комковато-порошистый, рыхлый, имеется много корней, заметны светлые пылеватые зёрна минералов, среднесуглинистый, свежий, переход заметный.

AEL 10–22 см – гумусово-элювиальный горизонт, неоднородный буровато-серый, комковато-пластинчатый, плотноватый, имеются корни, гумусовые потёки, фрагментарное распределение светлых пылеватых зёрен минералов, среднесуглинистый, свежий, переход ясный.

EL 22–45 см – элювиальный горизонт, белесовато-серый, комковато-пластинчатый, плотноватый, имеются корни, корневины, легкосуглинистый, влажный, переход заметный.

BEL 45–83 см – субэлювиальный горизонт серовато-коричневый, призматический, плотный, корни, корневины, скелетаны по граням структурных отдельностей, свежий, переход заметный.

BTg 83–108 см – текстуальный горизонт однородной бурой окраски, призматическая структура, легкоглинистый, корни, корневины, глинистые кутаны, пятна оглеения, влажный, переход заметный по окраске.

Cg 108–150 см – почвообразующая порода неоднородная, буровато-красная, призматическая, плотная, легкоглинистая, корневины, пятна оглеения, свежая.

Грунтовые воды не вскрыты. Вскипание от кислоты не обнаружено.

Аналогичная почва (ПР-5) описана под пологом липняка разнотравного на территории Учебно-опытного лесничества

Медведевского района РМЭ. Состав 10Лп, возраст 50 лет, полнота 0,7, класс бонитета I. Подрост средней густоты, представлен клёном, дубом, вязом. Подлесок редкий из бересклета. Живой напочвенный покров состоит из сныти, пролесника, седмичника, папоротников и злаковых.

Почва имеет следующее строение профиля:

О 0–1 см – лесная подстилка однослойная, типа муль, состоит из листьев, хвои, веточек, влажная, переход резкий.

AYel 1–16 см – серогумусовый горизонт серый, комковатый, рыхлый, тяжело-суглинистый, имеется много корней, светлых пылеватых зёрен минералов, свежий, переход резкий.

EL 16–31 см – элювиальный горизонт однородной белёсой окраски, пластинчатой структуры, рыхлый, суглинистый, имеются корни, корневины, свежий, переход заметный.

BEL 31–45 см – субэлювиальный горизонт неоднородный буровато-светло-серый, комковато-пластинчатый, плотноватый, тяжело-суглинистый, корни, корневины, скелетаны по граням структурных отдельностей, свежий, переход заметный.

BT1 45–79 см – текстурный горизонт неоднородной светло-коричневой окраски, призматическая структура, плотный, тяжело-суглинистый, корни, корневины,

наличие скелетан и глинистых кутан, свежий, переход постепенный по окраске.

BT2g 79–120 см – текстурный горизонт сизовато-светло-бурой окраски, слабо-выраженной призматической структуры, плотноватый, легко-суглинистый, корни, корневины, прослойки оглеения, влажноватый, переход заметный по окраске.

Cg 120–175 см – почвообразующая порода однородная сизовато-красновато-бурая, плотноватая, легко-суглинистая, пятна оглеения, влажноватая.

Грунтовые воды не вскрыты. Вскипание от кислоты не обнаружено.

Почва – дерново-подзолистая средне-суглинистая на бескарбонатных пермских отложениях.

Строение изученных почвенных профилей с диагностическими горизонтами и признаками представлено в табл. 1.

На рис. 2, 3 приведены фото наиболее типичных представителей изученных почв на территории Республики Марий Эл.

Таким образом, изученные нами почвы, которые сформировались в разных районах республики, образовались на рыхлых пермских отложениях разного химического состава (содержащие карбонаты – ПР-1, 2, 3 и не содержащие карбонаты – ПР-4, 5). Наша гипотеза о значительном влиянии карбонатных отложений на строение профиля, проявление морфологических признаков почв подтверждается.

Таблица 1. Строение почвенного профиля изученных почв

Table 1. Structure of the soil profile of the studied soils

Генетические горизонты				
ПР-1	ПР-2	ПР-3	ПР-4	ПР-5
О	О	О	О	О
AY	AY	AYel,g	AYel	AYel
AEL	AEL	BELg	AEL	EL
BEL	BEL	BT1	EL	BEL
BT	BT1	BT2	BEL	BT1
C	BT2	C1	BTg	BT2g
Dca,g	BCg	C2ca,g	Cg	Cg
	C1			
	C2ca			



Рис. 2. Серая среднесуглинистая почва на карбонатном элювии перми (ПР 2)
Fig. 2. Gray medium loamy soil on Permian carbonate eluvium (Soil pit 2)

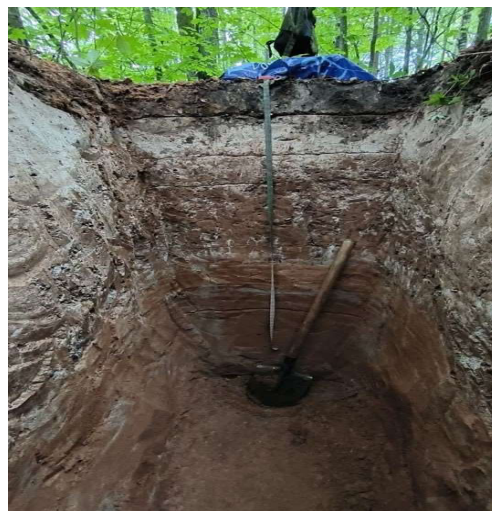


Рис. 3. Дерново-подзолистая среднесуглинистая почва на бескарбонатных пермских отложениях (ПР 5)
Fig. 3. Sod-podzolic medium loamy soil on non-carbonate Permian sediments (Soil pit 5)

Как видно из морфологического описания и рис. 2, 3, почвы, развитые на карбонатном элювии (ПР-1, 2, 3), морфологически сильно отличаются от почв, развитых на бескарбонатных породах (ПР-4, 5), и разнятся по качественным признакам.

В почвах разрезов (ПР-1, 2, 3) морфологически отсутствуют обособленные элювиальные горизонты, но часто выделяются диагностические гумусово-элювиальный (AEL) и субэлювиальный (BEL) горизонты (несмотря на положение между двумя горизонтами, они не являются переходными и недиагностическими), отражающие их индивидуальные свойства и современные процессы, происходящие в почвах. Критериями для их выделения являются наличие неоднородных ахроматических тонов, соотношение различных морфонов и др.

Серогумусовый горизонт (AY) выделен по сочетанию ряда таких критериев, как окраска, мощность и климатическое расположение – гумидное – субгумидное.

Текстурный горизонт (BT) во всех исследованных почвах диагностирован по тяжёлому гранулометрическому составу, значению дифференциации ила ($KД=Ил\ гор.\ BT/Ил\ гор.\ AY$), для которого (согласно КиДПР) КД должен быть

более 1,4 (в нашем случае $KД>3$) и достаточно обильным гумусово-глинистым (ПР-1, 2, 3) и глинистым кутанам с примесью отчётливых светлых скелетан в виде языков и пятен (ПР-5), что соответствует текстурно-дифференцированным почвам. Учитывая все вышеобозначенные критерии, описанные почвы (ПР-1, 2, 3) относятся к типу серых почв текстурно-дифференцированного отдела постлито-генного ствола, согласно КиДПР.

Почвы разрезов (ПР-4, 5) морфологически значительно отличаются от вышеупомянутых. Так, в них отчётливо проявляется дифференциация профиля по элювиально-иллювиальному типу, т. е. хорошо диагностируются элювиальный горизонт (EL) – однородно белёсый, хорошо выраженный; текстурный горизонт (BT) суглинистого гранулометрического состава, заметно плотнее вышележащего, относительно однородной окраски, нарушаемой светлыми белёсыми языками или пятнами с обильными кутанами и скелетанами. Серогумусовый горизонт (AY) более светлого оттенка – более заметны светлые пылеватые и песчаные зёрна минералов и меньше бурых гумусово-глинистых плёнок. По совокупности

внешних признаков и существующих критериев исследованные почвы отнесены к типу дерново-подзолистых глеевых (глееватых) почв текстурно-дифференцированного отдела постлитогенного ствола.

Таким образом, мы видим, что почвы, сформированные на разных по составу, но одинаковых по генезису почвообразующих породах, морфологически значительно отличаются друг от друга, что отражается на строении почвенного профиля, степени дифференциации, морфологических признаках и в конечном счёте на их классификационном положении, т. е. различаются на уровне типа.

Следует сказать, что лесная растительность также способна влиять на степень интенсивности проявления признаков элювиирования, но особенно заметно это проявляется при отсутствии карбонатов в почвенной толще, когда органическим кислотам ничто не мешает более активно воздействовать на минеральную составляющую верхних горизонтов через повышенную кислотность, приводящую к разрушению агрегатов, а первопричиной этого является отсутствие карбонатов в пределах почвенного профиля. Именно

поэтому, чаще всего полноценный элювиальный горизонт элювиирования формируется на относительно бедных почвообразующих породах, что в целом отражается на увеличении мощности элювиированной зоны (табл. 2). В то же время на карбонатных породах, как правило, процессы дифференциации профиля как морфологически, так и химически менее выражены (и степень проявления дифференциации здесь во многом зависит от глубины залегания карбонатов) – что мы отчётливо видим на примере разрезов 1, 2 и 3 и данных табл. 1, 2, где профиль почв более монотонный, менее дифференцированный по элювиальному типу, границы переходов между горизонтами слабо заметные, верхний серогумусовый горизонт (AY) имеет более тёмный оттенок и большую мощность, что свидетельствует о более активном закреплении гумуса и других питательных элементов, при одновременном уменьшении гумусово-элювиального, суб-элювиального горизонтов и в целом зоны элювиирования, т. е. налицо превалирование процессов аккумуляции различных соединений в профиле почвы над процессами разрушения и выноса (табл. 2).

Таблица 2. Показатели изменчивости мощности минеральных горизонтов исследуемых почв

Table 2. Variability indices of the thickness of mineral horizons of the studied soil

Параметр почвы	Значения статистических показателей					
	M_x	min	max	S_x	m_x	V
Почвы на карбонатных суглинистых породах (объём выборки 11 образцов)						
Мощность горизонта AY	9,1	8	10	0,99	0,31	10,9
Мощность горизонта AEL	8,8	7	11	1,14	0,36	13,0
Мощность горизонта BEL	9,3	7	10	1,03	0,33	11,1
Зона элювиирования (AEL+BEL)	17,3	5	26	5,46	1,73	31,6
Почвы на бескарбонатных суглинистых породах (объём выборки 11 образцов)						
Мощность горизонта AY	8,5	5	11	2,17	0,69	25,5
Мощность горизонта AEL	9,9	8	13	1,29	0,41	13,0
Мощность горизонта EL	12,8	9	20	4,66	2,08	36,4
Мощность горизонта BEL	10,3	9	14	1,34	0,42	13,0
Зона элювиирования (AEL+EL+BEL)	28,9	18	73	17,1	5,71	59,2

Примечание: M_x – среднее значение параметра; min, max – минимальное и максимальное значения; S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение параметра; m_x – ошибка среднего; V – коэффициент вариации, %.

До настоящего момента многие исследователи отмечали и отмечают отсутствие единого мнения о генезисе, номенклатуре и классификационном положении почв, развитых на красноцветных пермских отложениях, но большинство сходится во мнении, что они обладают своеобразным строением профиля и качественными признаками особенно на карбонатных пермских отложениях [1, 2, 11, 12, 14]. Роль карбонатов в почвах и почвообразующих породах подчёркивают Д. И. Щеглов, Л. И. Брехова [23], которые считают, что роль карбонатов в почвообразовании, в формировании тех или иных свойств всегда стоит особняком в силу своей особой значимости, т. к. они определяют многие почвенные свойства, питательный режим, а процессы накопления карбонатов и их миграции играют существенную роль в процессах почвообразования. Поэтому почвы, сформированные на карбонатных пермских отложениях, приобретают специфические качественные признаки, в силу которых ряд исследователей в зависимости от преобладающих оттенков в разное время относили их к коричнево-серым, серо-бурым, дерново-карбонатным, бурым, коричнево-бурым и серым почвам [1, 2, 11, 25], либо при наличии даже незначительных признаков оподзоливания к дерново-подзолистым разной степени подзолистости, что ещё раз подтверждает несовершенство (недостаток диагностических элементов) предыдущей версии классификации почв (1977) и причину появления обновлённой версии классификации с уточнёнными и более детальными критериями по диагностике генетических горизонтов и признаков, изменением старых и введением новых почвенных индексов, введением новых таксонов на надтиповом уровне и существенного расширения новых типов почв внутри отделов, что в целом упрощает диагностику и формирует единые подходы в классификации почв [16].

Выводы

На примере исследованных почв в пределах одного отдела (текстурно-дифференцированных почв) показана система критериев и признаков современной субстантивно-генетической КиДПР, в соответствии с которыми классифицируют почвы на уровне типа.

На верхних уровнях классификации (Ствол–Отдел–Тип) почвы диагностируются с помощью морфологических качественных признаков, аналитические данные помогают установить уточняющие характеристики почвы на нижних уровнях классификации (Подтип–Вид–Разновидность), т. е. классификационное положение почвы на верхних уровнях классификации определяется прежде всего по качественным признакам.

Установлено, что степень проявления элювиирования в почвах подчиняется чёткой закономерности в зависимости от состава почвообразующей породы: она снижена в почвах, формирующихся на карбонатных породах вне зависимости от наличия и состава лесных насаждений и в зависимости от глубины их залегания и поэтому чётко выраженный однородный элювиальный горизонт не формируется – присутствуют лишь осветлённые морфоны в верхних горизонтах, что в соответствии с критериями (КиДПР) автоматически исключает отнесение таких почв к типу дерново-подзолистых и доказывает принадлежность в данных условиях к типу серых почв.

На бескарбонатных почвообразующих породах, в том числе красноцветных суглинках, в почвах под лесными насаждениями на первый план очевидно выходят более выраженные процессы разрушения и выноса в верхних горизонтах, приводящие к формированию отчётливо выраженного элювиального горизонта (EL) и в целом увеличения элювиированной зоны с сопутствующими им признаками и отнесение таких почв к типу дерново-подзолистых.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Газизуллин А. Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Т. 1: Почвы лесов Среднего Поволжья, их генезис, систематика и лесорастительные свойства: Научное издание. Казань: РИЦ «Школа», 2005. 496 с.
2. Протасова Л. А. Генетическая характеристика и диагностика дерново-бурых и дерново-карбонатных почв Пермского края: монография. Пермь: ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2008. 157 с. EDN: QLABRJ
3. Нуреев Н. Б. Почвы центральной части Вятского Увала и их производительность // Тр. Науч.-техн. конф. по итогам н.-и. работ МарГТУ. Йошкар-Ола, 2006. С. 53–56.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
5. Коржинский С. И. Предварительный отчет о почвенных и геоботанических исследованиях 1886 г. в губерниях Казанской, Самарской, Уфимской, Пермской и Вятской // Тр. общества естествоиспытателей при Казанском университете. Казань: 1887. Т. 16, вып. 6. С. 72.
6. Гордягин А. Я. Предварительный отчет губернскому собранию о почвенных исследованиях, проведенных летом 1889 г. в Мамадышском и Царевококшайском уездах Казанской губернии. Казань, 1889. 129 с.
7. Ризположенский Р. В. Понятие о почве, классификация и общее описание почв Казанской губернии // Тр. Общества естествоиспытателей при Казанском университете. Казань, 1892. Т. 24, вып. 6. С. 132.
8. Мясникова А. М. Главные факторы почвообразования и почвы Мензелинского, Актанышского и Муслимовского районов РТ // Ученые записки Казанского университета. 1931. Кн. 1, вып. 1. Почвоведение. С. 1–76.
9. Неганов А. Ф. Генезис коричневых и серо-коричневых лесных почв Башкирской АССР // Почвоведение. 1938. № 5. С. 715–732.
10. Розов И. Н. Почвы Волжско-Камской лесостепной области // Почвы СССР. Европейская часть СССР. М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1939. Т. 111. Почвы лесостепных и степных областей. С. 179–235.
11. Смирнов В. Н. Серо-бурые почвы широколиственных лесов на двучленных наносах Марийской АССР // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение. 1973. Вып. 2. С. 99–106.
12. Протасова Л. А. Минералогический состав илистой фракции дерново-бурых почв Пермской области // Научные основы повышения плодородия почв: межвузовский сборник науч. трудов Пермь: Пермский с.-х. институт, 1982. С. 56–61.
13. Зонн С. В. Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. 168 с.
14. Газизуллин А. Х. Генезис почв, сформированных на красно-цветных пермских отложениях Среднего Поволжья и Предуралья // Почвоведение. 1995. №9. С. 1071–1081.
15. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
16. Герасимова М. И., Хитров Н. Б., Лебедева И. И. Развитие базовой классификации почв В. М. Фридланда в классификации почв России // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2020. № 102. С. 5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-5-20; EDN: UAGBJX
17. Ананко Т. В., Герасимова М. И., Конюшков Д. Е. Опыт обновления почвенной карты РСФСР масштаба 1:2,5 млн в системе классификации почв России // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1411–1420. DOI: 10.7868/S0032180X17120024; EDN: ZWLVNR
18. Герасимова М. И., Лебедева И. И., Хитров Н. Б. Индексация почвенных горизонтов: состояние вопроса, проблемы и предложения // Почвоведение. 2013. № 5. С. 627–638. DOI: 10.7868/S0032180X13050031; EDN: PYSIMH
19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. 2014. FAO, Rome. 181 p.
20. Герасимова М. И. Сравнение принципов, структуры и единиц классификации почв России и международной почвенной классификации // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2015. № 79. С. 23–35. EDN: UANQDH
21. Герасимова М. И. Классификация почв России: путь к следующей версии // Почвоведение. 2019. № 1. С. 32–42. DOI: 10.1134/S0032180X19010027; EDN: YVZMMH
22. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
23. Щеглов Д. И., Брехова Л. И. Процессы почвообразования. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. 58 с.
24. Тюрин И. В. К вопросу о генезисе и классификации лесостепных и лесных почв // Ученые записки Казанского университета. Казань, 1930. Т. 90. Кн. 4. С. 429–462.

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 30.08.2024;
принята к публикации 20.09.2024

Информация об авторе

НУРЕЕВ Наиль Биалович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – почвоведение, геология, лесоведение. Автор 50 научных публикаций, в том числе одной монографии. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1797-0700>; SPIN-код: 2572-2510

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*52:630*174.754

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.20>

EDN: EQOKEL

Classification Position of Soils Developed on Permian Red-Colored Sediments under Forest Plantations in the Conditions of the Republic of Mari El

N. B. Nureev

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
NureevNB@volgatech.net

Abstract. *Introduction.* Of great importance for the formation of the soil profile, profile formula and its properties is the parent rock material, which influences the qualitative characteristics of the soil and thus its classification position. *The purpose of the study* is to assess the impact of carbonate soil-forming rocks on the qualitative characteristics of the soil developed under forest plantations in the Republic of Mari El, as well as to analyze their classification position in the light of the current version of KiDPR (2004), the Russian soil classification system (KiDPR – abbr. Klassifikatsiya i Diagnostika Pochv Rossii, i.e., Classification and Diagnostics of Soils of Russia). *Objects and methods.* The object of the study is the soils formed under forest plantations on Permian carbonate and non-carbonate red-colored sediments widespread in different regions of the eastern part of the Republic of Mari El due to the specific geological structure of the republic. The description and diagnostics of the studied soils were performed in accordance with the revised substantive-genetic classification of Russian soils KiDPR (2004). *Results.* Using the example of soils sampled within one department (texture-differentiated soils), an updated indexation of soil horizons is presented along with a system of criteria and features of the updated substantive-genetic classification KiDPR (2004), according to which the soils are classified at the type and supratype levels. A pattern of the degree of eluviation manifestation depending on the soil-forming rock composition has been identified. *Conclusion.* According to the research results, the degree of eluviation manifestation is significantly reduced in the soils formed on carbonate rocks regardless of the presence or composition of forest plantations, which indicates the priority importance of the composition of the soil-forming rock in influencing the structure of the soil profile, its qualitative characteristics and the establishment of its classification position at the type and supratype levels.

Keywords: soils; KiDPR (abbr. *Klassifikatsiya i Diagnostika Pochv Rossii*, i.e., Classification and Diagnostics of Soils of Russia); diagnostic horizon; substantive-genetic characteristics; soil profile; Permian deposits

Acknowledgments: the author expresses his sincere appreciation to Nikolai B. Khitrov, Doctor of Agricultural Sciences, Department Head of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, for providing consultations, valuable advice and comments during the work on the article.

Funding: this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Nureev N. B. Classification Position of Soils Developed on Permian Red-Colored Sediments under Forest Plantations in the Conditions of the Republic of Mari El. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(3):20–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.20>; EDN: EQOKEL

REFERENCES

1. Gazizullin A. Kh. Soil and ecological conditions for the formation of forests in the Middle Volga region. Vol. 1: Soils of forests of the Middle Volga region, their genesis, taxonomy and forest vegetation properties. Kazan: Ric-school Publ.; 2005. 496 p. (In Russ.).

2. Protasova L. A. Genetic characteristics and diagnostics of sod-brown and sod-carbonate soils of the Perm Territory. *Monograph*. Perm: Perm State Agricultural Academy; 2008. 157 p. EDN: QLABRJ (In Russ.).
3. Nureyev N. B. Soils of the central part of Vyatsky Uval and their productivity. *Proceedings of the scientific and technical conference dedicated to the research outcomes of Mari State University*. Yoshkar-Ola: Mari State University; 2006:53–56. (In Russ.).
4. Classification and diagnostics of soils of the USSR. Moscow: Kolos Publ.; 1977. 223 p. (In Russ.).
5. Korzhinsky S. I. Preliminary report on soil and geobotanical research carried out in 1886 in the Kazan, Samara, Ufa, Perm and Vyatka Provinces. *Proceedings of the Society of Naturalists at the Imperial Kazan University*. 1887;16(6):72. (In Russ.).
6. Gordyagin A. Ya. Preliminary report to the provincial assembly on soil research carried out in the summer of 1889 in Mamadysh and Tsarevokokshay districts of the Kazan province. Kazan, 1889. 129 p. (In Russ.).
7. Rizpolozhensky R. V. The concept of soil, classification and general description of soils in the Kazan province. *Proceedings of the Society of Naturalists at the Imperial Kazan University*. 1892;24(6):132. (In Russ.).
8. Myasnikova A. M. The main factors of soil formation and soil in the Menzelinsky, Aktanysh and Muslyumovsky Districts of the Republic of Tatarstan. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta* (Proceedings of Kazan University). 1931;1(1-Soil Science):1–76. (In Russ.).
9. Neganov A. F. Genesis of brown and gray-brown forest soils of the Bashkir Autonomous Soviet Socialist Republic. *Soil Science*. 1938;(5):715–732. (In Russ.).
10. Rozov I. N. Soils of the Volga-Kama forest-steppe region. *Soils of the USSR. European part of the USSR*. Moscow-Leningrad: USSR Academy of Sciences Publishing House, 1939. Vol. 111. Soils of forest-steppe and steppe regions. Pp. 179–235. (In Russ.).
11. Smirnov V. N. Gray-brown soils of broad-leaved forests on two-membered sediments of the Mari Autonomous Soviet Socialist Republic. *Forestry, Forest Crops and Soil Science*. 1973;(2):99–106. (In Russ.).
12. Protasova L. A. Mineralogical composition of the silty fraction of soddy-brown soils in the Perm region. In: *Scientific foundations for increasing soil fertility. Interuniversity collection of scientific papers*. Perm: Perm Agricultural Institute; 1982:56–61. (In Russ.).
13. Zonn S. V. Modern problems of soil genesis and geography. Moscow: Nauka Publ., 1983. 168 p. (In Russ.).
14. Gazizullin A. Kh. Genesis of soils formed on red Permian deposits in Central Volga region and Cis-Urals region. *Eurasian Soil Science*. 1995;(9):1071–1081.
15. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I. et al. Classification and diagnostics of soils in Russia. Smolensk: Oycumena Publ.; 2004. 342 p. (In Russ.).
16. Gerasimova M. I., Khitrov N. B., Lebedeva I. I. Development of the basic soil classification of Vladimir Fridland in the classification of soils of Russia 2004/2008. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2020;(102):5–20. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-102-5-20; EDN: UAGBJX (In Russ.).
17. Ananko T. V., Gerasimova M. I., Konyushkov D. E. Experience of updating the soil map of the RSFSR (1:2.5 M scale) in the system of Russian soil classification. *Eurasian Soil Science*. 2017;(12):1411–1420. DOI: 10.7868/S0032180X17120024; EDN: ZWLVNR (In Russ.).
18. Gerasimova M. I., Lebedeva I. I., Khitrov N. B. Soil horizon designation: state of the art, problems, and proposals. *Eurasian Soil Science*. 2013;(5):627–638. DOI: 10.7868/S0032180X13050031; EDN: PYSIMH (In Russ.).
19. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO, 2014. 181 p.
20. Gerasimova M. I. Principles, structure and taxonomic units in the Russian and international (WRB) systems of soil classification. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2015;(79):23–35. EDN: UANQDH (In Russ.).
21. Gerasimova M. I. Russian soil classification system: towards the next approximation. *Eurasian Soil Science*. 2019;(1):32–42. DOI: 10.1134/S003-2180X19010027; EDN: YVZMMH (In Russ.).
22. Field guide to soils of Russia. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute; 2008. 182 p. (In Russ.).
23. Shcheglov D. I., Brekhova L. I. Soil formation processes. Voronezh: Voronezh State University; 2016. 58 p. (In Russ.).
24. Tyurin I. V. Gegenesis and classification of forest-steppe and forest soils. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta* (Proceedings of Kazan University). 1930;90(3-4):429–462. (In Russ.).

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 30.08.2024;
accepted for publication 20.09.2024

Information about the author

Nail B. Nureev – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Chair of Ecology, Soil Science and Environmental Management, Volga State University of Technology. Research interests – soil science, geology, forestry. Author of 50 scientific publications including one monograph. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1797-0700>; SPIN: 2572-2510

Conflict of interests: the author declare no conflict of interest.
The author read and approved the final manuscript.

Научная статья

УДК 630.311

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.34>

EDN: WYQFWQ

Новая технология отвода лесосек с применением беспилотных авиационных аппаратов и радиомаяков

П. И. Костин[✉], М. А. Быковский

Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана,
Российская Федерация, 141005, Мытищи, ул. 1-я Институтская, 1
pavelllkostinnn@gmail.com[✉]

Аннотация. *Введение.* Отрасль лесного хозяйства является одной из наиболее противоречивых и консервативных. С одной стороны, Российская Федерация занимает одно из лидирующих мест по объёмам лесных ресурсов, с другой стороны, доля лесного сектора в ВВП страны не составляет и одного процента. Это свидетельствует о наличии проблем, сдерживающих развитие лесного комплекса, которые наблюдаются на разных уровнях лесопользования и лесозаготовок – от отвода и таксации лесосек, системы охраны и защиты лесов до уровня материально-технического, научного и кадрового обеспечения. В настоящее время, помимо прочих проблем, наблюдается повышение объёмов незаконных вырубок и недостаток высококвалифицированных кадров и технологий для работы в лесном хозяйстве и лесной промышленности, что приводит к нарушениям границ лесосек и отсутствию достоверных данных о них. В последнее время тема лесной отрасли достаточно широко обсуждается на верхних уровнях государственной власти в части стратегического планирования развития. «Стратегия развития лесного комплекса до 2030 года», утверждённая Правительством РФ 11 февраля 2021 года, предполагает комплексную модернизацию сферы, одной из основных задач которой является цифровизация отрасли. *Цель* исследования – разработка технологии отвода лесосек при помощи беспилотных летательных аппаратов в рамках реализации нацпроекта «Беспилотные авиационные системы» до 2030 года и приказа Рослесхоза № 608, устанавливающего необходимость обеспечения лесных хозяйств регионов техникой и оборудованием, необходимым для патрулирования лесов, в т. ч. БПЛА, а также в рамках стратегии устойчивого развития лесного комплекса. *Объект и методы.* Способ отвода лесосек. Анализ данных, находящихся в источниках свободного доступа, анализ нормативно-правовой базы, регулирующей сферу лесного хозяйства, сравнение результатов исследований. *Результаты.* Обоснована эффективность отвода лесосеки с использованием БПЛА, оснащённых системой сброса радиомаяков в нужных координатах, для закрепления границ лесосеки на местности. Приведены расчёты экономических затрат на применение данной системы, точности сброса маяков, эффективности применения новой технологии, который показывает сокращение трудовых затрат на отвод лесосек в сравнении с традиционным способом. *Выводы.* Применение разработанной технологии значительно повышает эффективность процесса отвода лесосек, сокращает трудоёмкость и увеличивает точность закрепления границ лесосеки.

Ключевые слова: отвод лесосек; лесное хозяйство; лесной сектор; БПЛА; беспилотник; радиомаяк; стратегическое планирование; технологии; эффективность; цифровизация; разметка лесосеки; система сброса

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Костин П. И., Быковский М. А. Новая технология отвода лесосек с применением беспилотных авиационных аппаратов и радиомаяков // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3 (63). С. 34–43. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.34>; EDN: WYQFWQ

© Костин П. И., Быковский М. А., 2024

Введение

XXI век характеризуется активным повсеместным внедрением и применением информационных технологий. Особого внимания заслуживает отрасль лесного хозяйства, где уровень цифровизации и технологической оснащённости является недостаточно высоким. Для более инновационного развития отрасли необходимо решение ряда проблем, связанных с использованием устаревших технологий, машин и оборудования с высокой долей ручного труда и низкой производительностью, практически полным отсутствием технологий цифровизации и автоматизации.

Особого внимания заслуживает отрасль лесного хозяйства, где уровень цифровизации и технологической оснащённости является недостаточно высоким. Учитывая лидирующие позиции России в мировом сообществе по объёмам запасов древесины, когда площадь лесов составляет почти половину площади страны, насчитывая около 770,7 млн. га, можно объективно считать деревообрабатывающую отрасль одной из наиболее значимых для экономики страны. Однако фактическая ситуация в лесной отрасли позволяет расценивать её как одну из наименее доходных, наиболее проблемных и сложных. Об этом свидетельствует и тот факт, что доля лесной отрасли в ВВП страны не превышает и одного процента, а объёмы финансирования на цели развития лесного хозяйства (расходы) значительно превышают доходы от платежей за использование лесов.

Под лесной промышленностью понимается совокупность отраслей промышленности, занимающихся заготовкой древесины и последующей деревообработкой, а также производством готовой продукции из переработанных материалов. Ежегодно отмечается рост таких видов продукции, как пиломатериалы, фанера, древесностружечные и древесно-волокнистые плиты, производство бумаги и картона, в том

числе мелованных видов, для полиграфической и пищевой промышленности, а также бумаги и изделий санитарно-гигиенического назначения. Однако для более инновационного развития отрасли необходимо решение ряда проблем, связанных с недостатком мощностей по глубокой переработке, использованием устаревших технологий, машин и оборудования с высокой долей ручного труда и низкой производительностью, практически полным отсутствием технологий цифровизации и автоматизации, высоким износом основных производственных фондов, низкой инвестиционной активностью и других проблем.

Согласно целям и задачам «Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года»¹, ожидается достижение безубыточности лесного хозяйства и формирование устойчивого лесопользования на основе внедрения инновационных технологий и широкого применения лучших практик использования и воспроизводства лесов, охраны и защиты лесов от пожаров, вредных организмов и других неблагоприятных факторов, противодействия незаконным рубкам и обороту незаконно заготовленной древесины к 2030 году.

На практике, с момента разработки и публикации «Стратегии развития лесного комплекса» к 2024 году отрасль лесного хозяйства не претерпела каких-либо кардинальных изменений, кроме разработки и запуска «Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК)»² и программы внедрения в регионы беспилотников для мониторинга лесопожарной обстановки, охраны от незаконных вырубок и лесопатологического обследования лесов,

¹ «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», утверждённая Правительством РФ 11 февраля 2021 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573658653> (дата обращения: 09.10.2023).

² Федеральное агентство лесного хозяйства. ФГИС. URL: https://rosleshoz.gov.ru/information_systems/fgis_lk_information (дата обращения: 09.10.2023).

согласно приказу Рослесхоза № 608³ и нацпроекту «Беспилотные авиационные системы»⁴. Согласно решениям заседания Совета по вопросам развития лесного комплекса России при Совете Федерации, в 2024 году планируется направить около 2 млрд рублей на закупку свыше 1,2 тыс. беспилотников. Всего до конца 2030 года планируется закупить более 5,1 тыс. дронов на сумму 7,9 млрд рублей⁵.

Во всём мире наблюдается тенденция применения БПЛА в различных направлениях лесной промышленности. БПЛА позволяет осуществлять мониторинг лесных экосистем [1], мониторинг лесных пожаров, производить аэрофотосъёмку местности, определять параметры гидротехнических сооружений на лесных дорогах [2], определять таксационные показатели.

Основной фокус Рослесхоза сейчас направлен именно на разработку технологий использования беспилотников в лесной сфере, что говорит об уверенном возрастании актуальности применения БПЛА в лесном комплексе. Основным направлением использования беспилотников в России по-прежнему остаётся мониторинг лесных пожаров [3] как самая глобальная проблема.

Однако, стоит отметить, что имеются не столь заметные, но не менее важные проблемы, такие как низкая эффективность отвода лесосек, проводимая вручную лесниками.

Отвод и таксация лесосек – это обязательные мероприятия, которые проводятся для подготовки лесосеки к рубкам. Отвод лесосек проводится, как правило, в весенне-

летний период при условии отсутствия снега. Отвод – это подготовительная операция, включающая в себя закрепление границ участка леса для проведения на нём лесозаготовительных работ⁶.

Работы, необходимые для разметки границ лесосеки на местности, включают в себя:

- прорубку визиров шириной около 1 метра;
- установку делячных столбов в углах границы лесосеки;
- отграничение в пределах лесосеки неэксплуатационных участков леса;
- промер линий, измерение углов наклона и углов между линиями;
- привязку к таксационным визирам, квартальным просекам или другим ориентирам.

При сплошных рубках спелых и перестойных насаждений внутри визира вырубается все деревья с диаметром ствола менее 16 см. Деревья, расположенные за границей лесосеки (расположенные вдоль визира и не входящие в лесосеку), помечают посредством затёсок или иных отметок (ярких лент, краски). Визеры лесосек, отводимых под выборочные рубки, расчищаются посредством обрубки сучьев и веток, а также рубки кустарника. Вырубка деревьев в данном случае не требуется. Для съёмки границ и привязки лесосек служат геодезические инструменты, которые обеспечивают точность измерения линий с погрешностью не более 1 метра на 300 метров длины, погрешность измерения углов должна составлять не более 30 минут. По завершению разработки лесосек и при дальнейшем лесовосстановлении на делячных столбах ниже делают дополнительную щеку с внесением данных по году посадки (посева) и виду высаженной культуры. Столб может использоваться в течение 3–5 лет после выполнения

³ Нормативы обеспеченности субъекта Российской Федерации техникой и оборудованием, необходимыми для патрулирования лесов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/726597160> (дата обращения: 09.10.2023).

⁴ Нацпроект БАС Беспилотные авиационные системы. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6442459> (дата обращения: 09.10.2023).

⁵ <https://lptexpo.ru/news/novosti/rosleskhov-v-2024-godu-na-zakupku-dronov-dlya-monitoringa-lesov-vydelyat-pochti-2-mlrd-rublej> (дата обращения: 22.11.2023).

⁶ Наставление по отводу и таксации лесосек в лесах Российской Федерации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/9013525?ysclid=l42m9995gz> (дата обращения: 22.08.23).

лесокультурных работ для оценки качества их проведения [4]. Однако, как показывает практика, деляночный столб утрачивает свои функции практически сразу после завершения работ на делянках.

Недостаток такого способа отвода лесосеки характеризуется значительной трудоёмкостью. При этом на контроль качества привязки к карте местности влияет квалификация специалистов и наличие возможности выполнения работ на местности. Точность определения координат лесосек зависит от масштаба карт и их соответствия фактическому рельефу местности. Ошибка в определении эксплуатационной площади лесосеки не должна превышать трёх процентов.

Таксация и отвод лесосек при подготовке к проведению лесосечных работ, в соответствии с действующими лесоводственными требованиями, должны проводиться с максимальной точностью. Однако существующая (наземная) технология отвода обеспечить максимальную точность не может из-за влияния человеческого фактора и отсутствия возможностей контроля правильности и качества выполнения отвода. Это приводит к возрастанию вероятности и частоты осуществления незаконных и случайных вырубок. Помимо этого, традиционные способы отвода и таксации лесосек требуют больших временных и трудовых затрат на их проведение и являются малоэффективными. Качество отвода лесосек традиционным способом осложняется негативным влиянием человеческого фактора.

Исходя из этого, была сформулирована **цель** исследования: разработка новой технологии отвода лесосек при помощи беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптеров) с целью повышения эффективности процесса отвода лесосек.

Объектом исследования является способ отвода лесосеки при помощи БПЛА, заключающийся в следующем. Вместо деревянных деляночных столбов в местах излома границ лесосеки (опорных

точках) будут устанавливаться, путём сброса с БПЛА, специальные радиомаяки, хранящие в себе информацию о лесосеке и координатах, которые они закрепляют. Местоположение сбрасываемого радиомаяка будет фиксироваться посредством привязки его координат к местности и определения границ отводимого участка. При разработке участка леса, отведённого в рубку, при помощи дистанционного сканирующего устройства будет определяться закодированная в радиомаяках информация.

Для реализации данной технологии необходимо:

- 1) провести анализ эффективности существующей технологии отвода;
- 2) обосновать необходимость применения БПЛА;
- 3) разработать новую технологию отвода при помощи БПЛА;
- 4) провести анализ существующих систем сброса;
- 5) разработать систему сброса и систему радиомаяка;
- 6) произвести расчёт эффективности новой технологии отвода лесосеки.

Результаты

Данный способ отвода лесосек по определению опорных точек на местности при помощи БПЛА осуществляется следующим образом:

- оператор с помощью пульта НПУ по каналу системы радиосвязи с ПК передаёт на ВУ БПЛА заданные координаты опорной точки лесосеки;
- беспилотный летательный аппарат в автоматическом режиме позиционирует своё местонахождение с координатами расчётных опорных точек;
- после зависания БПЛА над координатами опорной точки, на высоте 30 м, оператор путём нажатия на кнопку передатчика, взаимодействующего по радиоканалу с дистанционной системой модуля, производит сброс радиомаяка;
- местоположение сбрасываемого радиомаяка фиксируется посредством

привязки его координат к местности. Происходит последовательный сброс комплекта радиомаяков в местах излома контура лесосеки;

- после облёта всех точек сброса БПЛА возвращается в точку посадки, указанную оператором;

- по завершении процесса сброса маяк находится в спящем режиме и активируется тональным радиосигналом с платы сканирующего устройства;

- в роли сканирующего устройства (приёмника радиосигнала) служит запрограммированная печатная плата, подключённая к радиопередатчику H12, отображающая текстовую информацию на OLED-дисплее;

- после активации радиомаяк передаёт закодированную в нём ранее информацию по радиоволне на сканирующее устройство.

Для реализации технологии отвода границ лесосеки, удовлетворяющей всем вышеописанным условиям, необходимо следующее технологическое оборудование:

- ✓ БПЛА – квадрокоптер [5];

- ✓ подвесной модуль кассетного типа для хранения и сброса радиомаяков, укомплектованный радиомаяками.

На сегодняшний день существуют различные системы сброса груза с БПЛА. Зачастую они бывают однозарядными, многозарядными, а также барабанного типа и предназначены для доставки груза путём его сброса с определённой высоты. Такие системы активно применяются в сервисах доставки, а также для выполнения военных задач.

Устройство для принудительного отделения сбрасываемой полезной нагрузки может включать в себя корпус с пазом под затвор, затвор, сервопривод, осуществляющий работу механизма, и рычаг, преобразовывающий вращение сервопривода в поступательное движение затвора [6].

Есть ещё один способ сброса грузов: их размещают в БПЛА так, чтобы они могли

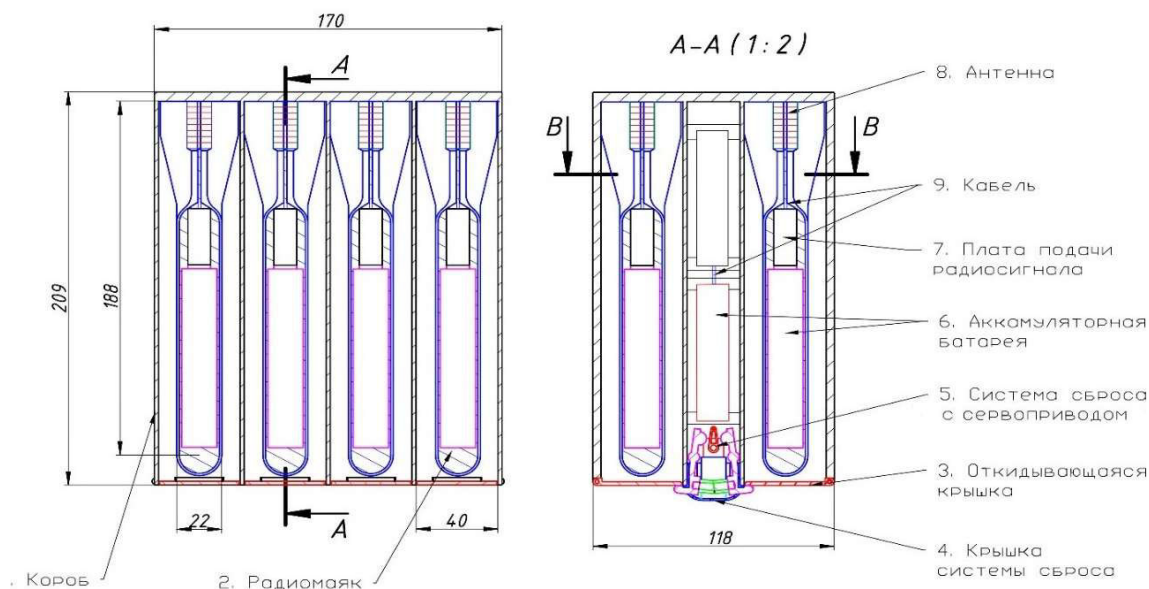
перемещаться в сбрасывающую часть. Грузы устанавливаются в носовой части БПЛА друг за другом, и каждый крайний груз можно зафиксировать по очереди [7].

Также возможен и другой способ доставки объекта в нужную точку. В октябре 2020 года команда из Лондона создала квадрокоптер, стреляющий дротиками [8]. К сожалению, дротики имеют высокую тенденцию отскакивать от стволов деревьев, а не втыкаться в них. В своей нынешней форме прототип новой системы нужно заряжать по одному дротику.

Существующие системы сброса грузов нам не подходят, поэтому была разработана собственная система. В связи с этим предлагается концепция такого модуля и комплекта радиомаяков для сброса. Модуль оснащается дистанционной системой сброса, оборудованной сервоприводами, вращающимися на 45 градусов в обе стороны. При вращении сервопривода происходит нажатие на рычаг, открывающий откидывающуюся крышку. Для получения команд с передатчика и последующей передачи их на сервоприводы используется запрограммированная печатная плата с подключённым к ней радиоприёмником, работающим на частоте 433 МГц в четырёхканальном режиме. В роли передатчика служит печатная плата, подключённая к радиопередатчику. Обе платы питаются от литийионных аккумуляторов.

Модуль снаряжается комплектом радиомаяков, имеющих влагозащищённый корпус, позволяющий избежать факторов, негативно влияющих на работу маяка. Внутри корпуса располагается передатчик с запрограммированной информацией о лесосеке. Он подключается к антенне и литийионному аккумулятору, способному поддерживать автономность устройства в течение нескольких месяцев [9].

В результате модуль для хранения и сброса радиомаяков будет выглядеть следующим образом (см. рисунок, с. 39).



Модуль для сброса радиомаяков
Radiobeacon release module

Для получения информации, записанной на радиомаяк, необходимо разработать сканирующее устройство, которое будет пробуждать спящий радиомаяк при помощи радиосигнала. Сканирующее устройство состоит из радиопередатчика H12, запрограммированной печатной платы, литийионного аккумулятора, OLED-дисплея, антенны и влагозащищённого корпуса. Помимо возможности вывода закодированной информации на OLED-дисплее сканирующего устройства при необходимости возможен вывод данной информации на ПК, путём подключения сканирующего устройства через USB.

После разработки технологии отвода лесосеки при помощи БПЛА и радиомаяков был проведён расчёт точности сброса радиомаяка.

Для расчёта были приняты следующие данные: высота сброса радиомаяка – 30 м; скорость ветра – 2 м/с. Время падения радиомаяка составит 2,5 сек. В течение этого времени на него будет действовать поперечная сила от воздействия ветра. Для определения поперечной силы ветра нужно умножить скорость ветра

на аэродинамический коэффициент сопротивления цилиндра диаметром 20 мм.

В результате расчётов боковое смещение при сбросе радиомаяка при ветре в 2 м/с составило 10 см. Это смещение определяет погрешность точности определения координат лесосеки. На лесосеке площадью 6 га, длиной 200 м, шириной 400 м, с четырьмя опорными точками, погрешность определения общей площади лесосеки составит максимум 0,12 %, а это около 70 метров.

После расчёта точности сброса радиомаяка был проведён её сравнительный анализ с традиционной системой отвода лесосеки.

Среднее время на изготовление и установку деляночного столба – 1 час. С учётом того, что нужно провести геодезические работы, установить четыре столба и перейти между опорными точками, этот процесс занимает практически весь рабочий день.

Время на проведение одного отвода с применением новой технологии составляет 22 минуты, а самой трудозатратной операцией являются подготовительные работы

и проверка оборудования (15 мин). Результаты расчётов показаны в табл. 1.

Таблица 1. **Время отвода лесосеки разными способами**

Table 1. Time required for coupe demarcation through different methods

Способ отвода лесосеки	Время на отвод лесосеки
Вручную	6 часов
При помощи БПЛА	22 мин

Проведение отвода лесосек с применением квадрокоптера обеспечивается усилиями одного оператора БПЛА, осуществляющего непосредственно управление движением квадрокоптера. Оператор может быть обучен и назначен из числа имеющих сотрудников лесного хозяйства.

Для проведения одного отвода требуется следующий комплект оборудования: квадрокоптер, подвес с камерой, модуль для радиомаяков, укомплектованный четырьмя радиомаяками (в зависимости от количества изломов границы лесосеки, количество радиомаяков может варьироваться). В среднем на предприятии проводится около 20-и отводов в год, в связи с чем в смету затрат закладывается приобретение радиомаяков в количестве 100 шт., с учётом их возможных повреждений (табл. 2).

Таблица 2. **Затраты на оборудование**

Table 2. Expenditures on equipment

Наименование оборудования, технических средств	Количество, шт.	Стоимость, тыс.р
Модуль для сброса радиомаяков	1	20
Радиомаяк	100	2
Модуль связи с маяком	2	5
Бокс для хранения аппаратуры	1	5
Итого полная стоимость		235
Итого стоимость радиомаяков		200

Таким образом, затраты на приобретение оборудования составят 235 тыс. руб. Подробная смета затрат представлена в табл. 3.

Таблица 3. **Общие затраты**

Table 3. General expenditures

Виды затрат	Сумма, тыс. руб. по годам реализации проекта		
	1-й год	2-й год	3-й год
Затраты на регистрацию квадрокоптера	—	—	—
Стоимость модуля	20	0	0
Стоимость радиомаяков	200	0	0
Модули связи с маяком	10	0	0
Бокс для хранения аппаратуры	5	0	0
Затраты на обслуживание и ТО	30	30	30
Итого 20 отводов	265	30	30
Итого 1 отвод	13,25	1,50	1,50

Стоит отметить, что затраты на приобретение оборудования (БПЛА с подвесным оборудованием, радиомаяков) учитываются при расчётах только в первый год реализации, во второй и последующий годы в стоимость отвода будет включаться только заработная плата сотрудника, осуществляющего отвод, стоимость элементов питания радиомаяков и затраты на ремонт и ТО оборудования. Таким образом, во второй и последующие годы стоимость одного отвода составит 1 500 рублей (табл. 3).

Применение предлагаемой технологии значительно повышает эффективность процесса отвода лесосек и позволяет:

✓ значительно снизить трудоёмкость разметки лесосеки, благодаря отсутствию необходимости установки деляночных столбов;

✓ повысить объективность измерений и точность определения координат опорных точек лесосеки;

✓ исключить ряд спорных ситуаций, возможных при изменении местоположения деляночного столба недобросовестным лесозаготовителем;

✓ повысить степень контроля за проведением рубок в рамках отведённой лесосеки.

Заключение

На сегодняшний день факт необходимости применения беспилотных авиационных систем в лесном хозяйстве является очевидным. Беспилотники значительно расширяют возможности человека и упрощают многие процессы, имея возможность находиться в любой нужной точке, производить мониторинг, фото- и видеосъёмку труднодоступных для человека мест, доставлять грузы, запускать радиомаяки и любые другие приспособления. Для лесных территорий, характеризующихся большими расстояниями и наличием множества труднопроходимых мест, применение беспилотников в работе лесных хозяйств видится не только актуальным, но и необходимым, учитывая факт дефицита кадров. Об этом свидетельствует и заинтересованность Правительства в применении таких систем в лесном хозяйстве, что подтверждается рядом выпущенных нормативно-правовых актов, прямо предполагающих применение инновационных беспилотных технологий в сфере лесного хозяйства. Однако на сегодняшний день все решения в рамках применения таких технологий концентрируются на предотвращении лесных пожаров за счёт использования беспилотников в качестве средств патрулирования и мони-

торинга. Но стоит учитывать гораздо более внушительный потенциал беспилотных авиационных систем, который вполне подходит для решения более сложных задач. В рамках «Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года» и нацпроекта «Беспилотные авиационные системы» стоит обратить внимание на разработку альтернативных технологий применения беспилотников. Одной из таких технологий может стать рассматриваемая в данной статье новая технология отвода лесосек с применением беспилотных авиационных систем и радиомаяков, направленная на повышение эффективности достаточно простых в понимании, но фундаментальных процессов лесного хозяйства.

При имеющихся в нашей стране объёмах лесных ресурсов отрасль лесного хозяйства должна занимать одно из лидирующих мест в ВВП страны, однако из-за недостаточно проработанной системы лесопользования и недостаточной технологической оснащённости она буквально стоит на месте. Рассматриваемые в данной статье решения по применению беспилотников в лесном хозяйстве призваны дать начало модернизации лесной отрасли и довести уровень её технологичности до современных масштабов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Application of UAS for Monitoring of Forest Ecosystems – A Review of Experience and Knowledge / K. Tomljanović, A. Kolar, A. Đuka et al. // Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. Vol. 43, iss. 2. Pp. 487–504. DOI: 10.5552/crojfe.2022.1727
2. Use of UAV Data and HEC-RAS Model for Dimensioning of Hydraulic Structures on Forest Roads / A. Acil, A. Aydin, R. Eker et al. // Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. Vol. 44, iss. 1. Pp. 171–188. DOI: 10.5552/crojfe.2023.1701
3. Катаев М. Ю., Карташов Е. Ю., Гейко П. П. Обнаружение лесных пожаров по изображениям, полученным с БПЛА // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2023. Т. 26, № 3. С. 72–79. DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-3-72-79; EDN: EDMOMX
4. Пятакин В. И., Григорьев И. В., Редькин А. К. Технология и машины лесосечных работ. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. 362 с.
5. Молоденков С. А., Пашкин М. С. Анализ современных беспилотных летательных аппаратов //

Современные научные исследования и инновации. 2023. № 9(149). Ст. 14. EDN: JLUUBH

6. Патент № 201868 Российская Федерация, В64D 1/02 Устройство сброса полезной нагрузки с БЛА / Панков Ю. А., Карнаухов А. С., Пикалов А. С., Притоцкий Е. М., Шелест И. А., заявитель и патентообладатель Военный инновационный технополис «ЭРА», заявл. 23.06.2020, опубл. 18.01.2021. Бюл. №2. EDN: QGMMLO

7. Патент №2719703 Российская Федерация, В64D 1/10 Способ фиксации и сброса грузов для беспилотных летательных аппаратов / Подгорнов В. А., Кипкаев А. Е., Крестьянинов Г. А., Наumenko М. Ю., заявитель и патентообладатель Российский федеральный ядерный центр – всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, заявл. 01.08.2019, опубл. 22.04.2020. Бюл. №12. EDN: IFNVYR

8. Unmanned Aerial Sensor Placement for Cluttered Environments / A. Farinha, R. Zufferey, P. Zheng et al. // IEEE Robotics and Automation Letters. 2020. Vol. 5, iss. 4. Pp. 6623–6630. DOI: 10.1109/LRA.2020.3015459

9. Battery Technology – Use in Forestry / of Forest Engineering. 2017. Vol. 42, iss. 1. Pp. 135–148.
Z. Pandur, M. Šušnjar, M. Bačić // Croatian Journal DOI: 10.5552/crojfe.2021.798

Статья поступила в редакцию 27.02.2024; одобрена после рецензирования 05.08.2024;
принята к публикации 23.09.2024

Информация об авторах

КОСТИН Павел Игоревич – аспирант кафедры ЛТ4 технологии и оборудование лесопромышленного производства, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищинский филиал. Область научных интересов – технология лесосечных работ. Автор двух научных публикаций. AuthorID: 4637-2734

БЫКОВСКИЙ Максим Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой ЛТ4 технологии и оборудование лесопромышленного производства, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищинский филиал. Область научных интересов – технология лесосечных работ. Автор 80 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2539-7983>; SPIN-код: 9939-5039

Вклад авторов:

Костин П. И. – анализ существующих систем, разработка новой системы, визуализация, расчёт эффективности, написание и подготовка статьи.

Быковский М. А. – постановка цели, задач, руководство, редактирование.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630.311

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.34>

EDN: WYQFWQ

A New Technology of Coupe Demarcation Using Unmanned Aerial Vehicles and Radiobeacons

P. I. Kostin[✉], M. A. Bykovsky

Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University,

1, 1st Institutskaya St., Mytischki, 141005, Russian Federation

pavelllkostinnn@gmail.com ✉

Abstract. Introduction. The forestry industry is one of the most controversial and conservative. On the one hand, the Russian Federation occupies one of the leading positions in terms of forest resources, while on the other, the share of the forest sector in the country's GDP does not amount to even one percent. This indicates the existence of problems hindering the development of the forest complex, which are observed at different levels of forest management and logging, from the allocation and taxation of cutting areas, the system of forest protection and conservation to the level of logistical, scientific and personnel support. Currently, among other problems, there is an increase in the volume of illegal logging and a lack of highly qualified personnel and technologies for work in forestry and the forest industry, which leads to violations of the boundaries of cutting areas and a lack of reliable data on them. Recently, the issues of the forest industry have been quite widely discussed at the higher levels of government in terms of strategic development planning. The *Strategy for the Development of the Forest Complex until 2030*, approved by the Government of the Russian Federation on February 11, 2021, involves a comprehensive modernization of the sphere, one of the main tasks of which is the digitalization of the industry. *The aim of the study* is to develop a coupe demarcation technology using unmanned aerial vehicles (UAVs) as part of implementing the national project "Unmanned Aviation Systems" until 2030 and Order No. 608 of the Federal Forestry Agency (Rosleshoz) stipulating the need to provide regional forestries with machinery and equipment including UAVs necessary for forest patrolling, as well as within the framework of the Strategy for the sustainable development of the forest complex. *Object and methods.* The object of the study is the method of coupe demarcation. The research employed analysis of data from open access sources, analysis of the regulatory framework governing the field of forestry, and comparison of research results. *Results.* The authors have substantiated the efficiency of coupe demarcation using UAVs equipped with a system for dropping radiobeacons at points with known coordinates to mark the coupe boundaries. The paper presents calculations of the economic costs of using this system, calculations of the accuracy of radiobeacon delivery and the efficiency of using the new technology. The calculations indicate a reduction in labor costs on coupe demarcation in comparison with the conventional method. *Conclusion.* The use of the proposed technology leads to a significant increase in the efficiency of the coupe demarcation process, reduces its labor intensity and improves the accuracy of marking the boundaries of areas designated for logging.

Keywords: coupe demarcation; forestry; forest sector; UAV; drone; radiobeacon; strategic planning; technology; efficiency; digitalization; marking-cut a coupe; release system

Funding: this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Kostin P. I., Bykovsky M. A. A New Technology of Coupe Demarcation Using Unmanned Aerial Vehicles and Radiobeacons. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(3):34–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.34>; EDN: WYQFWQ

REFERENCES

1. Tomljanović K., Kolar A., Đuka A. et al. Application of UAS for monitoring of forest ecosystems – a review of experience and knowledge. *Croatian Journal of Forest Engineering.* 2017;43(2):487–504. DOI: 10.5552/crojfe.2022.1727
2. Acil A., Aydin A., Eker R. et al. Use of UAV data and HEC-RAS model for dimensioning of hydraulic structures on forest roads. *Croatian Journal of Forest Engineering.* 2017;44(1):171–188. DOI: 10.5552/crojfe.2023.1701
3. Kataev M. Yu., Kartashov E. Yu., Geiko P. P. Forest fires detection based on image processing obtained using UAV. *Proceedings of TUSUR University.* 2023;26(3):72–79. DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-3-72-79; EDN: EDMOMX (In Russ.).
4. Patyakin V. I., Grigor'ev I. V., Red'kin A. K. Technology and machines of logging operations. St. Petersburg: SPbGLTU Publ.;2012. 363 p. (In Russ.).
5. Molodenkov S. A., Pashkin M. S. Analysis of modern unmanned aerial vehicles. *Modern scientific researches and innovations.* 2023;(9). Art. 14. EDN: JLUUBH (In Russ.).
6. Pankov Yu. A., Karnaukhov A. S., Pikalov A. S. et al. Device for dropping payload from UAV. Patent RF, no. 201868, 2021. EDN: QGMMLO (In Russ.).
7. Podgornov V. A., Kipkaev A. E., Krestyaninov G. A. et al. Cargo fixation and dropping method for unmanned aerial vehicles. Patent RF, no. 2719703, 2020. EDN: IFNVYR (In Russ.).
8. Farinha A., Zufferey R., Zheng P. et al. Unmanned aerial sensor placement for cluttered environments. *IEEE Robotics and Automation Letters.* 2020;5(4):6623–6630. DOI: 10.1109/LRA.2020.3015459
9. Pandur Z., Šušnjar M., Bačić M. Battery technology – use in forestry. *Croatian Journal of Forest Engineering.* 2017;42(1):135–148. DOI: 10.5552/crojfe.2021.798

The article was submitted 27.02.2024; approved after reviewing 05.08.2024;
accepted for publication 23.09.2024

Information about the authors

Pavel I. Kostin – Postgraduate student, Department LT4 – Technologies and Equipment of Timber Production, Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests – technology of logging operations. Author of two scientific publications. Author ID: 4637-2734

Maxim A. Bykovsky – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, head of Department LT4 – Technologies and Equipment of Timber Production, Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests – logging technology. Author of 80 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2539-7983>; SPIN: 9939-5039

Contribution of the authors:

Kostin P. I. – analysis of existing systems, development of a new system, visualization, calculation of efficiency, writing and preparation of the article.

Bykovsky M. A. – setting the research goal and objectives, supervision, reviewing and editing.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.

Научная статья

УДК 634.54:634.1.076:631.53

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.44>

EDN: QODHNO

Показатели качества плодов фундука (*Corylus*)

С. В. Мухаметова

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

MuhametovaSV@volgatech.net

Аннотация. *Введение.* Фундук, плодовые сорта лещины, это ценные пищевые, пыльценосные, лекарственные, почвозащитные и декоративные растения. В средней полосе России успешно выращиваться могут лишь несколько сортов. Помимо вегетативного размножения фундука, для получения массового посадочного материала допустимо и семенное размножение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью увеличения объёмов отечественной продукции орехов. *Цель* исследования – анализ показателей качества плодов и возможности размножения фундука в условиях Республики Марий Эл. *Объекты* исследования – сорта 'Академик Яблоков', 'Тамбовский Ранний', отборная форма 'Ф-338', произрастающие в Ботаническом саду-институте ПГТУ (г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл). *Методы* исследования. Исследования были проведены в 2014–2022 гг. Длину и диаметр 30 плодов измеряли штангенциркулем, массу 1 плода определяли взвешиванием трёх навесок из 50 плодов. Доброкачественность определяли по ГОСТ 13056.8–97. Посев производили в осенний период на гряды питомника с предварительной обработкой от грызунов. *Результаты.* Наиболее устойчивое плодоношение и самые крупные плоды массой 1,8–2,6 г и длиной 2,2–2,6 см установлены у сорта 'Академик Яблоков'. Плоды 'Тамбовский Ранний' обладали овальной формой, 'Ф-338' – круглой, но по массе были схожи между собой. В целом, масса плодов не достигала указанных в литературных источниках значений. Доброкачественность семян сортов фундука за четыре года исследования варьировала от 46,7 до 93,3 %, грунтовая всхожесть – от 41,7 до 83,3 %. *Выводы.* Масса и размеры изученных плодов фундука были обусловлены сортовой принадлежностью при незначимом влиянии фактора погодных условий года, хотя выявлена тенденция зависимости данных показателей от условий увлажнения периода активной вегетации. 'Академик Яблоков' рекомендуется для посадок на приусадебных участках и плантационного выращивания в условиях Волго-Вятского региона.

Ключевые слова: лещина; масса орехов; размеры плодов; доброкачественность семян; семенное размножение; всхожесть; метеорологические условия; Республика Марий Эл

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Мухаметова С. В. Показатели качества плодов фундука (*Corylus*) // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3 (63). С. 44–54. <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2024.3.44>; EDN: QODHNO

Введение

Род Лещина (*Corylus* L.) семейства Берёзовые (Betulaceae S.F. Gray) включает около 20 видов, произрастающих в Евразии и Северной Америке. На территории России в естественных условиях произрастает восемь видов данного рода, из которых наибольшее значение имеет лещина обыкновенная (*C. avellana* L.) [1].

Лещина играет важную роль в лесных и защитных насаждениях, это пищевые, кормовые, медоносные, лекарственные, почвоулучшающие и декоративные растения. Орехи являются ценным пищевым ресурсом, содержат эфирное масло, жирное масло (до 71,6 %), углеводы, флавоноиды, витамины В₁, В₂, С, Е, РР [2], макро- и микроэлементы (К, Mn, Мо,

© Мухаметова С. В., 2024

Fe, Zn, Na, Cu) [3]. При отсутствии аллергии орехи полезны при сердечно-сосудистых заболеваниях, сниженном иммунитете, малокровии, эпилепсии [3]. Они проявляют антиоксидантную и антимикробную активность [4]. Орехи хорошо хранятся, до трёх–четырёх лет, без потери полезных и вкусовых качеств [5].

Плодовые сорта лещины – фундук – это культивируемые крупноплодные формы лещины обыкновенной, крупной, понтийской и их гибриды, отличающиеся высоким качеством плодов, тонкой скорлупой, высокой урожайностью [6]. Основным лимитирующим фактором для выращивания фундука в средней полосе России является зимостойкость [3]. Большинство сортов фундука теплолюбивы и выращиваются только в южных районах, а в умеренных широтах может произрастать лишь отдельное число сортов [1]. Успешное опыление и оплодотворение завязей зависит от погодных условий зимы, а также периода цветения, который наступает при достижении температуры воздуха $+10...+12\text{ }^{\circ}\text{C}$. В это время отрицательное воздействие имеют заморозки и выпадающие осадки. Женские цветки более зимостойки, а мужские более подвержены влиянию неблагоприятных факторов, поскольку зимуют в открытых почках – серёжках [6]. К их гибели может приводить также чередование морозов и оттепелей в зимний период. Если мужские цветки не повреждаются сильными зимними и поздневесенними морозами, культура может плодоносить ежегодно [7, 8]. Фундук требователен к плодородию почвы, так как его корневая система находится в аккумулятивном горизонте [9]. На продуктивность насаждений влияют многие факторы, такие как сорт, подбор опылителей, агротехнический уровень и т. д. Большое значение имеют освещённость и наличие орошения [3]. Следует избегать загущенности растений, поскольку с увеличением количества ство-

ликов уменьшаются крупноплодность и продуктивность [7].

Размножают сорта лещины семенами и вегетативно: отводками (вертикальными, горизонтальными, «дугой»), делением куста, порослью, прививкой [5]. Зелёное черенкование лещины затруднено, укореняемость черенков составляет около 30–40 %. Перспективной является технология клонального микроразмножения [10]. Семенное размножение фундука допустимо, поскольку хозяйственно ценные сортовые признаки передаются потомству до 70–100 %. Данный способ позволяет за короткий срок получить большое количество растений, к тому же более устойчивых к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям [11]. При семенном размножении предпочтителен осенний посев с естественной стратификацией, также желательно проводить обработку для защиты от грызунов. Всхожесть семян составляет 40–70 %, однолетние сеянцы достигают высоты 20–80 см [5]. Потомство, полученное при семенном размножении фундука, называют «полуфундуками» [1].

В условиях возрастания потребления орехов населением в мире исследования орехоплодных культур являются весьма актуальными [3, 12–15]. Внутренний рынок России заполнен в основном импортными орехами, поэтому существует необходимость увеличения объёмов отечественной продукции. Ведущее место по промышленному возделыванию орехоплодных культур в нашей стране занимает Западный Кавказ, хотя Россия располагает достаточной территорией, благоприятной для выращивания ореха, например, Центрально-Чернозёмный регион [3]. Селекция лещины в нашей стране была начата И. В. Мичуриным в 1900-х гг. дикими отборами и гибридизацией лещины обыкновенной и продолжается по настоящее время в различных регионах [16]. Так, в Федеральном научном центре им. И. В. Мичурина (г. Мичуринск,

Тамбовская область) селекция фундука направлена на максимальную и стабильную урожайность, качество орехов, снижение восприимчивости к неблагоприятным факторам среды, скороплодность, сдержанность роста [3].

Целью настоящего исследования является анализ показателей качества плодов и возможности размножения фундука в условиях Республики Марий Эл.

Объектами исследования стали сорта: 'Академик Яблоков' и 'Тамбовский Ранний', а также отборная форма 'Ф-338'. Сорт 'Академик Яблоков' ('Память Яблокова', гибрид 328) является гибридом с бордово-красными листьями, выделенным Р. Ф. Кудашевой в 1961 году из гибридного фонда А. С. Яблокова. Плоды крупные, удлинённой желудевидной формы, массой до 2,5 г. Один из самых урожайных сортов фундука. Растения морозостойкие; при средней зимостойкости могут подмерзать мужские соцветия и однолетний прирост [17–20]. Сорт лещины 'Тамбовский Ранний' (№ 700) был отобран в лесах Тамбовской области в 1956 году Р. Ф. Кудашевой. Плоды продолговатой формы, массой 2 г. Зимостойкость очень высокая, является основным опылителем для многих сортов [18–20]. Описание отборной формы 'Ф-338' в доступных источниках нами не найдено. Вероятно, это одна из форм, выделенных Р. Ф. Кудашевой, характеризуется пурпурными листьями.

Методика исследования

Исследования были проведены в 2014–2022 гг. в Ботаническом саду-институте ПГТУ (БСИ ПГТУ). Саженцы привезены Л. В. Котовой в мае 1976 года в количестве по 2–3 экз. от Р. Ф. Кудашевой из Ивантеевского лесопитомника (г. Ивантеевка, Московская область). Растения произрастают в непосредственной близости друг от друга в экспозиции «Фрутицетум». В экспозиции «Дикоплодовые» представлены растения сорта 'Академик

Яблоков', привитые от первичного образца на сеянцы лещины обыкновенной. Посадка 2010 года, размещение четырьмя группами по два экземпляра. Сбор плодов в 2014–2022 гг. осуществляли в стадии молочной спелости (конец августа – начало сентября). У 30 плодов измеряли длину и наибольший диаметр штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Массу одного плода определяли взвешиванием трёх навесок из 50 плодов на электронных весах SJCE VIBRA. Доброкачественность определяли у 200–300 семян по ГОСТ 13056.8–97 «Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности». Исследование возможности семенного размножения фундука проводили в 2014–2016 и 2020 гг. Плоды, предназначенные для посева, смешивали с песком и хранили в увлажнённом состоянии в комнатных условиях до момента высева. Посев плодов производили в октябре–ноябре в подготовленные гряды питомника по 100 шт. трёхкратно. Предварительно плоды обрабатывали керосином для предотвращения повреждения грызунами.

Обработка собранных материалов проводилась с помощью пакета анализа программы электронных таблиц Excel. Достоверность различия между показателями определена с помощью критерия Стьюдента при $\alpha=0,05$.

Территория Республики Марий Эл входит в умеренный климатический пояс, район с умеренно-холодной зимой, область недостаточного увлажнения. По данным метеопоста Ботанического сада-института за 1968–2010 гг., среднегодовая температура воздуха составляет +3,6 °С. Средняя годовая сумма осадков – 580 мм, в том числе 206 мм приходится на зимний период. Продолжительность вегетационного периода составляет 175 дней, периода активной вегетации – 138 дней [21]. В табл. 1 приведена характеристика метеоусловий за годы исследования.

Таблица 1. Характеристика метеорологических условий района расположения БСИ ПГТУ в годы исследования

Table 1. Local weather conditions at the VSUT BGI site over the years of research

Показатели	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Дата устойчивого перехода через +5 °С *	$\frac{28.IV}{1.X}$	$\frac{28.IV}{6.X}$	$\frac{13.IV}{8.X}$	$\frac{29.IV}{17.X}$	$\frac{11.IV}{19.X}$	$\frac{20.IV}{20.X}$
Продолжительность вегетационного периода, дни	156	161	178	171	191	183
Сумма эффективных температур +5 °С, градусы	1 523	1 817	1 939	1 569	1 941	1 650
Дата устойчивого перехода через +10 °С *	$\frac{10.V}{28.IX}$	$\frac{29.IV}{30.IX}$	$\frac{26.IV}{14.IX}$	$\frac{4.V}{19.IX}$	$\frac{6.V}{4.IX}$	$\frac{27.V}{25.IX}$
Продолжительность периода активной вегетации, дни	141	154	141	134	121	121
Сумма активных температур +10 °С за период активной вегетации, градусы	2 169	2 570	2 482	2 096	2 375	2 082
Сумма осадков за период активной вегетации, мм	238	247	152	354	34	160
Гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова	1,10	0,96	0,61	1,66	0,14	0,77

Примечание: * – над чертой приведён показатель весной, под чертой – осенью.

Согласно приведённым данным, метеорологические условия анализируемых лет были весьма различными. Лето 2021 года было аномально жарким и сухим, когда выпало аномально низкое количество осадков при очень высокой температуре, также в этот год были установлены самый ранний переход среднесуточной температуры через +5 °С весной (11 апреля) и наибольшая продолжительность вегетационного периода (191 день). В 2014 году отмечены самый ранний переход через +5 °С осенью (1 октября) и наименьшая продолжительность вегетационного периода (156 дней) с наименьшей теплообеспеченностью. Самый короткий период активной вегетации был установлен в 2021 и 2022 годы (121 день). Согласно гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова, условия увлажнения за период активной вегетации 2020 года были избыточно влажными, 2014 – слабо засушливыми, 2015 и 2022 – засушливыми, 2016 – очень засушливыми, 2021 – сухими [22, 23].

Результаты и их обсуждение

Значения массы и размеров плодов отражены в табл. 2, согласно которым на протяжении всего периода исследования самыми крупными и тяжёлыми орехами характеризовался сорт 'Академик Яблочков', образцы в экспозициях «Фрутицетум» и «Дикоплодовые» по показателям плодов не имели существенных различий между собой. Орехи данного сорта характеризовались удлинённой формой и по длине превышали остальные сорта (индекс формы 1,6). Плоды фундука 'Тамбовский Ранний' и 'Ф-338' значимо не различались друг от друга по массе и были существенно легче, чем у 'Академик Яблочков'. Плоды 'Ф-338' обладали округлой формой (индекс формы 1,1) и отличались наименьшей длиной, в то время как по диаметру были схожи с 'Академик Яблочков'. Плоды 'Тамбовский Ранний' имели овальную форму (индекс формы 1,4) при наименьшем диаметре и средней длине (рис. 1).

Таблица 2. Параметры плодов сортов *Corylus* в годы исследованияTable 2. Fruit parameters of *Corylus* cultivars over the years of research

Наименование таксона	Параметр плода	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
'Академик Яблоков'	масса, г	2,3±0,03	2,6±0,02	1,8±0,02	2,4±0,03	2,0±0,03	1,9±0,01	2,2±0,13
	длина, см	2,3±0,02	2,6±0,06	2,2±0,07	2,6±0,01	2,4±0,05	2,4±0,05	2,4±0,06
	диаметр, см	1,5±0,02	1,5±0,03	1,4±0,04	1,6±0,01	1,4±0,02	1,5±0,04	1,5±0,03
'Тамбовский Ранний'	масса, г	1,6±0,05	1,7±0,01	–	–	1,0±0,02	1,1±0,02	1,4±0,16
	длина, см	1,9±0,02	1,8±0,03	–	–	1,7±0,06	1,9±0,04	1,8±0,05
	диаметр, см	1,2±0,02	1,4±0,02	–	–	1,4±0,02	1,3±0,02	1,3±0,04
'Ф-338'	масса, г	–	1,4±0,01	1,7±0,02	–	1,6±0,03	1,4±0,02	1,5±0,09
	длина, см	–	1,5±0,03	1,6±0,02	1,6±0,03	1,6±0,03	1,6±0,02	1,6±0,03
	диаметр, см	–	1,3±0,08	1,4±0,02	1,5±0,02	1,5±0,03	1,4±0,03	1,5±0,03



Рис. 1. Орехи фундука (слева направо): 'Академик Яблоков', 'Тамбовский Ранний', 'Ф-338'

Fig. 1. Hazelnuts (left to right): 'Akademik Yablokov', 'Tambovskiy Ranniy', 'F-338'

Наиболее устойчивое плодоношение в условиях БСИ ПГТУ отмечено у сорта 'Академик Яблоков'. Плоды с наибольшей массой у данного фундука сформировались в засушливых условиях 2015 года. Также благоприятными для его плодоношения были слабо засушливые условия 2014 года и избыточно влажные 2020 года. Наименьшей массой отличались плоды 2016 года, характеризовавшегося очень засушливыми условиями. Стоит отметить, что аномально сухие и жаркие условия 2021 года не привели к критическому снижению массы плодов. Плоды сорта 'Тамбовский Ранний' характеризовались более ранним созреванием плодов по сравнению с двумя остальными сортами фундука, поэтому они не были охвачены исследованиями в полной мере.

Известно, что на продуктивность фундука могут существенно влиять не только

погодные условия периода опыления цветков и завязывания плодов (конец апреля – июнь), но и периода налива ядра ореха (июль) [7]. Летом дефицит почвенной влаги и повышенная температура приводят к задержке формирования плодов и их значительной порче, особенно в периферийной части кроны [24]. Корреляционный анализ выявил значительную положительную связь количества осадков периода активной вегетации и ГТК в годы исследования с массой сформировавшихся плодов сорта 'Академик Яблоков' ($r = 0,66$ и $0,59$ соответственно) и тесную положительную – с массой плодов 'Тамбовский Ранний' ($r = 0,90$ и $0,82$ соответственно). Для формы 'Ф-338' установлена отрицательная корреляция данных показателей ($r = -0,50$ и $-0,58$). Но рассчитанные коэффициенты по t -критерию статистически не значимы, за исключением $r = 0,90$ при $\alpha = 0,10$. Для получения более достоверного результата необходимо проведение исследований в течение большего количества лет. Кроме того, погодные условия, очевидно, оказывали влияние на урожайность растений, изучение которой не было осуществимо в условиях экспозиций ботанического сада.

С помощью однофакторного дисперсионного анализа установлено значимое влияние фактора сортовой специфичности на массу и размеры плодов трёх изученных сортов фундука

($F_{\text{факт.}} = 4,7...68,9 > F_{\text{крит.}} = 3,9$) при незначимом влиянии фактора года ($F_{\text{факт.}} = 0,1...1,3 < F_{\text{крит.}} = 3,5$). Иными словами, показатели плодов зависели от сортовой принадлежности и не зависели от погодных условий года. Стоит отметить, что на протяжении всех лет исследования масса плодов изученных сортов фундука была несколько меньше по сравнению с их литературным описанием, что, вероятно, обусловлено недостаточным для высокой продуктивности агротехническим уходом за растениями, выращиваемыми с коллекционной целью, и более суровыми климатическими условиями региона. Очевидно, при выращивании с целью получения продукции при соблюдении агротехнических рекомендаций продуктивность фундука может быть больше.

Количество плодов в соплдии у фундука колебалось от 1 до 9 шт., в среднем 2–4 шт. В отдельные годы изученные сорта значимо не различались друг от друга, как и по средним многолетним значениям. Лишь в 2022 году данный показатель у 'Ф-338' превышал остальные

на статистически достоверном уровне (табл. 3).

Доброкачественность семян сортов фундука за четыре года исследования варьировала от 46,7 до 93,3 % (табл. 4). Самое низкое качество семян установлено в 2022 году, различие от других лет статистически значимо у сорта 'Тамбовский Ранний' и обоих образцов 'Академик Яблоков', у 'Ф-338' – не значимо. Вероятно, причиной низкой доброкачественности плодов послужили погодные условия данного года, что планируется проверить в последующих исследованиях. Следует учитывать, что оплодотворение завязей происходит через 2–3 недели после опыления, а их развитие начинается лишь спустя 1,5–2 мес. [6]. По средним многолетним значениям доброкачественности изученные сорта фундука друг от друга существенно не различались. Сравнение полученных данных с массой плодов выявило положительную корреляцию данных показателей, что ожидаемо, поскольку орехи с ядром более тяжёлые, чем пустые ($r = 0,85$ у плодов 'Академик Яблоков', $r = 0,70$ у 'Тамбовский Ранний').

Таблица 3. Количество плодов в соплдии сортов *Corylus*

Table 3. Number of fruits per cluster in the *Corylus* cultivars

Наименование таксона	2014 г.	2016 г.	2022 г.	Среднее
'Академик Яблоков'	$\frac{3,4 \pm 0,31}{49,2}$	$\frac{2,5 \pm 0,16}{55,2}$	$\frac{2,1 \pm 0,10}{48,2}$	$\frac{2,7 \pm 0,40}{26,2}$
'Тамбовский Ранний'	$\frac{3,8 \pm 0,23}{32,7}$	–	$\frac{2,1 \pm 0,13}{44,2}$	$\frac{2,9 \pm 0,86}{41,5}$
'Ф-338'	–	$\frac{2,2 \pm 0,08}{51,0}$	$\frac{2,6 \pm 0,10}{44,8}$	$\frac{2,4 \pm 0,17}{10,0}$

Примечание: над чертой – среднее значение со стандартной ошибкой, под чертой – коэффициент вариации, %.

Таблица 4. Доброкачественность семян (%) сортов фундука в годы исследования

Table 4. Seed quality (%) of the hazelnut cultivars over the years of research

Наименование таксона	Экспозиция	2014 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
'Академик Яблоков'	Фрутицетум	$82,0 \pm 3,05$	–	$75,8 \pm 3,51$	$46,7 \pm 2,24$	$68,2 \pm 10,88$
	Дикоплодовые	–	$86,3 \pm 2,91$	$82,4 \pm 2,34$	$70,3 \pm 2,60$	$79,7 \pm 4,82$
'Тамбовский Ранний'	Фрутицетум	$93,3 \pm 0,88$	–	$79,0 \pm 5,26$	$58,7 \pm 3,64$	$77,0 \pm 10,04$
'Ф-338'	Фрутицетум	–	–	$91,0 \pm 3,33$	$83,8 \pm 3,90$	$87,4 \pm 3,60$

Анализируя качество плодов, стоит отметить, что среди них ежегодно содержались пустые орехи, без ядра, их доля составляла от 5 до 14 %. Вероятно, полнотелость обусловлена погодными условиями периода опыления цветков и завязывания плодов. Также отмечались орехи, повреждённые гусеницами орехового долгоносика, до 10 % [25]. В 2022 году наблюдалось более сильное повреждение орехов данным вредителем, но количество повреждённых орехов не было учтено (рис. 2).



Рис. 2. Повреждение гусеницей орехового долгоносика

Fig. 2. Damage caused by a hazelnut weevil caterpillar

Грунтовая всхожесть семян фундука варьировала от $41,7 \pm 4,41$ до $83,3 \pm 5,07$ %, наибольшее значение отмечено у формы 'Ф-338' (рис. 3). У образцов 'Академик Яблоков' всхожесть в среднем составила $52,0 \pm 6,61$ %, самое высокое значение зафиксировано в 2014 году. Растения с пур-

пурными листьями имелись среди сеянцев не только пурпурнолистных сортов, но и зелёнолистного 'Тамбовский Ранний', поскольку их маточные растения произрастают в непосредственной близости друг от друга и переопыляются. Среди сеянцев, полученных в результате посева 2016 года, у 'Академик Яблоков' было выявлено 45,5 % растений с пурпурными листьями, среди сеянцев 'Ф-338' – 39,1 %. Важное значение имеет предпосевная обработка плодов для отпугивания грызунов, хотя и она не гарантирует полную защиту. Так, посевы осени 2015 года были полностью уничтожены, несмотря на обработку керосином. Более успешными были посевы, проведённые перед наступлением морозов, поскольку промерзание верхнего слоя почвы обеспечило механическую защиту от грызунов.

В питомнике БСИ ПГТУ проводится реализация населению посадочного материала сортов полуфундука, получаемых в результате семенного размножения. Все растения, выращенные за годы данного проведённого исследования (рис. 4), были реализованы ботаническим садом. Кроме того, на грядах интродукционного питомника нами были заложены маточники наиболее ценного сорта 'Академик Яблоков' с целью получения его вегетативного потомства путём размножения отводками.

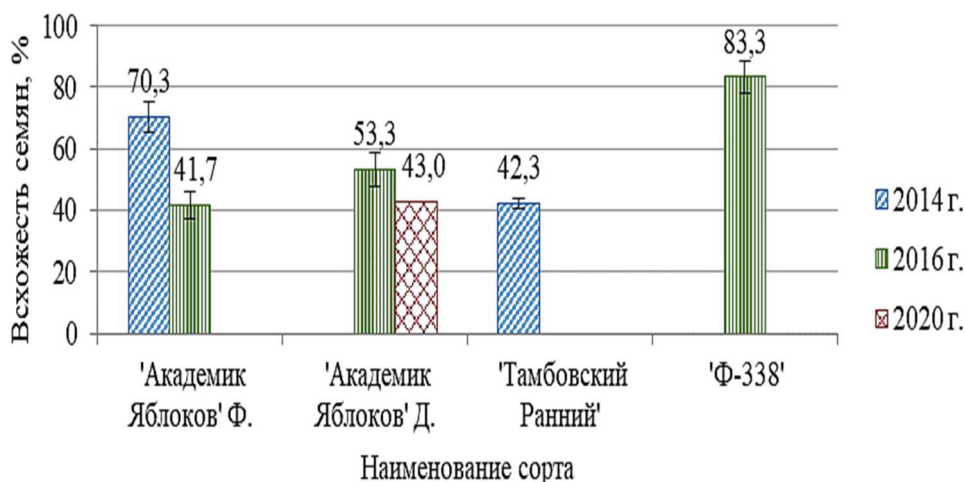


Рис. 3. Грунтовая всхожесть семян сортов фундука в годы исследования

Fig. 3. Ground germination capacity of seeds of the hazelnut cultivars over the years of research



а



б

Рис. 4. Семенное размножение сортов фундука: а – посевы, б – сеянцы
 Fig. 4. Seed propagation of the hazelnut cultivars: a – sowing, b – seedlings

Выводы

Таким образом, среди трёх сортов фундука самыми крупными плодами, относительно высокой их доброкачественностью, наиболее устойчивым плодоношением характеризуется сорт 'Академик Яблоков'. Сорта 'Тамбовский Ранний' и 'Ф-338' обладают меньшими размерами плодов и менее устойчивым плодоношением. Масса и размеры плодов всех изученных растений были обусловлены сортовой принадлежностью при незначимом влия-

нии фактора погодных условий года, хотя выявлена тенденция зависимости данных показателей от условий увлажнения периода активной вегетации, что может быть подтверждено более длительным сроком исследования. Доброкачественность плодов за четыре года исследования варьировала от 46,7 до 93,3 %, грунтовая всхожесть – от 41,7 до 83,3 %. Для посадок на приусадебных участках и плантационного выращивания в условиях Волго-Вятского региона рекомендуется сорт 'Академик Яблоков'.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Осипов В. Е. Лещина. М.: Агропромиздат, 1986. 63 с.
2. Дикорастущие полезные растения России / Отв. ред. А. Л. Буданцев, Е. Е. Лесиовская. Санкт-Петербург: Издательство СПХФА, 2001. 663 с.
3. Перспективные генотипы фундука из коллекции ФНЦ им И. В. Мичурина для использования в селекции / Н. Н. Савельева, А. Н. Юшков, А. С. Земисов и др. // Современное садоводство. 2023. № 4. С. 48–54. DOI: 10.52415/23126701_2023_0405; EDN: KFJDDH
4. Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of three hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars / I. Oliveira, A. Sousa, J. S. Morais et al. // Food and Chemical Toxicology. 2008. Vol. 46. Iss. 5. Pp. 1801–1807. DOI 10.1016/j.fct.2008.01.026
5. Ренгартен Г. А., Савиных Е. Ю. Размножение, формирование, интродукция фундука в Кировской области // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVI Всероссийской научно-практической с международным участием конференции, Киров, 27–28 апреля 2021 года. Киров: Вятский государственный университет, 2021. Т. 2. С. 192–196. EDN: OVRAPR
6. Козловская З. А., Луговцова Н. В. Лещина. Дикie виды и фундук // Плодоводство: сборник научных трудов / РУП «Институт плодоводства». Минск: Республиканское унитарное предприятие "Издательский дом "Белорусская наука", 2018. Т. 30. С. 289–303. EDN: UENFZJ
7. Софронов А. П., Пленкина Г. А. Элитные формы лещины в Кировской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 2. С. 62–67. EDN: UFFCAR
8. Софронов А. Анализ условий перезимовки лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.) в условиях Кировской области // International Independent Scientific Journal. 2020. № 22-2. С. 8–10. EDN: ZVSN BD
9. Беседина Т. Д., Тутберидзе Ц. В., Тория Г. Б. Проблемы агрофиты в возделывании фундука // Новые технологии. 2019. № 4. С. 89–110. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10409; EDN: КНҚҮІҚ
10. Размножение лещины обыкновенной *Corylus avellana* L. (Betulaceae Gray) в условиях in vitro / Х. Ж. К. Есемуратова, Х. К. К. Жураева, Н. К. У. Исканов и др. // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. 2023. № S6. С. 37–41. EDN: VBQHNU

11. Лоай С. Р. А. Семенное размножение фундука // Лесотехнический журнал. 2013. № 4(12). С. 7–12. EDN: RTVONP
12. Characterization of several hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars based in chemical, fatty acid and sterol composition / J. S. Amaral, S. Casal, I. Citová et al. // European Food Research and Technology. 2006. Vol. 222. Pp. 274–280. DOI: 10.1007/s00217-005-0068-0
13. Analysis of different European hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars: authentication, phenotypic features, and phenolic profiles / L. F. Ciarmiello, M. F. Mazzeo, P. Minasi et al. // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2014. Vol. 62. Iss. 26. Pp. 6236–6246. DOI: 10.1021/jf5018324
14. Some physicochemical and biochemical parameters of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars / N. Çetin, M. Yaman, K. Karaman et al. // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2020. Vol. 44. Iss. 5. Pp. 439–450. DOI: 10.3906/tar-1905-115
15. Rovira M. Advances in hazelnut (*Corylus avellana* L.) rootstocks worldwide // Horticulturae. 2021. Vol. 7. Iss. 9. Art. 267. DOI: 10.3390/horticulturae7090267
16. Ренгартен Г. А. Селекционная работа с фундуком за рубежом и в России // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7 (184). С. 28–35. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-28-35; EDN: VLSCLN
17. Мухаметова С. В., Павлова Е. Н., Нехорошкова Е. В. Показатели плодов и размножение фундука 'Академик Яблоков' // Сельское хозяйство. 2021. № 3. С. 31–42. DOI: 10.7256/2453-8809.2021.3.36844; EDN: RNWPRJ
18. Кудашева Р. Ф. Разведение и селекция лещины и фундука. М.: Лесная промышленность, 1965. 132 с.
19. Сорта фундука и культивируемые формы лещины. URL: <http://фундук.рф/Book/6/> (дата обращения: 20.11.2023).
20. Государственная комиссия РФ по испытанию и охране селекционных достижений. URL: <https://gossortrf.ru/> (дата обращения: 20.11.2023).
21. Мухаметова С. В., Лазарева С. М. Сезонный ритм развития видов боярышника, интродуцированных в Республику Марий Эл // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 2(22). С. 63–76. EDN: SGRMYH
22. Лосев А. П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. Санкт-Петербург: Гидрометеониздат, 1994. 244 с.
23. Мухаметова С. В. Метеорологические условия тёплого периода на территории Ботанического сада-института ПГТУ // Hortus Botanicus. 2022. Т. 17. С. 262–273. DOI: 10.15393/j4.art.2022.8146; EDN: ILQCZU
24. Научно-методические рекомендации по выращиванию фундука в засушливых условиях Нижнего Поволжья / А. В. Семенютина, А. В. Рындин, В. Г. Махно и др. Сочи: Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур, 2011. 56 с. EDN: UJTXKX
25. Петухова Н. А., Мухаметова С. В. Семенное размножение лещины // Вестник ландшафтной архитектуры. 2017. № 9. С. 51–56. EDN: YMEWDF

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 14.03.2024; принята к публикации 15.05.2024

Информация об авторе

МУХАМЕТОВА Светлана Валерьевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры садово-паркового строительства, ботаники и дендрологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – интродукция и акклиматизация растений. Автор 211 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7892-6450>; SPIN-код: 6316-3307

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 634.54:634.1.076:631.53

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.44>

EDN: QODHHO

Quality Indicators of Hazelnut (*Corylus*) Fruits

S. V. Mukhametova

Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
MukhametovaSV@volgatech.net ✉

Abstract. *Introduction.* Hazelnuts, fruit cultivars of hazel (*Corylus*), are valuable food, pollen-bearing, medicinal, soil-protective and ornamental plants. Only a few cultivars can be successfully grown in the central part of Russia. In addition to the vegetative propagation of hazelnuts, seed propagation is also acceptable for large-scale production of planting material. The relevance of the research is determined by the need to increase the volumes of domestic nut production. *The aim* of the study is to analyze the indicators of hazelnut fruit quality and explore the possibilities of hazelnut reproduction in the Republic of Mari El. *The objects* of the study are the cultivars ‘Academik Yablokov’ and ‘Tambovskiy Ranniy’, and the selected form ‘F-338’, all growing in the Botanical Garden-Institute of Volga State University of Technology (VSUT BGI), Yoshkar-Ola, Republic of Mari El. *Methods.* The research was conducted in 2014–2022. The length and diameter of 30 fruits were measured using a caliper. The mass of one fruit was determined by weighing 3 samples of 50 fruits each. The quality was assessed according to the GOST 13056.8–97 standard. The seeds were sown in nursery beds in the autumn season, with pretreatment against rodents. *Results.* The most stable fructification and the largest fruits weighing 1.8–2.6 g and growing up to 2.2–2.6 cm in length were found in the ‘Academik Yablokov’ cultivar. While the fruits of ‘Tambovskiy Ranniy’ were oval in shape, and the ‘F-338’ fruits were round, both cultivars showed similar fruit weights. In general, the fruit weights did not reach the values indicated in the literature. Over the four years of research, the seed quality of the hazel cultivars ranged between 46.7% and 93.3%, their ground germination capacity varied from 41.7% to 83.3%. *Conclusion.* The weight and size of the studied hazelnut fruits were due to their belonging to particular cultivars, with an insignificant influence of weather conditions. It was found, however, that these parameters tend to depend on the humidity conditions during the period of active vegetation. The ‘Academik Yablokov’ cultivar is recommended for growing on household plots, as well as for plantation cultivation in the Volga-Vyatka region.

Keywords: *Corylus* (hazel); nut weight; fruit size; seed quality; seed propagation; germination; meteorological conditions; Republic of Mari El

Funding: this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Mukhametova S. V. Quality Indicators of Hazelnut (*Corylus*) Fruits. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(3):44–54. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.44>; EDN: QODHHO

REFERENCES

1. Osipov V. E. Hazel. Moscow: Agropromizdat; 1986. 63 p. (In Russ.)
2. Wild useful plants of Russia. Budantsev A. L., Lesiovskaya E. E. (eds.). Saint-Petersburg: St. Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy; 2001. 663 p. (In Russ.).
3. Saveleva N. N., Yushkov A. N., Zemisov A. S. et al. Promising genotypes of the FSSI “I. V. Michurin FSC” hazelnut collection for future breeding. *Contemporary Horticulture.* 2023;(4):48–54. DOI: 10.52415/23126701_2023_0405; EDN: KFJDDH (In Russ.).
4. Oliveira I., Sousa A., Morais J. S. et al. Chemical composition, and antioxidant and antimicrobial activities of three hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Food and Chemical Toxicology.* 2008;46(5):1801–1807. DOI: 10.1016/j.fct.2008.01.026
5. Rengarten G. A., Savinykh E. Y. Reproduction, Formation, Introduction of Hazelnut in the Kirov Region. In: *Ecology of the Native Region: Problems and Ways to Solution them. Materials of the 16th All-Russian scientific and practical conference with international participation (27–28 April 2021, Kirov).* Vol. 2. Kirov: VyatSU Publ.; 2021. Pp. 192–196. EDN: OVRAPR (In Russ.).
6. Kazlouskaya Z. A., Lugovtsova N. V. Leshchina. *Corylus* sp. Wild species and hazelnut. *Fruit Growing: Collection of scientific works.* Vol. 30.

Minsk: Institute of Fruit Growing; 2018. Pp. 289–303. EDN: UENFZJ (In Russ.).

7. Sofronov A. P., Plenkina G. A. Elite forms of hazel in the Kirov Region. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2015;(2):62–67. EDN: UFFCAR (In Russ.).

8. Sofronov A. P. The analysis of overwintering conditions of the hazelnut (*Corylus avellana* L.) in Kirov Region. *International Independent Scientific Journal*. 2020;(22-2):8–10. EDN: ZVSNBD (In Russ.).

9. Besedina T. D., Tutberidze Ts. V., Toriya G. B. Agrosphere problems in hazelnut cultivation. *New Technologies*. 2019;(4):89–110. DOI: 10.24411/2072-0920-2019-10409; EDN: KHKYIQ (In Russ.).

10. Esemuratova X. J. q., Juraeva H. K. q., Iskanov N. K. o., et al. In vitro propagation of common hazel *Corylus avellana* L. (Betulaceae Gray). *Proceedings of the National Academy of Sciences Of The Kyrgyz Republic*. 2023;(S6):37–41. EDN: VBQHNU (In Russ.).

11. Loay S. R. A. Seed propagation of filbert. *Forestry Engineering Journal*. 2013;(4(12)):7–12. EDN: RTVONP (In Russ.).

12. Amaral J. S., Casal S., Citová I. et al. Characterization of several hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars based in chemical, fatty acid and sterol composition. *European Food Research and Technology*. 2006;222:274–280. DOI: 10.1007/s00217-005-0068-0

13. Ciarmiello L. F., Mazzeo M. F., Minasi P. et al. Analysis of different European hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars: authentication, phenotypic features, and phenolic profiles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014;62(26):6236–6246. DOI: 10.1021/jf5018324

14. Çetin N., Yaman M., Karaman K. et al. Some physicochemical and biochemical parameters of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2020;44(5):439–450. DOI: 10.3906/tar-1905-115

15. Rovira M. Advances in hazelnut (*Corylus avellana* L.) rootstocks worldwide. *Horticulturae*. 2021;7(9). Art. 267. DOI: 10.3390/horticulturae7090267

16. Rengarten G. A. Selection work with hazelnuts abroad and in Russia. *The Bulliten of KrasGAU*. 2022;(7(184)):28–35. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-7-28-35; EDN: VLSCLN (In Russ.).

17. Mukhametova S. V., Pavlova E. N., Nekhoroshkova E. V. Fruit indicators and reproduction of hazelnut 'Academic Yablokov'. *Agriculture*. 2021;(3):31–42. DOI: 10.7256/2453-8809.2021.3.36844; EDN: RNWPRJ (In Russ.).

18. Kudasheva R. F. Propagation and breeding of wild and cultivated hazelnuts. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ.; 1965. 132 p. (In Russ.).

19. Filbert varieties and cultivated forms of hazel. Available from: <http://фундук.рф/Book/6/> [Accessed 20 November 2023]. (In Russ.).

20. State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements ('Gossortrf'). Available from: <https://gossortrf.ru/> [Accessed 20 November 2023]. (In Russ.).

21. Mukhametova S. V., Lazareva S. M. Seasonal rhythm of introduced hawthorn species development in Mari El Republic. *Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology, Nature Management*. 2014;(2(22)):63–76. EDN: SGRMYH (In Russ.).

22. Losev A. P. Workshop on agrometeorological support of crop production. Saint-Petersburg: Hydrometeoizdat, 1994. 244 p. EDN: ILQCZU (In Russ.).

23. Mukhametova S. V. Meteorological conditions of warm period in the territory of the Botanical Garden-Institute of VSUT. *Hortus Botanicus*. 2022;17:262–273. DOI: 10.15393/j4.art.2022.8146; EDN: ILQCZU (In Russ.).

24. Semenyutina A. V., Ryndin A. V., Makhno V. G. et al. Scientific guidelines for filbert cultivation in dry conditions of the Lower Volga region. Sochi: Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops; 2011. 56 p. EDN: UJTXXK (In Russ.).

25. Petukhova N. A., Mukhametova S. V. Seed propagation of hazel. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury*. 2017;(9):51–56. EDN: YMEWDF (In Russ.).

The article was submitted 15.01.2024; approved after reviewing 14.03.2024; accepted for publication 15.05.2024

Information about the author

Svetlana V. Mukhametova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Chair of Landscape Design, Botany and Dendrology, Volga State University of Technology. Research interests – introduction and acclimatization of plants. Author of 211 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7892-6450>; SPIN: 6316-3307

Conflict of interests: the author declare no conflict of interest.
Author read and approved the final manuscript.

Научная статья

УДК 630*164.5: 630*181: 582.09

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.55>

EDN: PRXZRD

Сезонная динамика содержания хлорофиллов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения

О. В. Тагирова[✉], Р. С. Иванов, А. Ю. Кулагин

Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,

Уфимский институт биологии,

Российская Федерация, 450054, Уфа, пр. Октября, 69

olecyi@mail.ru[✉]

Аннотация. *Введение.* Древесные растения, произрастающие на территориях промышленных центров, вносят вклад в оптимизацию состояния окружающей среды, выполняют средостабилизирующие и защитные функции, улучшают условия жизни людей. Остаётся открытым вопрос о сезонной динамике содержания фотосинтетических пигментов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) – вида устойчивого к действию экстремальных природных и техногенных факторов. *Материалы и методы.* Уфимский промышленный центр (УПЦ) – город с населением более 1 млн. человек, где расположено свыше 700 предприятий. Климат города Уфы и его окрестностей относится к умеренной климатической зоне с континентальным климатом. Природно-климатические условия 2022 года характеризуются средними многолетними показателями. В 2022 году по критериям СанПин 2.1.6.3492-21 уровень загрязнения атмосферы в г. Уфе характеризовался как «высокий». *Цель работы* – определить содержание хлорофиллов в листьях берёзы в период с июня по сентябрь на территории УПЦ. *Задачи:* 1) определить содержание хлорофиллов в листьях берёзы в течение вегетационного периода в промышленной и селитебной зонах; 2) определить содержание хлорофиллов у среднелистных деревьев берёзы; 3) определить содержание хлорофиллов у мелколистных деревьев берёзы. *Объект исследования* – насаждения берёзы в промышленной и селитебной зонах УПЦ. На модельных деревьях в нижней части кроны были выделены и пронумерованы листья (по 10 листьев на каждом дереве). Для обеспечения репрезентативности фактических данных на каждом листе содержание хлорофиллов определяли в 12 точках в межжилковом пространстве – 6 на адаксиальной стороне листа, на левой и правой половине листа, в верхней, средней части и в основании листа; 6 на абаксиальной стороне листа, на левой и правой половине листа, в верхней, средней части и в основании листа. В течение июня-июля-августа-сентября 2022 года (ежемесячно в одни и те же сроки на пронумерованных листьях) были произведены измерения содержания хлорофиллов ($a+b$) в листьях берёзы с использованием прибора Dualox Scientific+ (Force-A, Франция). *Результаты и обсуждение.* Показатель среднего значения содержания хлорофиллов в листьях берёзы (с июня по сентябрь) на территориях промышленной и селитебно-рекреационной зоны выше в сентябре 2022 года. При сравнении содержания хлорофиллов у среднелистных деревьев берёзы установлено, что среднее содержание хлорофиллов в листьях (в период с июня по сентябрь) выше на территории селитебно-рекреационной зоны. При сравнении содержания хлорофиллов у мелколистных деревьев берёзы показатель среднего значения содержания хлорофиллов в листьях (с июня по сентябрь) выше на территории промышленной зоны. *Выводы и заключение.* На основании полученных сведений о сезонной динамике изменений содержания хлорофиллов в листьях можно заключить, что в условиях загрязнения окружающей среды отмечается успешная адаптивная настройка хлорофилл-белкового комплекса ассимиляционного аппарата деревьев берёзы. При этом мелколистная форма берёзы выделяется более высокой изменчивостью содержания хлорофиллов в листьях в течение вегетационного периода как в селитебной, так и в промышленной зонах, что является проявлением адаптивных реакций на условия произрастания.

Ключевые слова: берёза повислая; городские и санитарно-защитные насаждения; изменчивость содержания фотосинтетических пигментов; вегетационный период; адаптация

Финансирование: работы выполнены на оборудовании центра коллективного пользования «Агидель» в рамках плановых исследований по бюджетной теме № 123020700152-5 FMRS-2023-0008 «Устойчивость лесообразующих древесных видов и эколого-биологические адаптации с учётом антропогенной трансформации ландшафтно-природных комплексов».

Для цитирования: Тагирова О. В., Иванов Р. С., Кулагин А. Ю. Сезонная динамика содержания хлорофиллов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3 (63). С. 55–70. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.55>; EDN: PRXZRD

Введение

Древесные растения, произрастающие на территориях промышленных центров, вносят вклад в оптимизацию состояния окружающей среды, выполняют средообразующие и защитные функции, улучшают условия жизни людей [1]. Характеристика особенностей адаптации древесных растений к изменениям природно-климатических показателей на фоне действия промышленных загрязнителей представляет интерес при прогнозировании устойчивости и длительности произрастания насаждений в условиях современного промышленного города [2]. Для древесных растений характерно изменение продуктивности на различных этапах онтогенеза и в зависимости от лесорастительных условий [3]. Показано, что у листопадных деревьев в течение вегетационного периода изменяется устойчивость к промышленным загрязнителям [4]. При оценке изменчивости берёзы повислой показано, что распространены среднелистные и мелколистные формы [5].

Известно, что продукционный процесс связан с содержанием хлорофиллов в ассимиляционных органах. Содержание хлорофилла в листьях и эффективность фотосинтеза растений зависит от факторов окружающей среды (свет, температура, вода, состав атмосферного воздуха, минеральное питание). Отмечено, что на содержание хлорофилла в листьях влияют антропогенные факторы (расположение деревьев в непосредственной близости к промышленным предприятиям, вдоль автомагистралей, повышенная рекреационная нагрузка, уплотнение почвенного покрова) [6–8]. Показано, что сочетание действия антропогенных факторов и экстремальных климатических факторов приводит к снижению продуктивности растений [9, 10]. Исследования, выполненные в регионах с отличающимися природно-

климатическими условиями, свидетельствуют, что в промышленных зонах городов происходит снижение содержания хлорофиллов в листьях берёзы повислой [11, 12]. Осаждение газопылевых веществ на поверхности листового аппарата древесных растений приводит к разнонаправленному изменению функционирования пигментной системы [13]. При увеличении продолжительности светового периода (искусственное увеличение светового дня) происходит увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях, что связано с адаптивными особенностями пигментного аппарата и трансформации светособирающего комплекса [14]. Высказано суждение о защитной роли пигментного комплекса (хлорофиллов и каротиноидов) в увеличении резистентности растений [15]. Фрагментарно исследовались особенности сезонной динамики содержания фотосинтетических пигментов [16, 17]. Изучены и сопоставлены наземные данные и данные дистанционного зондирования о содержании хлорофилла в листьях берёзы повислой в зоне воздействия промышленных предприятий. Получены сведения о пигментном составе листьев отдельных видов, разновидностей и сортов рода Берёза и на основе кластерного анализа показаны различия между отдельными представителями и даны предложения для практического использования в озеленении [18].

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что остаётся открытым вопрос о сезонной динамике содержания фотосинтетических пигментов в листьях берёзы повислой – вида устойчивого к действию экстремальных природных и техногенных факторов.

Материалы и методы

Уфимский промышленный центр – город с населением более 1 млн. человек, где расположено свыше 700 предприятий. В 2022 году в соответствии с критериями

СанПин 2.1.6.3492-21 уровень загрязнения атмосферы в г. Уфе характеризовался как «высокий» – объём выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на территории УПЦ от стационарных источников составил 132,3 тыс. т. Поступление загрязняющих веществ в атмосферу в расчёте на одного жителя города составило 0,116 тонны. Индекс загрязнения атмосферы равен 8 и определяется концентрациями хлорида водорода, формальдегида, диоксида азота, взвешенных веществ и бензапирена¹.

Климат города Уфы и его окрестностей относится к умеренной климатической зоне с континентальным климатом – континентальность составляет 55 %. В целом 2022 год характеризовался как умеренно тёплый. Средняя за год температура воздуха составила +4,0 °C, что выше средних многолетних значений на 0,4 °C. Аномально тёплым, на 6,4 °C выше нормы,

был февраль. Самым холодным, на 3,1 °C ниже нормы, был май^{1,2}. Минимальная температура воздуха на территории УПЦ в вегетационный период 2022 года была в мае и в сентябре (-2 °C и -4 °C соответственно). Максимальная температура воздуха была в период с июля по сентябрь (+32; +31 и +32 °C соответственно) (рис. 1).

Наибольший средний показатель влажности воздуха в течение вегетационного периода в 2022 году был в июне и составлял 74 % (в сентябре – 72 %). Минимальный показатель влажности – в сентябре и составил 15 % (рис. 2). Количество осадков за год превысило норму и составило 109 % от нормы. Самым влажным месяцем в году был ноябрь. В этот период выпала почти двухмесячная норма осадков (193 %), в мае количество осадков составило 185 % от нормы. В августе отмечается дефицит осадков – 11 % от нормы¹.

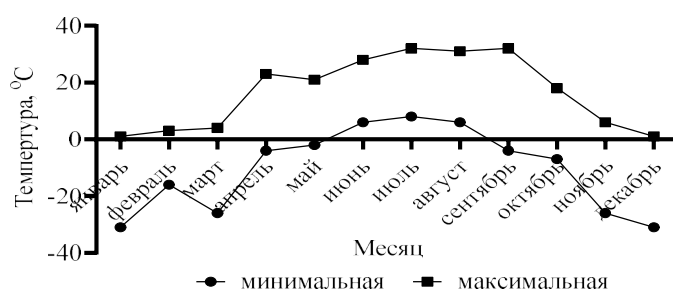


Рис. 1. Температурный режим 2022 года (составлено по URL: <https://rp5.ru/>)

Fig. 1. Temperature regime of 2022 (compiled on the basis of URL: <https://rp5.ru/>)

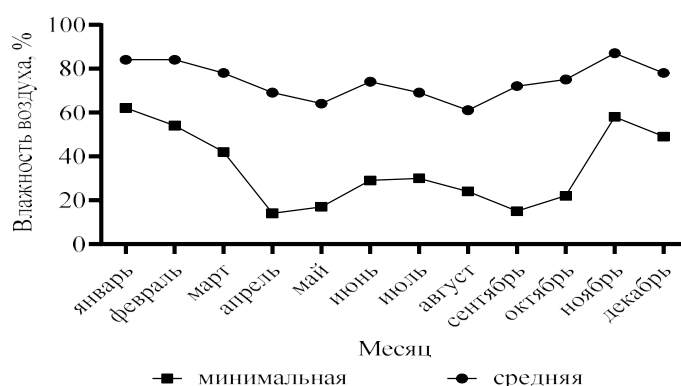


Рис. 2. Влажность воздуха в 2022 году (составлено по URL: <https://rp5.ru/>)

Fig. 2. Air humidity in 2022 (compiled on the basis of URL: <https://rp5.ru/>)

¹ Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2022 году». Уфа, 2023. 318 с.

² Официальный сайт расписания погоды. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 03.02.2024 г.)

Исследования проведены в пределах УПЦ на постоянных пробных площадях (ПП) на маркированных деревьях берёзы в течение вегетационного периода 2022 года [19].

В работе представлены результаты исследований, выполненных на территории двух ПП (ПП1 и ПП11) (рис. 3), расположенных в контрастных лесорастительных условиях.

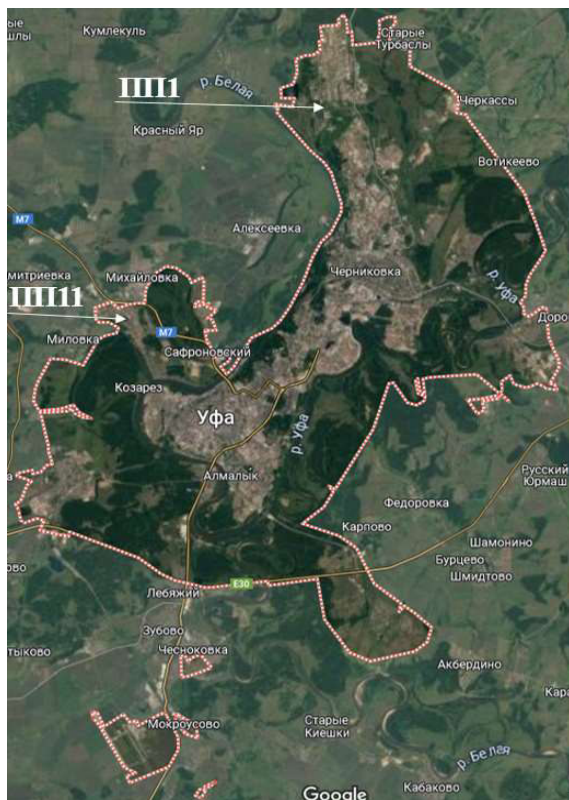


Рис. 3. Картосхема Уфимского промышленного центра с указанием местоположения пробных площадей (составлено по данным Картографического сервиса и технологий, предоставляемых компанией Google – Электронные данные.

URL: <https://www.google.ru/maps/>)

Fig. 3. Map of the Ufa Industrial Center indicating the location of test areas (TAs) (compiled using data of the Mapping service and technologies provided by Google – Electronic data.

URL: <https://www.google.ru/maps/>)

ПП1 заложена в промышленной зоне (ПЗ) в близости к нефтеперерабатывающим предприятиям, а ПП11 – в зоне относительного контроля на удалении 10–15 км от группы нефтеперерабатывающих предприятий в селитебно-рекреационной зоне

(СРЗ) УПЦ. В 2010 году при заложении ПП для проведения систематических исследований были выделены и пронумерованы деревья (ПП1 – среднелиственное дерево № 8 и мелколистное дерево № 10; ПП11 – среднелиственное дерево № 11 и мелколистное дерево № 12). На ПП1 дерево № 8 среднелиственное: высота 14,5 м, диаметр 44 см, возраст 55 лет; на ПП1 дерево № 10 мелколистное: высота 14 м, диаметр 22 см, возраст 55 лет; на ПП11 дерево № 11 среднелиственное: высота 15 м, диаметр 54 см, возраст 58 лет; на ПП11 дерево № 12 мелколистное: высота 13 м, диаметр 42 см, возраст 58 лет.

На каждом дереве в нижней части кроны были выделены и пронумерованы листья на брахибластах (по 10 листьев на каждом дереве). Для обеспечения репрезентативности фактических данных на каждом листе содержание хлорофиллов определяли в 12 точках в межжилковом пространстве: 6 на адаксиальной стороне листа, на левой и правой половине листа, в верхней, средней и основании листа; 6 на абаксиальной стороне листа, на левой и правой половине листа, в верхней, средней и основании листа. В течение июня-июля-августа-сентября 2022 года (ежемесячно в одни и те же сроки и на пронумерованных листьях) были произведены измерения содержания хлорофиллов ($a + b$) в листьях берёзы с использованием портативного прибора Dualox Scientific+ (Force-A, Франция). Данный прибор позволяет в режиме реального времени измерять содержание суммы хлорофиллов в листьях растений. Измерения проводились в диапазоне от 0,00 до 3,00 мкг/см² (в расчёте на сырую массу), точность абсорбции – 5 %.

Статистическая обработка результатов исследований производилась в программах Excel и GraphPad Prism.

Результаты и их обсуждение

Установлено, что содержание хлорофиллов (мкг/см²) в листьях берёзы в течение вегетационного периода в ПЗ и СРЗ изменялось.

Показатель среднего значения содержания хлорофиллов в листьях берёзы (с июня по сентябрь) на территориях ПЗ и СРЗ выше в сентябре 2022 года. Отметим, что этот показатель в сентябре также выше и на территории СРЗ (рис. 4) (достоверность не подтверждена).

Показатель среднего значения содержания хлорофиллов в листьях

берёзы (в период с июня по сентябрь) на территории ПЗ (ПП1) имеет тенденцию к повышению у мелколистного дерева (рис. 5).

Среднее значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (в период с июня по сентябрь) на территории СРЗ (ПП11) выше у среднелистного дерева (рис. 6).

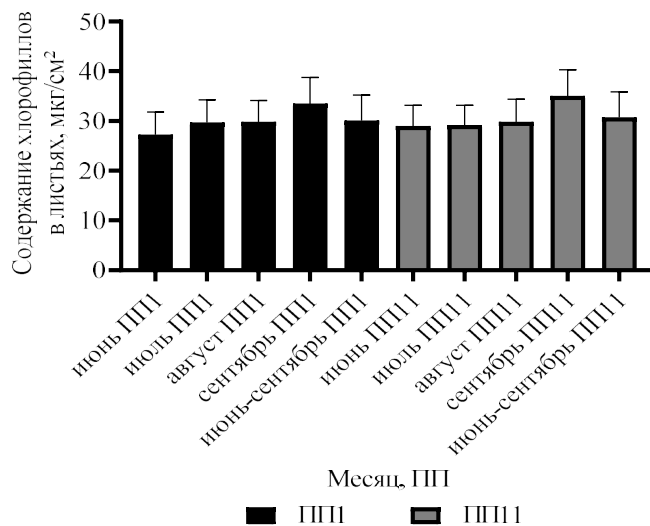


Рис. 4. Содержание хлорофиллов (мкг/см²) в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в течение вегетационного периода в промышленной (ПП1) и селитебно-рекреационной зонах (ПП11)

Fig. 4. Chlorophyll content (mcg/cm²) in the leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) during the growing season in industrial zone (TA1) and residential-recreational zone (TA11)

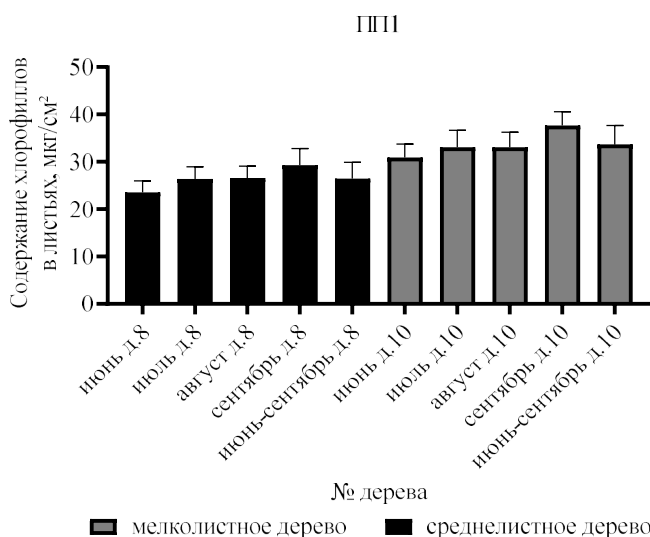


Рис. 5. Содержание хлорофиллов (мкг/см²) в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в течение вегетационного периода в промышленной зоне (ПП1 – дерево № 8 и дерево № 10) (№ 8 – среднелистное дерево и № 10 – мелколистное дерево)

Fig. 5. Chlorophyll content (mcg/cm²) in the leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) during the growing season in the industrial zone (TA1 – tree No. 8 and tree No. 10) (No. 8 is a medium-leaved tree, No. 10 is a small-leaved tree)

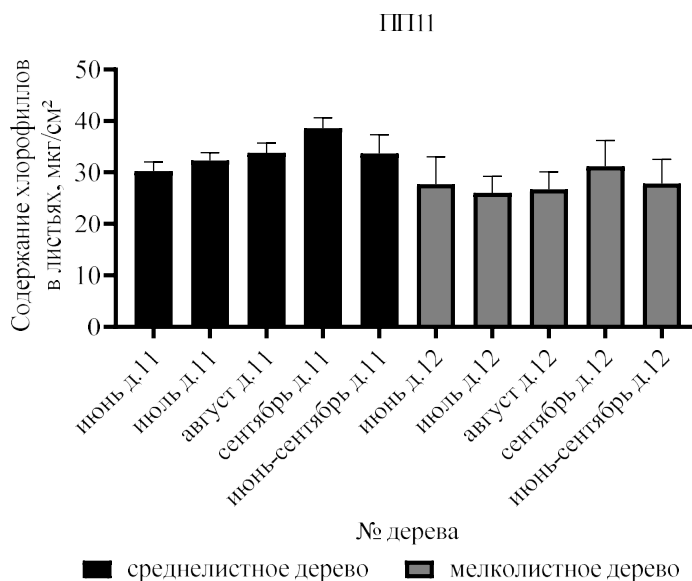


Рис. 6. Содержание хлорофиллов ($\text{мкг}/\text{см}^2$) в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в течение вегетационного периода в селитебно-рекреационной зоне (ПП11 – дерево № 11 и дерево № 12) (№ 11 – среднелиственное дерево и № 12 – мелколиственное дерево)

Fig. 6. Chlorophyll content (mcg/cm^2) in the leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) during the growing season in the residential-recreational zone (TA11 – tree No. 11 and tree No. 12) (No. 11 is a medium-leaved tree, No. 12 is a small-leaved tree)

При сравнении содержания хлорофиллов у среднелистных деревьев берёзы (ПП1 и ПП11) установлено, что среднее содержание хлорофиллов в листьях (в период с июня по сентябрь) выше на территории СРЗ (ПП11).

При сравнении содержания хлорофиллов у мелколистных деревьев берёзы показатель среднего значения содержания хлорофиллов в листьях (с июня по сентябрь) выше на территории ПЗ (ПП1).

Максимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (в период с июня по сентябрь) на территории ПЗ (ПП1) у дерева № 8 (среднелистного) варьируется в диапазоне $28,5 - 36 \text{ мкг}/\text{см}^2$. С июня по июль содержание хлорофиллов увеличивалось с $28,5$ до $36 \text{ мкг}/\text{см}^2$, к августу уменьшалось и составляло $31,5 \text{ мкг}/\text{см}^2$, а к сентябрю снова увеличивалось и составляло $35,8 \text{ мкг}/\text{см}^2$. Минимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (с июня по сентябрь) на территории ПЗ (ПП1) у дерева № 8 (среднелистного) варьируется в диапазоне $15,7 - 19,6 \text{ мкг}/\text{см}^2$. С июня по август со-

держание хлорофиллов увеличивалось с $18,2$ до $19,6 \text{ мкг}/\text{см}^2$, к сентябрю уменьшалось и составляло $15,7 \text{ мкг}/\text{см}^2$. Коэффициент вариации количественного содержания хлорофиллов с июня по август снижался с $10,33$ до $9,506 \%$, а к сентябрю увеличился до $12,05 \%$.

Максимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (в период с июня по сентябрь) на территории ПЗ (ПП1) у дерева № 10 (мелколистного) варьируется в диапазоне $36,7 - 55,4 \text{ мкг}/\text{см}^2$. С июня по июль содержание хлорофиллов увеличивалось с $36,7$ до $55,4 \text{ мкг}/\text{см}^2$, к августу уменьшалось и составляло $38,3 \text{ мкг}/\text{см}^2$, а к сентябрю снова увеличивалось и составляло $42,4 \text{ мкг}/\text{см}^2$. Минимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (с июня по сентябрь) на территории ПЗ (ПП1) у дерева № 10 (мелколистного) варьируется в диапазоне $18 - 28,7 \text{ мкг}/\text{см}^2$. С июня по июль содержание хлорофиллов увеличивалось с 18 до $22,7 \text{ мкг}/\text{см}^2$, к августу уменьшалось и составляло $18,3 \text{ мкг}/\text{см}^2$, к сентябрю снова увеличивалось и составляло

28,7 мкг/см². Коэффициент вариации количественного содержания хлорофиллов с июня по июль увеличивался с 9,271 до 10,84 %, а к августу и сентябрю снижался и составил 9,748 и 7,889 %, соответственно.

Максимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (в период с июня по сентябрь) на территории СРЗ (ПП11) у дерева № 11 (среднелистного) варьируется в диапазоне 33,9 – 42,5 мкг/см². С июня по сентябрь содержание хлорофиллов увеличивалось и составляло 33,9; 35,6; 37,2; 42,5 мкг/см², соответственно. Минимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (с июня по сентябрь) на территории СРЗ (ПП11) у дерева № 11 (среднелистного) варьируется в диапазоне 25,1–33,5 мкг/см². С июня по сентябрь содержание хлорофиллов увеличивалось и составляло 25,1; 28; 28,1; 33,5 мкг/см², соответственно. Коэффициент вариации с июня по июль уменьшался с 5,876 до 4,769 %, к августу увеличивался до 5,827 %, а к сентябрю уменьшался до 5,460 %.

Максимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (в период с июня по сентябрь) на территории СРЗ

(ПП11) у дерева № 12 (мелколистного) варьируется в диапазоне 31,8 – 40,2 мкг/см². С июня по июль содержание хлорофиллов уменьшалось с 37,4 до 31,8 мкг/см², к августу и сентябрю увеличивалось и составляло 33,1 и 40,2 мкг/см², соответственно. Минимальное значение содержания хлорофиллов в листьях берёзы (с июня по сентябрь) на территории СРЗ (ПП11) у дерева № 12 (мелколистного) варьируется в диапазоне 14,9 – 20 мкг/см². С июня по июль содержание хлорофиллов увеличивалось с 19 до 20 мкг/см², к августу и сентябрю уменьшалось и составляло 17,8 и 14,9 мкг/см², соответственно. Коэффициент вариации с июня по июль уменьшался с 19,27 до 12,35 %, а к августу–сентябрю увеличивался и составлял 12,82 и 16,22 %, соответственно.

Содержание хлорофиллов в листьях берёзы с июня по сентябрь в ПЗ (ПП1) у среднелистного дерева и у мелколистного дерева несколько выше в основании листа; в СРЗ (ПП11) у среднелистного дерева и у мелколистного дерева содержание хлорофиллов в листьях незначительно выше у вершины листа (рис. 7, 8).

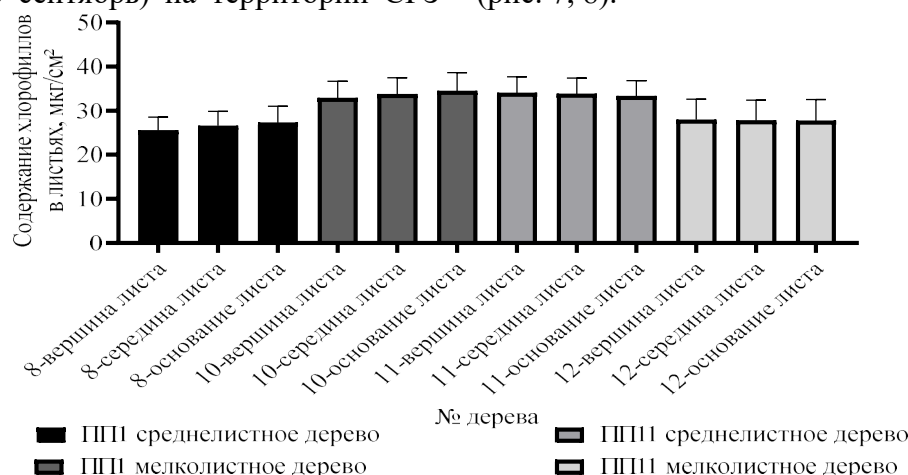


Рис. 7. Содержание хлорофиллов (мкг/см²) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в промышленной и селитебно-рекреационной зонах (ПП1 – дерево № 8 и дерево № 10; ПП11 – дерево № 11 и дерево № 12) (№ 8 и № 11 – среднелистные деревья; № 10 и № 12 – мелколистные деревья)

Fig. 7. Chlorophyll content (mcg/cm²) in leaves (the tip, middle and base of the leaf) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in industrial and residential-recreational zones (TA1 – tree No. 8 and tree No. 10; TA11 – tree No. 11 and tree No. 12) (No. 8 and No. 11 are medium-leaved trees, No. 10 and No. 12 are small-leaved trees)

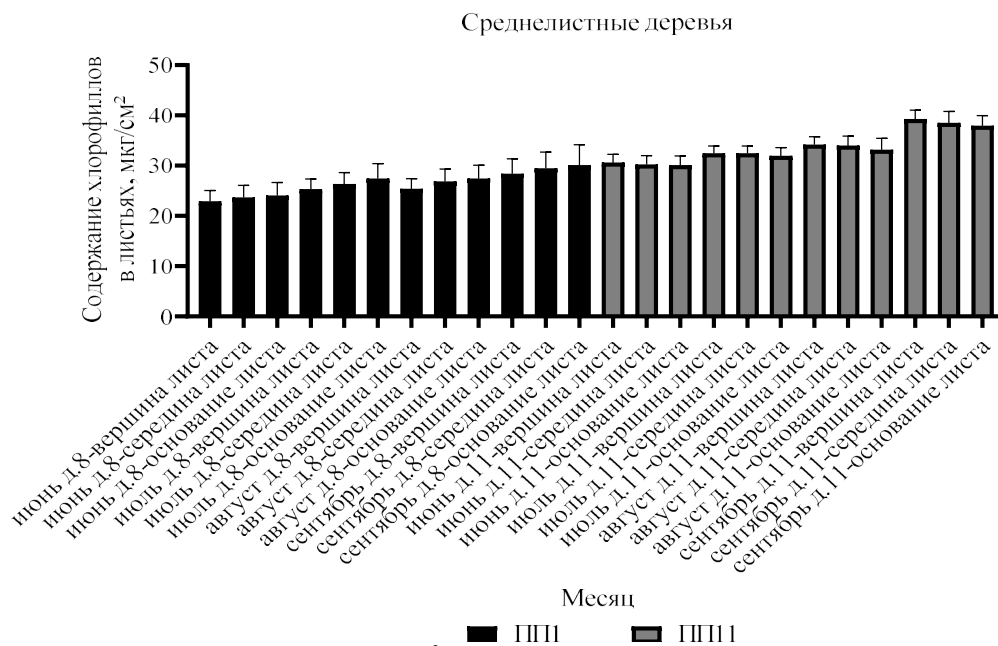


Рис. 8. Содержание хлорофиллов (мкг/см^2) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в промышленной и селитебно-рекреационной зонах (ПП1 – дерево № 8; ПП11 – дерево № 11) (№ 8 и № 11 – среднелиственные деревья)
 Fig. 8. Chlorophyll content (mcg/cm^2) in leaves (the tip, middle and base of the leaf) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in industrial and residential-recreational zones (TA1 – tree No. 8; TA11 – tree No. 11) (No. 8 and No. 11 are medium-leaved trees)

С июня по сентябрь содержание хлорофиллов в листьях берёзы на территории ПЗ (ПП1) у среднелистного дерева было выше в основании листьев (рис. 9). В период с июня по сентябрь содержание хлорофиллов незначительно увеличивалось.

В июне, июле, августе, сентябре содержание хлорофиллов в листьях берёзы на территории СРЗ (ПП11) у среднелистного дерева было незначительно выше у вершины листьев (рис. 10). В июле содержание хлорофиллов у вершины и середины листа фактически не различалось.

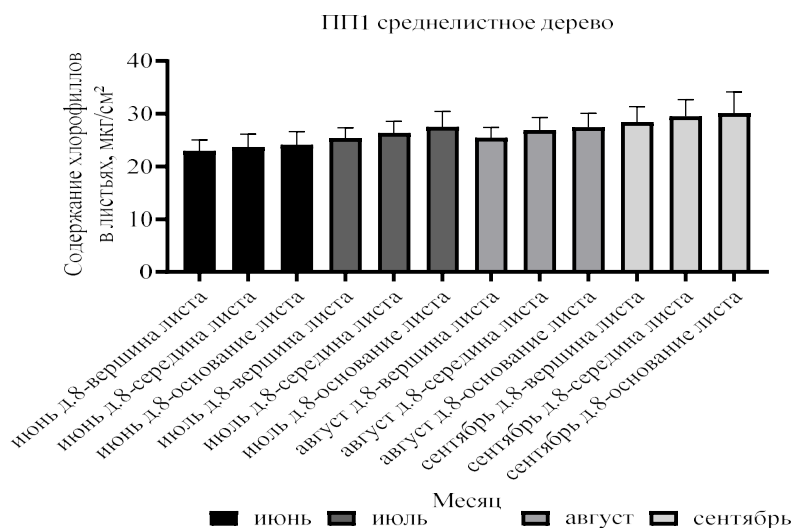


Рис. 9. Содержание хлорофиллов (мкг/см^2) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в промышленной зоне (ПП1 – дерево № 8 среднелистное)
 Fig. 9. Chlorophyll content (mcg/cm^2) in leaves (the tip, middle and base of the leaf) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in the industrial zone (TA1 – medium-leaved tree No. 8)

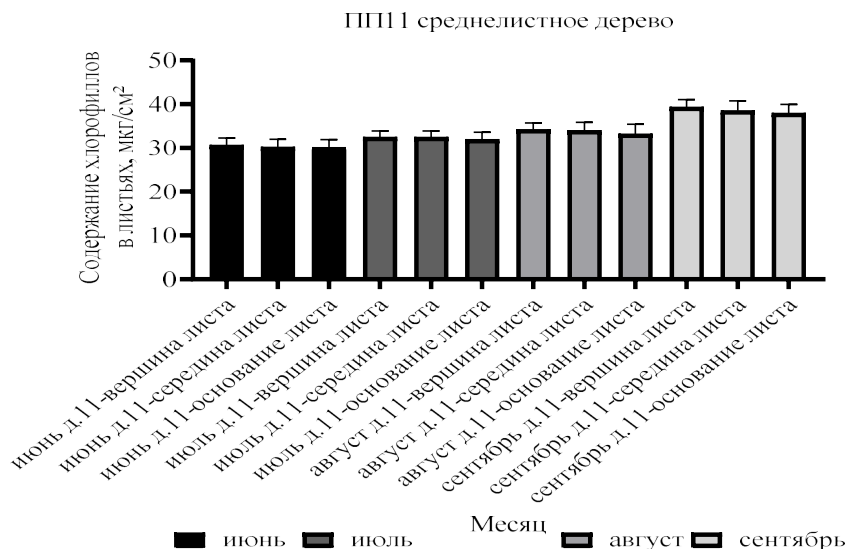


Рис. 10. Содержание хлорофиллов (мкг/см^2) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в селитебной зоне (ППП1 – дерево № 11 среднелиственное)
 Fig. 10. Chlorophyll content (mcg/cm^2) in the leaves (the tip, middle and base of the leaf) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in the residential zone (ТА11 – medium-leaved tree No. 11)

С июня по сентябрь содержание хлорофиллов в листьях берёзы на территории ПЗ (ПП1) у мелколистного дерева было незначительно выше в основании листьев (рис. 11). С июня по июль содержание хлорофиллов незначительно увеличивалось, в августе несколько снижалось в середине и в основании листа, а в сентябре снова увеличивалось.

В июне содержание хлорофиллов в листьях берёзы на территории СРЗ (ПП11) у мелколистного дерева было незначительно выше в основании листьев (рис. 12, 13); в июле, августе и в сентябре содержание хлорофиллов выше у вершины листа. С июня по июль содержание хлорофиллов в листьях незначительно снижалось, а в августе и сентябре увеличивалось.

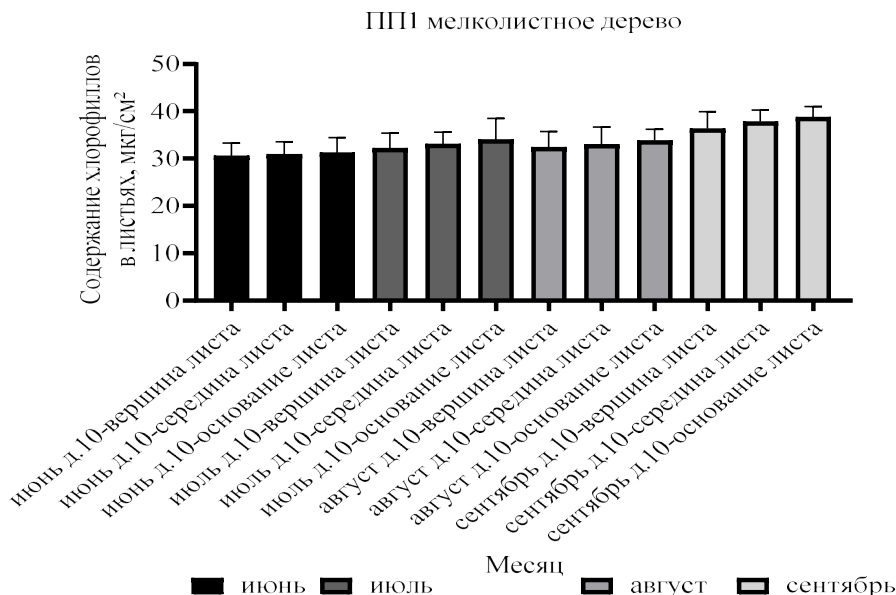


Рис. 11. Содержание хлорофиллов (мкг/см^2) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в промышленной зоне (ППП1 – дерево № 10 мелколистное)
 Fig. 11. Chlorophyll content (mcg/cm^2) in leaves (leaf tip, middle of the leaf, leaf base) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in the industrial zone (ТА1 – small-leaved tree No. 10)

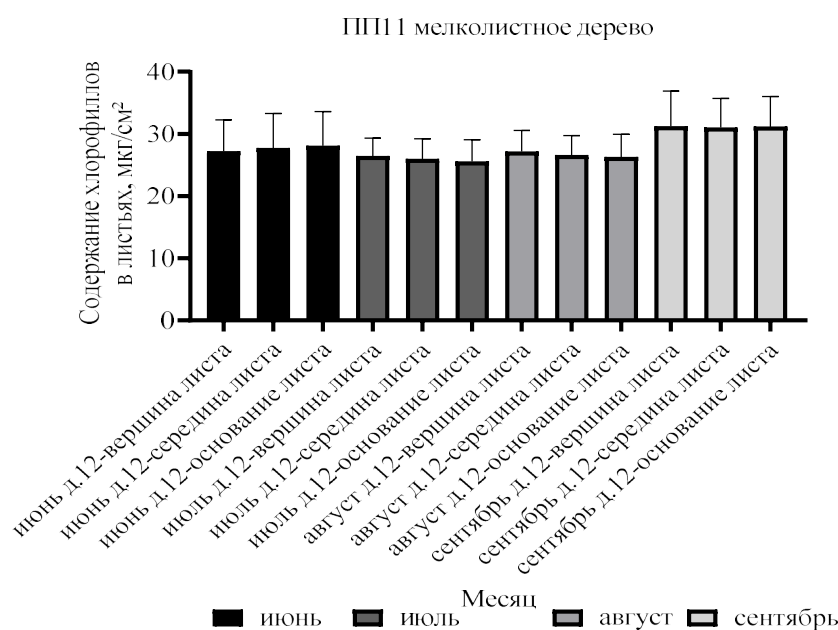


Рис. 12. Содержание хлорофиллов (мкг/см²) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в селитебной зоне (ППП1 – дерево № 12 мелколистное)

Fig. 12. Chlorophyll content (mcg/cm²) in leaves (the tip, middle and base of the leaf) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in the residential zone (TA11 – small-leaved tree No. 12)

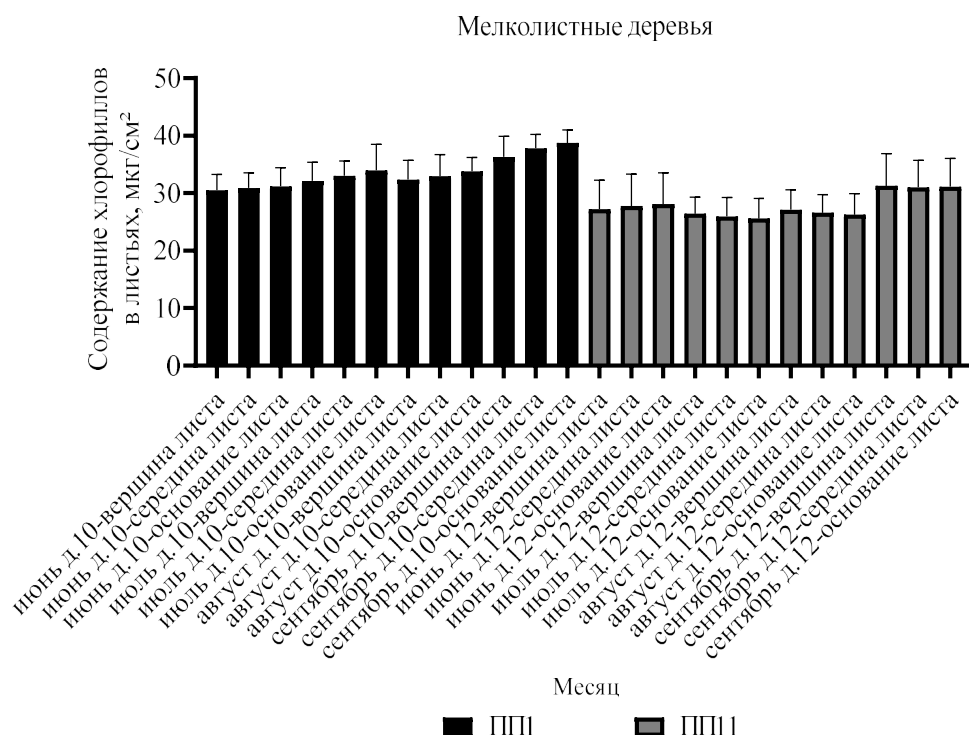


Рис. 13. Содержание хлорофиллов (мкг/см²) в листьях (вершина листа, середина листа, основание листа) берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в июне–сентябре в промышленной и селитебно-рекреационной зонах (ППП – дерево № 10; ППП1 – дерево № 12) (№ 10 и № 12 – мелколистные деревья)

Fig. 13. Chlorophyll content (mcg/cm²) in leaves (the tip, middle and base of the leaf) of silver birch (*Betula pendula* Roth) in June–September in industrial and residential- recreational zones (TA1 – tree No. 10; TA11 – tree No. 12) (No. 10 and No.12 are small-leaved trees)

Заключение

На территории ПЗ (ПП1) для среднелистной формы берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) выявлено неравномерное содержание хлорофиллов в листьях в период с июня по сентябрь, и это касается как максимальных, так и минимальных значений. При этом коэффициент вариации содержания хлорофиллов в течение вегетационного периода изменяется незначительно (9,506 – 12,05 %). Для мелколистной формы в период с июня по сентябрь также выявлено неравномерное содержание хлорофиллов (как максимальных, так и минимальных значений) в листьях. При этом коэффициент вариации содержания хлорофиллов в течение вегетационного периода изменялся в пределах 7,889 – 10,84 %.

На территории СРЗ (ПП11) для среднелистной формы берёзы выявлено увеличение содержания хлорофиллов в листьях в течение вегетационного периода – это касается как максимальных, так и минимальных значений. При этом коэффициент вариации содержания хлорофиллов в течение вегетационного периода изменялся незначительно в пределах 4,769 – 5,876 %. Для мелколистной формы берёзы выявлена иная картина динамики содержания хлорофиллов в листьях деревьев берёзы повислой – коэффициент вариации содержания хлорофиллов в течение вегетационного периода изменялся в значительных пределах (12,35 – 19,27 %).

Выявлена неравномерность в содержании хлорофиллов в пределах листовой пластинки. В ПЗ у среднелистного дерева и у мелколистного дерева содержание хлорофиллов несколько выше в основании листа, а в условиях селитебной зоны повышенное содержание хлорофиллов отмечалось в верхней части листа. Это согласуется с феноменом повреждения листовых пластинок растений промышленными загрязнителями, который описан как апикальный и краевой некрозы [20, 21].

На основании полученных сведений о сезонной динамике изменений содержания хлорофиллов в листьях можно заключить, что в условиях загрязнения окружающей среды отмечается успешная адаптивная настройка хлорофилл-белкового комплекса ассимиляционного аппарата деревьев берёзы. При этом мелколистная форма берёзы выделялась более высокой изменчивостью содержания и распределения хлорофиллов в листьях в течение вегетационного периода как в СРЗ, так и в ПЗ, что является проявлением адаптивных реакций на условия произрастания. С учётом достаточно высокой устойчивости берёзы к действию экстремальных факторов показано, что реакция ассимиляционных органов растений в зоне воздействия нефтехимического загрязнения и в селитебно-рекреационной зоне обеспечивает длительное успешное произрастание берёзы в условиях современного промышленного центра.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тагирова О. В., Кулагин А. Ю. Характеристика состояния древесных насаждений как ландшафтного компонента социально-экологического комплекса города Кумертау (Республика Башкортостан) // Медицина труда и экология человека. 2024. № 1. С. 211–229. DOI: 10.24412/2411-3794-2024-10113; EDN: NMYDON
2. Кулагин Ю. З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование: монография. М.: Наука, 1980. 116 с. EDN: VZNMCV
3. Демаков Ю. П. Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл: монография. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. 480 с. EDN: QIZGAG
4. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда: монография. М.: Наука, 1974. 124 с. EDN: VZNMBR
5. Махнев А. К., Мамаев С. А. Внутривидовая изменчивость берёз на Урале в связи с проблемами систематики рода // Закономерности внутривидовой изменчивости листовых древесных пород. Свердловск: Уральский научный центр АН СССР, 1975. 142 с. С. 67–77. EDN: WIPDTR
6. Яшин Д. А., Зайцев Г. А. Содержание пигментов фотосинтеза в листьях берёзы повислой

в условиях промышленного загрязнения // Известия Уфимского научного центра РАН. 2015. № 4-1. С. 193–196. EDN: UXPIYJ

7. Фотосинтетические пигменты в листьях берёзы повислой при техногенном воздействии / В. В. Стасова, Л. Н. Скрипальщикова, Н. В. Астраханцева и др. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 3 (393). С. 35–47. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-35-47; EDN: JEZUIF

8. Влияние автотранспортного загрязнения воздуха на физиолого-биохимические показатели листа *Tilia cordata* Mill. и *Betula pendula* Roth / Е. А. Ерофеева, Д. Б. Гелашвили, М. Д. Кузнецов и др. // Экология урбанизированных территорий. 2023. № 2. С. 55–60. DOI: 10.24412/1816-1863-2023-2-55-60; EDN: XEQAPC

9. Заворуева Е. Н., Заворуев В. В. Динамика флуоресценции и концентрации хлорофиллов листьев берёз, растущих вблизи автомобильных дорог // Вестник КрасГАУ. 2010. № 9 (48). С. 129–133. EDN: MUPWIR

10. Исследование содержания фотосинтетических пигментов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях антропогенного стресса / А. Р. Гилязова, Л. В. Садикова, А. С. Фахрутдинова и др. // Advanced Science: сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 апреля 2019. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2019. 232 с. С. 21–24.

11. Неворова О. А., Быков А. А. Оценка адаптивного потенциала *Betula pendula* Roth в условиях преобладающего влияния выбросов промзоны г. Кемерово // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-1. Ст. 551. EDN: UNXEUP

12. Сезонная динамика изменений содержания фотосинтетических пигментов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях Стерлитамакского промышленного центра / Р. Х. Гиниятуллин, О. В. Тагирова, Р. С. Иванов и др. // Биосфера. 2023. Т. 15, № 3. С. 285–291. DOI: 10.24855/biosfera.v15i3.831; EDN: MBUNEW

13. Самусик Е. А., Головатый С. Е. Реакция пигментной системы древесных растений на газопылевое загрязнение // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2023. № 2.

С. 78–86. DOI: 10.46646/2521-683X/2023-2-78-86; EDN: OUAVZP

14. Белова Т. А., Краснопигцева А. Н. Физиологические основы адаптации пигментной системы древесных растений к условиям светового климата городской среды // Auditorium. 2016. № 4 (12). С. 10–13. EDN: XESTDH

15. Peguero-Pina J. J., Morales F., Gil-Pelegrin E. Frost Damage in *Pinus sylvestris* L. Stems Assessed by Chlorophyll Fluorescence in Cortical Bark Chlorenchyma // Annals of Forest Science. 2008. Vol. 65, iss 8. Art. 813. DOI: 10.1051/forest:2008068

16. Влияние ультрафиолетовой радиации и параметров микроклимата на содержание пигментов в листьях берёзы повислой, произрастающей в условиях города / О. Л. Воскресенская, В. С. Воскресенский, Е. В. Сарбаева и др. // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2014. № 3. С. 39–45. EDN: THPQZR

17. Чукуриди С. С., Савенко А. В., Грекова И. В. Декоративность листьев красивоцветущих кустарников рода *Weigela* Thunb. и рода *Philadelphus* L. в связи с динамикой фотосинтетических пигментов в условиях города Краснодара // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2022. Т. 18, № 1. С. 67–72. EDN: VOIDMQ

18. Бабаев Р. Н., Бессчётнова Н. Н., Бессчётнов В. П. Многопараметрический анализ пигментного состава листового аппарата представителей рода *Betula* L. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2023. № 3 (59). С. 42–54. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.3.42; EDN: KYAFPT

19. Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра: современное состояние в условиях антропогенных воздействий: монография. Уфа: Гилем, 2015. 196 с. EDN: VNAYON

20. Гудериан Р. Загрязнение воздушной среды / пер. с англ. Н. С. Гельман; под ред. Г. М. Илькуна. М.: Мир, 1979. 200 с.

21. Рунова Е. М., Костромина О. А. Оценка степени повреждения листьев берёзы и осины в зонах с различной техногенной нагрузкой // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. № 13. С. 230–232. EDN: TZSMAF

Статья поступила в редакцию 24.05.2024; одобрена после рецензирования 02.09.2024; принята к публикации 20.09.2024

Информация об авторах

ТАГИРОВА Олеся Васильевна – старший научный сотрудник, кандидат биологических наук, лаборатория лесоведения, Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН). Область научных интересов – лесоведение, лесовосстановление, защитное лесоразведение, озеленение населённых пунктов, экологическая экспертиза. Автор 194 научных публикаций, в том числе одной монографии. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1615-7005>; SPIN-код: 2439-1378

ИВАНОВ Руслан Сергеевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория лесоведения, Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН). Область научных интересов – физиология растений, продуктивность, устойчивость растений, гормоны растений. Автор 118 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1251-8336>; SPIN-код: 4215-7491

КУЛАГИН Алексей Юрьевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией лесоведения, Уфимский институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН). Область научных интересов – лесоведение, лесовосстановление, защитное лесоразведение, озеленение населённых пунктов, экологическая экспертиза. Автор 519 научных публикаций, в том числе 12 монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7574-4547>; SPIN-код: 2468-8394

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*164.5: 630*181: 582.09

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.55>

EDN: PRXZRD

Seasonal Dynamics of the Chlorophyll Content in the Leaves of Silver Birch (*Betula Pendula* Roth) under Conditions of Industrial Pollution

O. V. Tagirova[✉], R. S. Ivanov, A. Y. Kulagin

Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,

Ufa Institute of Biology,

69, Prospekt Oktyabrya, Ufa, 450054, Russian Federation

olecyi@mail.ru [✉]

Abstract. *Introduction.* Woody plants growing on the territories of industrial centers contribute to optimizing the state of the environment, perform environmental stabilizing and protective functions, and improve people's living conditions. The question that remains open concerns the seasonal dynamics of the content of photosynthetic pigments in the leaves of the silver birch (*Betula pendula* Roth), a species resistant to extreme natural anthropogenic factors. *Materials and methods.* The Ufa Industrial Center (UIC) is a city with a population of more than 1 million people, where over 700 enterprises are located. The climate of the city of Ufa and its environs belongs to the temperate climate zone with a continental climate. The natural and climatic conditions of 2022 were characterized by multi-year averages. In 2022, according to the criteria of the Sanitary Rules and Norms 2.1.6.3492-21, the level of air pollution in the city of Ufa was categorized as "high". *The purpose of the work* is to determine the content of chlorophylls in birch leaves in the period from June to September on the UIC territory. The objectives of the study are as follows: (1) to determine the content of chlorophylls in the birch leaves during the growing season in the industrial and residential zones; (2) to determine the chlorophyll content in medium-leaved birch trees; (3) to determine the chlorophyll content in small-leaved birch trees. *The object of the study* is the birch plantings in the UIC industrial and residential zones. In the lower part of the crowns of model trees, leaves were identified and numbered (10 leaves per tree). In order to ensure the representativeness of the experimental data, the chlorophyll content was determined in the interveinal space of each leaf at 12 points: six points on the adaxial side of the leaf (on the left and right halves of the leaf, on the tip, middle and at the base of the leaf) and six on the abaxial side (on the left and right halves of the leaf, on the tip, middle and at the base of the leaf). In June, July, August and September 2022 (every month at the same time, using the numbered leaves) the content of chlorophylls (a+b) in the birch leaves was measured using a Dualox Scientific+ device ('Force-A', France). *Results and discussion.* In the period from June to September, the average value of chlorophyll content in the birch leaves in the industrial and residential-recreational zones was higher in September 2022. A comparison of chlorophyll contents in medium-leaved birch trees found that in the period from June to September the average leaf chlorophyll content is higher in the residential-recreational zone. When comparing chlorophyll contents of small-leaved birch trees, the average value of the leaf chlorophyll content during the period from June to September is higher in the industrial zone. *Conclusion.* According to the obtained data on the seasonal dynamics of changes in the leaf chlorophylls content, it can be concluded that in conditions of environmental pollution, successful adaptive adjustment of the chlorophyll-protein complex of the assimilation apparatus of birch trees is observed. At the same time, the small-leaved form of birch is distinguished by higher variability of leaf chlorophyll content during the vegetation season in both residential and industrial zones, which is a manifestation of adaptive reactions to the growing conditions.

Keywords: Silver birch (*Betula pendula* Roth), urban and sanitary protective plantings, variability in the content of photosynthetic pigments, growing season, adaptation

Funding: the work was carried out using the equipment of the Agidel Collective Use Center within the framework of planned research on the budget topic No. 123020700152-5 FMRS-2023-0008 "Sustainability of forest-forming tree species and ecological and biological adaptations taking into account anthropogenic transformation of landscape and natural complexes".

For citation: Tagirova O. V., Ivanov R. S., Kulagin A. Y. Seasonal Dynamics of the Chlorophyll Content in the Leaves of Silver Birch (*Betula Pendula* Roth) under Conditions of Industrial Pollution. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(3):55–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.55>; EDN: PRXZRD

REFERENCES

1. Tagirova O. V., Kulagin A. Yu. Characteristics of the state of tree plantations as a landscape component of the socio-ecological complex of the town of Kumertau (Republic of Bashkortostan). *Occupational Medicine and Human Ecology*. 2024;(1):211–229. DOI: 10.24412/2411-3794-2024-10113; EDN: NMYDOH (In Russ.).
2. Kulagin Yu. Z. Forest-forming species, technogenesis, forecasting. *Monograph*. Moscow: Nauka Publ.; 1980. 116 p. EDN: VZNMCM (In Russ.).
3. Demakov Yu. P. The influence of environmental factors on the growth of trees in the pine forests of the Republic of Mari El. *Monograph*. Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology; 2023. 480 p. EDN: QIZGAG (In Russ.).
4. Kulagin Yu. Z. Woody plants and industrial environment. *Monograph*. Moscow: Nauka Publ., 1974. 124 p. EDN: VZNMCM (In Russ.).
5. Makhnev A. K., Mamaev S. A. Intraspecific variation of birche in the Urals in relation to problems of the systematics of the genus. In: *Patterns of intraspecific variability of deciduous tree species*. Collection of articles. Sverdlovsk: Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences; 1975. 142 p. Pp. 67–77. EDN: WIPDTR (In Russ.).
6. Yashin D. A., Zaitsev G. A. The maintenance of photosynthesis pigments in leaves of European white birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of industrial pollution. *Izvestia Ufimskogo Nauchnogo Tsentra RAN (Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre)*. 2015;(4-1):193–196. EDN: UXPIYJ (In Russ.).
7. Stasova V. V., Skripal'shchikova L. N., Astrakhanseva N. V. et al. Photosynthetic pigments in silver birch leaves with technogenic load. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2023;(3(393)): 35–47. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-35-47; EDN: JEZUIF (In Russ.).
8. Erofeeva E. A., Gelashvili D. B., Kuznetsov M. D. et al. The effect of traffic-related air pollution on the physiological and biochemical parameters of *Tilia cordata* Mill. and *Betula pendula* Roth. leaf. *Ecology of Urban Areas*. 2023;(2):55–60. DOI: 10.24412/1816-1863-2023-2-55-60; EDN: XEQAPC (In Russ.).
9. Zavoruyeva E. N., Zavoruyev V. V. Dynamics of fluorescence and chlorophyll concentrations in the birch leaves growing near the roads. *The Bulletin of KrasGAU*. 2010;(9(48)):129–133. EDN: MUPWIR (In Russ.).
10. Gilyazova A. R., Sadikova L. V., Fakhrutdinova A. S. et al. Study of the content of photosynthetic pigments in the leaves of the birch (*Betula pendula* Roth) in the conditions of anthropogenic stress. In: *Advanced Science: paper collection of the 7th International scientific and practical conference* (Penza, April 12, 2019). Penza: Science and Education (IP Gulyaev G. Yu.), 2019. 232 p. Pp. 21–24. (In Russ.).
11. Neverova O. A., Bykov A. A. The assessment of adaptive potential of *Betula pendula* Roth. in the conditions of prevailing influence by emissions of the industrial zone of Kemerovo City. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(2-1): Art. 551. EDN: UHXEUP (In Russ.).
12. Giniyatullin R. H., Tagirova O. V., Ivanov R. S. et al. Seasonal dynamics of changes in the content of photosynthetic pigments in leaves of the birch *Betula pendula* Roth. in the conditions of the Sterlitamak Industrial Center. *Biosfera*. 2023;15(3):285–291. DOI: 10.24855/biosfera.v15i3.831; EDN: MBUNEW (In Russ.).
13. Samusik E. A., Golovatyi S. E. Reaction of the pigment system woody plants for gas and dust pollution. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2023;(2):78–86. DOI: 10.46646/2521-683X/2023-2-78-86; EDN: OUAVZP (In Russ.).
14. Belova T. A., Krasnopitseva A. N. Physiological bases of adaptation of the pigment system of woody plants to the conditions of the light climate of the urban environment. *Auditorium*. 2016;(4(12)):10–13. EDN: XESTDH (In Russ.).
15. Peguero-Pina J. J., Morales F., Gil-Pelegrín E. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma. *Annals of Forest Science*. 2008;65(8): Art. 813. DOI: 10.1051/forest:2008068
16. Voskresenskaya O. L., Voskresenskii V. S., Sarbaeva E. V. et al. Influence of ultraviolet radiation and microclimate parameters on the pigment count in leaves *Betula pendula* growing in urban conditions. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2014;(3):39–45. EDN: THPQZR (In Russ.).
17. Chukuridi S. S., Savenko A. V., Grekova I. V. Decorative leaves of flowering shrubs of the genus *Weigela Thunb.* and the genus *Philadelphus L.* due to the dynamics of photosynthetic pigments in the conditions of Krasnodar. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2022;18(1):67–72. EDN: BOIDMQ (In Russ.).
18. Babaev R. N., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Multiparameter analysis of the pigment composition of the leaf apparatus of representatives of the genus Birch (*Betula L.*). *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2023;(3(59)):42–54. DOI: 10.25686/2306-2827.2023.3.42; EDN: KYAFPT (In Russ.).
19. Kulagin A. Yu., Tagirova O. V. Forest stands of the Ufa industrial center: current state in the conditions of anthropogenic influences. *Monograph*. Ufa: Gilem Publ.; 2015. 196 p. EDN: VNAYOH (In Russ.).
20. Guderian R. Air Pollution. Transl. from English by N. S. Gelman; G. M. Ilkun (Ed.). Moscow: Mir; 1979. 200 p. (In Russ.).

21. Runova E. M., Kostromina O. A. Estimation of a damage rate of leaves of a birch and aspen in zones with various technogenic loading. *Actual problems of the forest complex*. 2006;(13):230–232. EDN: TZSMAF (In Russ.).

The article was submitted 24.05.2024; approved after reviewing 02.09.2024; accepted for publication 20.09.2024

Information about the authors

Olesya V. Tagirova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UIB UFRC RAS), Laboratory of Forestry. Research interests – forestry, reforestation, protective afforestation, landscaping of settlements, environmental expertise. Author of 194 scientific publications including one monograph. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1615-7005>; SPIN: 2439-1378

Ruslan S. Ivanov – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UIB UFRC RAS), Laboratory of Plant Physiology. Research interests – plant physiology, productivity, plant resistance, plant hormones. Author of 118 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1251-8336>; SPIN: 4215-7491

Alexey Yu. Kulagin – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Forestry, Ufa Institute of Biology – Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (UIB UFRC RAS). Research interests – forestry, reforestation, protective afforestation, landscaping of settlements, environmental assessment. Author of 519 scientific publications including 12 monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7574-4547>; SPIN: 2468-8394

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the paper preparation.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.
All authors read and approved the final manuscript.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

Научная статья

УДК 630*3

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.71>

EDN: GYFJVE

Устройства для кольцевания деревьев при рубках ухода в молодняках

Е. М. Царёв, К. П. Рукомойников[✉], И. С. Анисимов, Н. С. Анисимов, В. Е. Макаров

Поволжский государственный технологический университет,

Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

RukomojnikovKP@volgatech.net [✉]

Аннотация. *Введение.* Уход за молодняком – важнейший этап лесовыращивания, обеспечивающий продуктивность древостоев. В период от осветления до прочистки необходимо обеспечить достаточное пространство для роста деревьев и учитывать конкуренцию между различными видами в лиственно-хвойном лесу. При использовании одного вида и метода рубки можно ослабить или устранить конкуренцию с помощью различных методов воздействия на нежелательные породы: оставление пней нужной высоты, обезвершинивание, кольцевание стволов, химическое уничтожение и обрезка кроны деревьев. Особое внимание уделено кольцеванию деревьев, подлежащих удалению. Рассмотрены устройства для кольцевания деревьев с указанием их недостатков. *Актуальность темы.* Большой интерес представляют направления по совершенствованию и модернизации устройств для кольцевания деревьев, предусматривающие простоту конструкций и высокую производительность работы за счёт увеличения диапазона диаметров окольцовываемых деревьев. *Целью* исследования является конструктивная проработка вариантов механизмов для кольцевания деревьев и усыхания их на корню. *Объекты и методы исследования.* Исследуемые объекты – конструкции устройств для кольцевания деревьев. Использовался метод поиска с проведением обзора существующих конструкций кольцевания деревьев, их анализа, сравнения, обобщения и конкретизации с выявлением аналогов и прототипов. *Результаты.* Предложено несколько конструкций для кольцевания деревьев, подлежащих удалению. Среди них пружинное, передвижное и цепное устройства для кольцевания. Подробно описаны конструкции устройств и принципы их использования. *Выводы.* Разработанные механизмы позволяют расширить выбор конструктивных вариантов устройств для кольцевания. Новизна представленных в статье механизмов подтверждена патентами РФ. Все разработанные варианты характеризуются возможностью широкого варьирования диапазонов диаметров обрабатываемых деревьев, мобильностью и простотой конструкции. Использование предложенных механизмов обеспечивает низкую утомляемость рабочих при кольцевании и перемещении между обрабатываемыми деревьями.

Ключевые слова: древостой; нежелательные древесные породы; простота конструкции; усыхание; патент

Финансирование: авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Для цитирования: Царёв Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов И. С., Анисимов Н. С., Макаров В. Е. Устройства для кольцевания деревьев при рубках ухода в молодняках // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3 (63). С. 71–81. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.71>; EDN: GYFJVE

Введение

Уход за молодняком – важнейший этап лесовыращивания, обеспечивающий продуктивность выращиваемых древостоев. Во время периода от осветления до прочистки, когда хвойные деревья находятся в конкуренции с лиственными деревьями, условия роста выращиваемых деревьев ухудшаются. Все лесохозяйственные операции, осуществляемые на протяжении этого периода, направлены на развитие и рост молодых деревьев [1–4].

Необходимо обеспечить достаточное пространство для роста деревьев и учитывать последствия конкуренции между различными их видами в смешанном древостое [5–9].

При использовании выборочного метода ухода в молодых насаждениях можно использовать [10–12]:

- 1) традиционную рубку;
- 2) обезвершинивание деревьев;
- 3) кольцевание стволов деревьев;
- 4) химический метод.

С коридорным подходом к уходу, в дополнение к химическому и традиционному методам, используется метод кронокошения [13].

Умерщвление отдельных деревьев можно проводить и механическим путём, например кольцеванием. Кольцевание представляет собой нанесение кольцевых надразов камбиального слоя на растущих стволах деревьев. В результате деревья засыхают. Кольцевание деревьев проводится в любое время года [14].

Впервые кольцевание упоминалось в XIX веке [15, с. 795]:

1) по наставлениям графа Канкрина, в 1830 году кора срезалась в форме колец вокруг ствола дерева. Целью являлось усыхание или умерщвление деревьев на корню;

2) в приусадебных хозяйствах, и, в частности, на виноградных плантациях, используются различные методы, замедляющие рост самих растений и в особенности их веток. Это помогает формировать цветочные почки и обеспечивать

скорое развитие и созревание плодов, которые уже успели завязаться;

3) в борьбе с некоторыми насекомыми, вредными для леса и сада;

4) кольцевание деревьев дятлами – это способ продавливания коры и повреждения молодой древесины деревьев птицами.

Предложенный в 1929 году лесничим Б. П. Гаврисем способ кольцевания стволов стал одним из первых, использующий ручной кольцеватель с целью уничтожения мелколиственных пород деревьев. Поворотом рукоятки на 180 градусов четырьмя резцами срезаются две полосы коры с древесиной [16].

Позднее создавались новые конструкции устройств для кольцевания деревьев.

В 1971 году И. С. Марченко разработал кольцеватели с поворотным механизмом. При работе с ними необходимо их повернуть на 30–45 градусов относительно горизонтали [17].

Кольцеватель БТИ-1Б предназначен для нанесения кольцевых порезов на стволах удаляемых деревьев. Его конструкция состоит из шарнирно соединённых двух частей, включает стойку, регулировочный паз, рукоятку и стопорный винт. Зубья кольцевателя проникают в кору и древесину с минимальными усилиями. Поворачиваясь в горизонтальной плоскости, зубья снимают тонкую полоску коры шириной 8...30 мм. Это позволяет кольцевателю БТИ-2 обрабатывать деревья диаметром до 8 см.

Недостаток данного устройства – низкая производительность из-за необходимости фиксации рабочих органов на стволе растущего дерева после внедрения их зубцами в кору на определённую глубину при помощи стопорного винта. При этом незначительная часть деревьев погибает уже в первый же вегетационный период, но большинство деревьев выживают и до второго, а в некоторых случаях и до третьего вегетационного периода.

Существуют механизмы для обработки деревьев, оснащённые бензопилой с ограничителем глубины пропила на шине

и шкалой с делениями, определяющими глубину пропила для каждого конкретного дерева [18, 19]. Такие конструкции включают в себя режущий инструмент, устройство для ограничения глубины реза, упор и механизм привода режущего инструмента. Ограничитель глубины реза имеет полу форму полуцилиндра, внутри которой находится режущий инструмент [20].

Основным недостатком этих устройств является громоздкость конструкции.

Для кольцевания деревьев было разработано техническое решение, которое включает в себя стойку с подвижными рычагами трубчатого сечения. В передней их части закреплены режущие органы, приводные в работу от гибких валов за счёт редуктора [21].

Существует техническое решение для кольцевания деревьев, оснащённое рамой, на которой установлены трубчатые раздвижные рычаги. В передней части каждого рычага находится режущий инструмент, приводимый в действие гибким валом и системой зубчатых передач (редуктором) для приведения вала в движение. Однако устройство обладает низкой производительностью, поскольку диаметр деревьев для кольцевания ограничен размером рычагов, охватывающих ствол деревьев.

Актуальность темы обусловлена тем, что подсушка деревьев механическим кольцеванием перед рубкой в настоящее время не получила широкого распространения в первую очередь из-за трудоёмкости ведения работ существующими устройствами. В связи с этим большой интерес представляют направления по совершенствованию и модернизации устройств для кольцевания деревьев, предусматривающие простоту конструкций и высокую производительность работы за счёт увеличения диапазона диаметров окольцовываемых деревьев.

Целью исследований является конструктивная проработка вариантов механизмов для кольцевания деревьев и усыхания их на корню.

Объекты и методы исследования

Исследуемые объекты – это конструкции устройств для кольцевания деревьев. Использовался метод поиска с проведением обзора существующих конструкций кольцевания деревьев, их анализа, сравнения, обобщения и конкретизации с выявлением аналогов и прототипов.

На основе этого было определено несколько перспективных вариантов модернизации устройств для кольцевания для упрощения обработки древесных насаждений, подлежащих удалению.

Результаты и их обсуждение

Разработан ряд модернизированных устройств для кольцевания стволов деревьев, подлежащих удалению.

Одно из таких устройств представлено на рис. 1 [22].

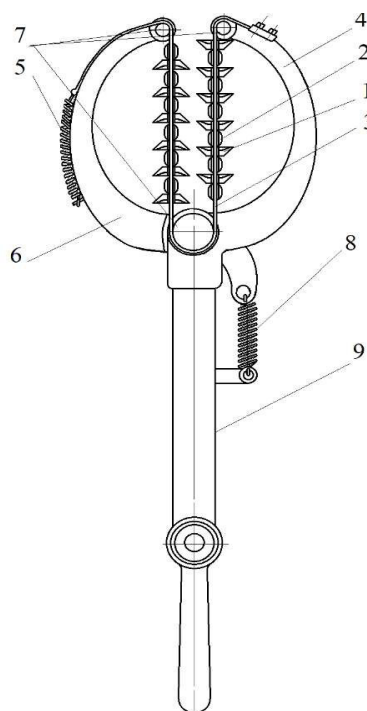


Рис. 1. Пружинящее устройство для кольцевания деревьев: 1 – режущий орган, 2 – цилиндрические вставки, 3 – гибкий канат, 4 – неподвижный зажимной рычаг, 5 – натяжная пружина, 6 – подвижный зажимной рычаг, 7 – блок, 8 – прижимная пружина, 9 – рукоятка
Fig. 1. Spring-loaded device for tree ringing: 1 – cutting body, 2 – cylindrical inserts, 3 – flexible rope, 4 – fixed clamping lever, 5 – tension spring, 6 – movable clamping lever, 7 – block, 8 – clamping spring, 9 – handle

Данное ручное устройство имеет режущий орган, состоящий из дискообразных фрез 1 с цилиндрическими вставками 2 между ними. Все эти фрезы 1 закреплены на эластичном канате 3. Один конец каната 3 плотно прикреплен к неподвижному зажимному рычагу 4, а другой конец соединен с пружинящим натяжным устройством 5. Это пружинящее устройство 5 прикреплено к подвижному зажимному рычагу 6.

Канат 3, огибающий блоки 7, закреплен одним концом на подвижном рычаге 6, а другим – на неподвижном рычаге 4. Данные рычаги 4 и 6 шарнирно соединены между собой. Пружина 8 прикреплена одним концом к подвижному рычагу 6, а другим концом соединена с рукояткой 9 неподвижного рычага 4.

Устройство работает следующим образом (рис. 2). Режущий орган подносят к дереву 10. Преодолевая усилия пружин 5 и 8, происходит внедрение дерева во внутреннее пространство между зажимными рычагами 4 и 6.

При этом режущий орган охватывает дерево, прижимая тарельчатые резцы 1. При повороте устройства на 180 градусов против часовой стрелки происходит срезание коры. Если срезание произошло неполное, то устройство необходимо вернуть в исходное положение и повторить срезание. Таким образом производят полное кольцевание деревьев для подсушки их на корню.

Другое предлагаемое авторами устройство для кольцевания стволов деревьев показано на рис. 3 [23]. Это устройство имеет раму 1, поддерживаемую ходовыми колёсами 2. В задней части рамы 2 жёстко закреплена П-образная направляющая 3. Перед направляющей рейкой 3 при помощи шарнирных соединений 4 закреплены зажимные рычаги с режущими органами в количестве двух штук. Они представлены пильными цепями 5, огибающими звёздочки 6, выполняющие роль

направляющих. Звёздочки 6 установлены в передней части стержней 7.

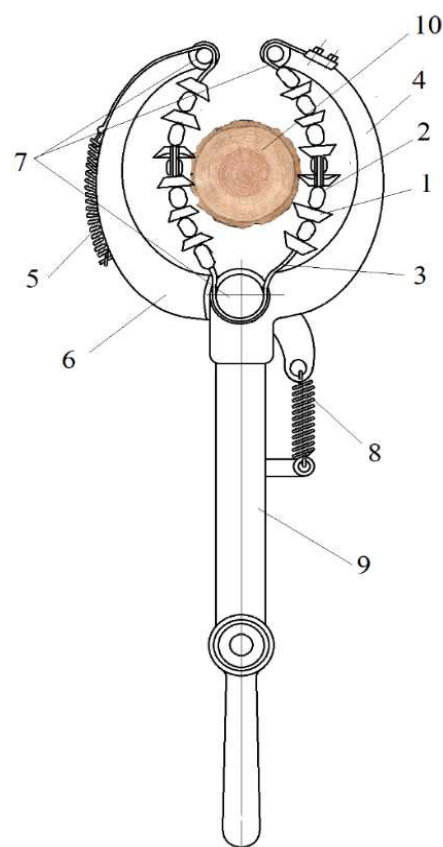


Рис. 2. Взаимодействие пружинящего устройства для кольцевания с деревом, подлежащим удалению: 1 – режущий орган, 2 – цилиндрические вставки, 3 – гибкий канат, 4 – неподвижный зажимной рычаг, 5 – натяжная пружина, 6 – подвижный зажимной рычаг, 7 – блок, 8 – прижимная пружина, 9 – корпус, 10 – дерево
Fig. 2. Interaction of the spring-loaded device for tree ringing with the tree to be removed: 1 – cutting body, 2 – cylindrical inserts, 3 – flexible rope, 4 – fixed clamping lever, 5 – tension spring, 6 – movable clamping lever, 7 – block, 8 – clamping spring, 9 – housing, 10 – tree

Одним концом режущие органы в виде пильных цепей 5 жёстко зафиксированы на центральной планке 8 рамы 1. Другие концы зафиксированы с помощью пружин 10 на боковых планках 9 стержней 7. В то же время боковые 9 и центральная 8 планки соединены между собой пружинами 11.

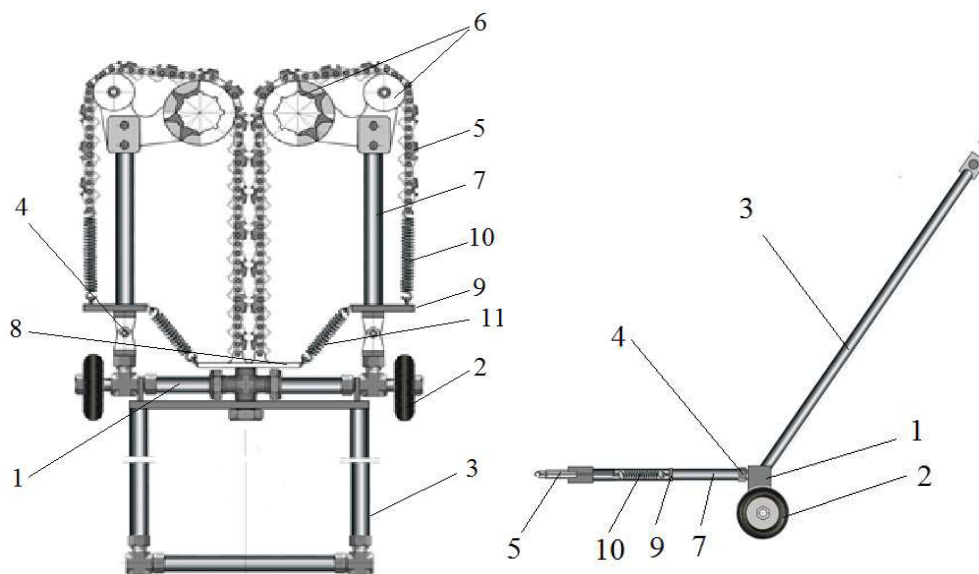


Рис. 3. Передвижное устройство для кольцевания деревьев: 1 – рама, 2 – ходовые колёса, 3 – направляющая П-образной формы, 4 – шарниры, 5 – пильные цепи, 6 – звёздочки, 7 – стяжки, 8 – центральная планка, 9 – боковые планки, 10, 11 – пружины

Fig. 3. Mobile device for tree ringing: 1 – frame, 2 – running wheels, 3 – U-shaped guide, 4 – hinges, 5 – saw chains, 6 – sprockets, 7 – ties, 8 – central bar, 9 – side bars, 10, 11 – springs

Устройство работает следующим образом (рис 4). Режущий орган подводят к растущему дереву 12. Далее, преодолевая усилия пружин 10 и 11, происходит внедрение дерева во внутреннее пространство между пильными цепями 5. При этом режущие органы охватывают дерево 12. При повороте устройства на 180 градусов происходит срезание коры. Если срезание произошло неполное, то устройство необходимо вернуть в исходное положение и повторить срезание. Таким образом производят полное кольцевание деревьев для подсушки их на корню.

Цепное устройство для кольцевания деревьев (рис. 5) создано на основе использования пильной цепи 1 для поперечной распиловки (например, пильные цепи марок ПЦП или ПЦУ) и имеет две ручки 2, которые прочно прикреплены к свободным концам цепной пилы [24].

Пильная цепь 1 огибает ствол дерева 3, подлежащего удалению, как показано на рис. 6. Экспериментальный образец данного устройства представлен на рис. 7.

После чего оператор перемещает рукоятки 2 вперёд и назад, что приводит в дви-

жение пильную цепь 1. Зубья пильной цепи врезаются в ствол дерева, делая надрез.

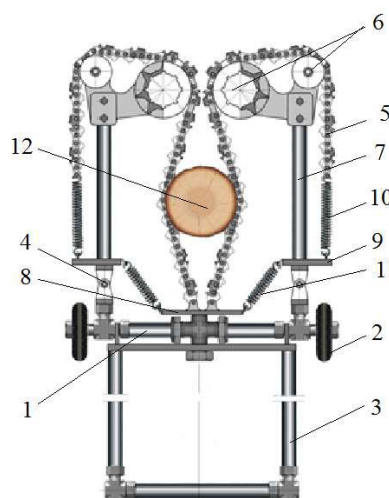


Рис. 4. Взаимодействие передвижного устройства для кольцевания с деревом, подлежащим удалению: 1 – рама, 2 – ходовые колёса, 3 – направляющая П-образной формы, 4 – шарниры, 5 – пильные цепи, 6 – звёздочки, 7 – стяжки, 8 – центральная планка, 9 – боковые планки, 10, 11 – пружины, 12 – дерево

Fig. 4. Interaction of the mobile device for tree ringing with a tree to be removed: 1 – frame, 2 – running wheels, 3 – U-shaped guide, 4 – hinges, 5 – saw chains, 6 – sprockets, 7 – ties, 8 – central bar, 9 – side bars, 10, 11 – springs, 12 – tree



Рис. 5. Цепное устройство для кольцевания деревьев: 1 – режущий орган, 2 – рукоятки
 Fig. 5. Chain device for tree ringing: 1 – cutting body, 2 – handles

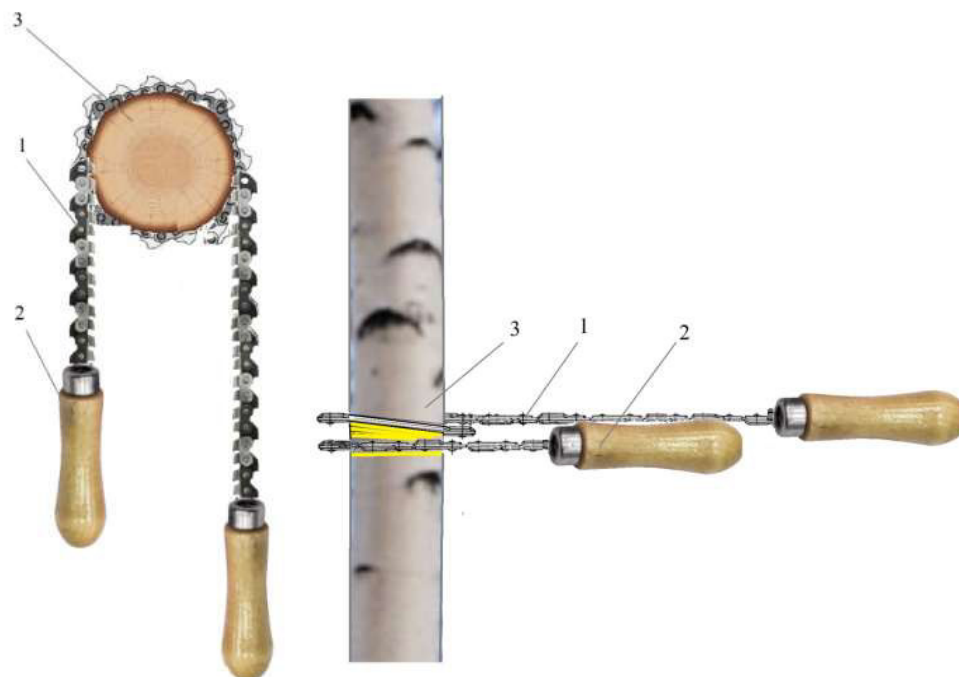


Рис. 6. Взаимодействие цепного устройства для кольцевания с деревом, подлежащим удалению:
 1 – режущий орган, 2 – рукоятки, 3 – растущее дерево
 Fig. 6. Interaction of the chain device for tree ringing with the tree to be removed:
 1 – cutting body, 2 – handles, 3 – growing tree



Рис. 7. Экспериментальный образец цепного устройства для кольцевания деревьев на основе пильной цепи ПЦУ-10,26
 Fig. 7. An experimental sample of the chain device for tree ringing based on a saw chain PCU-10.26

Выводы

В ходе работы над поставленной задачей вниманию специалистов, исследователей научных и производственных организаций предложен ряд новых конструктивных решений для кольцевания растущих деревьев, подлежащих удалению. Разработанные механизмы позволяют расширить выбор конструктивных вариантов устройств для кольцевания. Новизна

представленных в статье механизмов подтверждена патентами РФ. Все разработанные варианты характеризуются возможностью широкого варьирования диапазонов диаметров обрабатываемых деревьев, мобильностью и простотой конструкции. Использование предложенных механизмов обеспечивает низкую утомляемость рабочих при кольцевании и перемещении между обрабатываемыми деревьями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сакса Т., Мийна Я., Уотила К. Уход за молодняками: цели, технологии и затраты / пер. Л. Лейнонен. Хельсинки, Финляндия: Метякустаннус, Институт природных ресурсов Финляндии (Luke), 2020, 128 с.
2. Ackzell L. Natural regeneration on planted clear-cuts in boreal Sweden // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1994. Vol. 9, iss. 1–4. Pp. 245–250. DOI: 10.1080/02827589409382837
3. Ulvcróna K. A. Effects of silvicultural treatments in young Scots pine-dominated stands on the potential for early biofuel harvests. Doctoral thesis // *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. 2011. No. 79. 64 p.
4. The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris* / K. A. Ulvcróna, S. Claesson, K. Sahlén et al. // *Forestry*. 2007. Vol. 80, iss. 3. Pp. 323–335. DOI: 10.1093/forestry/cpm011
5. Рубки ухода в производных мягколиственных молодняках как способ формирования сосняков на Южном Урале / С. В. Залесов, Н. А. Луганский, В. А. Бережнов и др. // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2013. № 4 (28). С. 118–121. EDN: RUVOBV
6. Дебков Н. М. Нужны ли рубки ухода в сосновых молодняках в типичных для них условиях местопроизрастания? // *Сибирский лесной журнал*. 2020. № 1. С. 28–37. DOI: 10.15372/SJFS20200103; EDN: NCIDDS
7. Проблемы воспроизводства сосновых лесов Среднего Поволжья / С. А. Денисов, К. К. Калинин, В. П. Бессчетнов и др. // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1 (14). С. 12–23. EDN: OXAXKJ
8. Коротков В. Концепция восстановления разновозрастных полидоминантных хвойно-широколиственных лесов восточной Европы // *Устойчивое лесопользование*. 2016. № 3 (47). С. 2–7. EDN: XOGQSL
9. Денисов С. А., Домрачев А. А., Елсуков А. С. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 34–46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34; EDN: UZTND
10. Цытилев С. В., Дружинин Ф. Н. Апробация различных способов рубок ухода в молодняках // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVIII Международной научно-технической конференции*, Вологда, 01 декабря 2020. Вологда: Вологодский государственный университет, 2020. 262 с. С. 109–111. EDN: IHOXWX
11. Данилов Д. А., Ицук Т. А. Оценка конкурентных взаимоотношений сосны и ели в смешанных древостоях черничного типа леса, пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом // *Системы. Методы. Технологии*. 2013. № 1 (17). С. 176–181. EDN: RTJGXZ
12. Совершенствование технологии химического ухода в лесонасаждениях / Е. М. Царев, К. П. Рукомойников, С. Е. Анисимов и др. // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2023. № 4 (394). С. 190–201. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-190-201; EDN: HPFBLN
13. Сахроиён З., Камонгар С., Мувахид А. Оценка и рациональное использование почвенно-растительных ресурсов мегаполисов с помощью географической информационной системы (ГИС) (на примере города Джахрум, Иран) // *Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук*. 2013. № 1/3 (110). С. 233–244. EDN: VXXWAN
14. Совершенствование химического метода подсушки нежелательных деревьев при уходе за лесом / Б. Е. Чижов, В. А. Штоль, М. В. Герасимова и др. // *Лесохозяйственная информация*. 2015. № 1. С. 42–49. EDN: TXKXGN
15. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: Том XVA (30). Коала – Конкордия / под ред. К. К. Арсеньева, Е. Е. Петрушевского. СПб: Семеновская Типолитграфия (И. А. Ефрона), 1895. 500 с.
16. Костин П. И. Виды рубок ухода за лесом // *Вестник науки и образования*. 2021. № 11-1 (114). С. 33–35. EDN: DVUPVY

17. Авторское свидетельство № 419202 СССР, МПК А01G 7.06. Приспособление для кольцевания деревьев / Марченко И. С., заявитель и патентообладатель Брянский технологический институт, заявл. 16.12.1971, опубл. 15.03.1974. Бюл. № 10.

18. Авторское свидетельство № 156798 СССР, МПК В27b; 38a, 11. Механическая цепная пила для кольцевания древесины / Сарайкин Ю. Д., Комордин В. Ф., заявитель и патентообладатель Сарайкин Ю. Д., Комордин В. Ф., заявл. 22.12.1961, опубл. 1963. Бюл. № 16.

19. Авторское свидетельство № 159349 СССР, МПК А01G, В27В. Механическая пила для кольцевания древесины / Сарайкин Ю. Д., заявитель и патентообладатель ВСНИПИЛЕСДРЕВ, заявл. 14.03.1963, опубл. 07.12.1963. Бюл. № 24.

20. Авторское свидетельство № 545303 СССР, МПК А01G 23/12, В27В 17/00. Устройство для кольцевания древесины / Шахов Е. Н., Амурцев А. Ф., заявитель и патентообладатель Всесоюзный научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заявл. 14.10.1975, опубл. 05.02.1977. Бюл. № 5.

21. Авторское свидетельство № 310631 СССР, МПК А01G 23/12. Устройство для кольцевания древесины / Гнездовский Э. В., Ларичев Л. Д., за-

явитель и патентообладатель Брянский завод «Лесхозмаш», заявл. 30.03.1970, опубл. 09.08.1971. Бюл. № 24.

22. Патент № 2685193 Российская Федерация, А01G 23/12, Устройство для кольцевания деревьев / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Конюхова Т. А., Мамаева А. А., Коновалова Ю. А., заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет, заявл. 21.05.2018, опубл. 16.04.2019. Бюл. № 11. EDN: ZDTBPN

23. Патент № 2728664 Российская Федерация, А01G 23/12, В27В 17/00 Устройство для кольцевания деревьев / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Рукомойников К. П., Конюхова Т. А., Коновалова Ю. А., Анисимов Н. С., Анисимов И. С., заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет, заявл. 26.12.2019, опубл. 30.07.2020. Бюл. № 22. EDN: EKLWKA

24. Патент № 2696109 Российская Федерация, А01G 23/00, А01G 23/12 Устройства для кольцевания деревьев / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Шарпов Е. С., Заболотский В. М., Конюхова Т. А., Коновалова Ю. А., Анисимов Н. С., Анисимов И. С., заявитель и патентообладатель Поволжский государственный технологический университет, заявл. 19.11.2018, опубл. 31.07.2019. Бюл. № 22. EDN: IEFNPA

Статья поступила в редакцию 17.05.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 24.09.2024

Информация об авторах

ЦАРЁВ Евгений Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – новые приборы и интеллектуальные производственные технологии, направленные на поиск путей развития химического ухода за лесом, лесопиления, манипуляторного оборудования и рабочих органов лесозаготовительных машин. Автор 400 научных публикаций, в том числе одной монографии, 148 патентов РФ на изобретения. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-3028>; SPIN-код: 3117-8576

РУКОМОЙНИКОВ Константин Павлович – доктор технических наук, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – технология и оборудование лесопромышленных производств. Автор 287 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>; SPIN-код: 9119-8261

АНИСИМОВ Илья Сергеевич – студент направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» кафедры эксплуатации машин и оборудования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – новые приборы и интеллектуальные производственные технологии, направленные на поиск путей развития химического ухода за лесом, агроинженерия. Автор 53 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9528-8988>; SPIN-код: 7951-9072

АНИСИМОВ Никита Сергеевич – студент направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» кафедры эксплуатации машин и оборудования, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – новые приборы и интеллектуальные производственные технологии, направленные на поиск путей развития химического ухода за лесом, агроинженерия. Автор 57 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8465-261X>; SPIN-код: 8848-6902

МАКАРОВ Владимир Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – механика технологических процессов. Автор 51 научной публикации. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2564-0832>; SPIN-код: 5076-2600

Вклад авторов:

Царёв Е.М. – идея и её разработка, патентный поиск.

Рукомойников К.П. – идея и её разработка, патентный поиск.

Анисимов И.С. – разработка конструкции, патентный поиск.

Анисимов Н.С. – разработка конструкции, патентный поиск.

Макаров В.Е. – патентный поиск, подготовка рукописи статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*3

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.71>

EDN: GYFJVE

Devices for Tree Ringing during Thinning in Young Forests

E. M. Tsarev, K. P. Rukomojnikov[✉], I. S. Anisimov, N. S. Anisimov, V. E. Makarov

Volga State University of Technology,

3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

RukomojnikovKP@volgatech.net ✉

Abstract. *Introduction.* Caring for young growth is the most important stage in forest cultivation, which ensures the productivity of forest stands. During the period from thinning to clearing, it is necessary to provide sufficient space for tree growth and take into account the competition between different species in the deciduous-coniferous forest. When using one kind and method of felling, it is possible to weaken or eliminate competition by means of various methods of influencing undesirable species, such as leaving stumps of the required height, de-topping, ring-barking of trunks, chemical destruction and pruning of tree crowns. Particular attention is paid to the ringing of trees subject to removal. Devices for tree ringing are considered, with their limitations indicated. Of great interest are the directions for improving and modernizing devices for tree ringing, providing for simple designs and high productivity by increasing the range of diameters of trees being ringed. *The purpose of the research* is the engineering study of variants of mechanisms for tree ringing with consequent tree drying in the standing state. *Objects and methods.* The objects of the study are designs of devices for ringbarking trees. The search method was used that involved conducting a review of existing tree ringing designs, their analysis, comparison, synthesis and specification with the identification of analogues and prototypes. *Results and discussion.* Several designs for ringing trees to be removed have been proposed. Among them are spring, mobile and chain ringing devices. The designs of the devices and the principles of their use have been described in detail. *Conclusion.* The developed mechanisms make it possible to expand the choice of design options for tree ringing devices. The novelty of the mechanisms presented in the article was confirmed by Russian patents. All the developed variants are characterized by the possibility of a wide variation of the diameter ranges of trees to be ringed, as well as by the mobility and simplicity of their designs. The use of the proposed mechanisms ensures lower fatigue of workers when ringing trees and moving between trees to be treated.

Keywords: forest stand; undesirable tree species; simplicity of design; drying out; patent

Funding: this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Tsarev E. M., Rukomojnikov K. P., Anisimov I. S., Anisimov N.S., Makarov V. E. Devices for Tree Ringing during Thinning in Young Forests. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(3):71–81. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.71>; EDN: GYFJVE

REFERENCES

1. Saksa T., Miina J., Uotila K. Caring for young forests: goals, technologies and costs. Transl. from Finnish by L. Leinonen. Helsinki: Metsäkustannus, Natural Resources Institute Finland (Luke); 2020. 128 p. (In Russ.).
2. Ackzell L. Natural regeneration on planted clear-cuts in boreal Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1994;9(1-4):245–250. DOI: 10.1080/02827589409382837
3. Ulvcróna K. A. Effects of silvicultural treatments in young Scots pine-dominated stands on the potential for early biofuel harvests. Doctoral thesis. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. 2011;(79). 64 p.
4. Ulvcróna K. A., Claesson S., Sahlén K. et al. The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*. *Forestry*. 2007;80(3): 323–335. DOI: 10.1093/forestry/cpm011
5. Zalesov S. V., Luganskiy N. A., Berezhnov V. A. et al. Improvement cuttings in secondary softwooded young growth as a method of pine stockings formation in the Southern Urals. *Vestnik of Bashkir State Agrarian University*. 2013;(4(28)):118–121. EDN: RUVOBB (In Russ.).
6. Debkov N. M. Do we need care thinning in young pine stands in their typical habitats? *Siberian Journal of Forest Science*. 2020;(1):28–37. DOI: 10.15372/SJFS20200103; EDN: NCIDDS (In Russ.).
7. Denisov S. A., Kalinin K. K., Besschetnov V. P. et al. Problem of pine forests regeneration in the Middle Volga region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2012;(1(14)):12–23. EDN: OXAXKJ (In Russ.).
8. Korotkov V. Concept of restoration of multi-aged polydominant coniferous-broad-leaved forests of Eastern Europe. *Sustainable Forest Management*. 2016;(3(47)):2–7. EDN: XOGQSL (In Russ.).
9. Denisov S. A., Domrachev A. A., Elsukov A. S. Quadcopter practical application for forest regeneration monitoring. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2016;(4(32)):32–46. DOI:10.15350/2306-2827.2016.4.34; EDN: UZTNDD (In Russ.).
10. Tsypilev S. V., Druzhinin F. N. Testing of various methods of thinning in young forests. In: *Current Issues of Forest Complex Development. Proceedings of the 18th International Scientific and Technical Conference* (Vologda, December 1, 2020). Vologda: Vologda State University; 2020. 262 p. Pp. 109–111. EDN: IHOXWX (In Russ.).
11. Danilov D. A., Ishchuk T. A. Competitive relationships in the pine-spruce stands undergone improvement thinning and complex forest care. *Systems. Methods. Technologies*. 2013;(1(17)):176–181. EDN: RTJGXZ (In Russ.).
12. Tsarev E. M., Rukomojnikov K. P., Anisimov S. E. et al. Improving chemical maintenance techniques in forest plantations. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*. 2023;(4(394)):190–201. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-190-201; EDN: HPFBLN (In Russ.).
13. Sahraeian Z., Kamangar S., Movahed A. Spatial analysis and urban green space site selection by using Geographic Information System (GIS) (case study: Jahrom City). *Bulletin of the Tajik National University. Series of Natural Sciences*. 2013;(1/3(110)):233–244. EDN: VXKWAN (In Tajik).
14. Chizov B. E., Shtol V. A., Gerasimova M. V. et al. Improvement of undesirable tree pre-drying chemical procedure in thinnings. *Forestry information*. 2015;(1):42–49. EDN: TXKXGN (In Russ.).
15. Encyclopedic dictionary of Brockhaus and Efron. Volume XVA (30). Koala – Concordia. K. K. Arsenyev, E. E. Petrushevsky (Eds.). Saint Petersburg: Semenovskaya Typolitography (I. A. Efron); 1895. 500 p. (In Russ.).
16. Kostin P. I. Types of logging of forest care. *Herald of Science and Education*. 2021;(11-1(114)): 33–35. EDN: DVUPVY (In Russ.).
17. Marchenko I. S. Device for ringing trees. USSR Inventor's Certificate No. 419202; 1974 (In Russ.).
18. Saraikin Yu. D., Komordin V. F. Mechanical chain saw for ringing trees. USSR Inventor's Certificate No. 156798; 1963 (In Russ.).
19. Saraikin Yu. D. Mechanical saw for ringing trees. USSR Inventor's Certificate No. 159349; 1963 (In Russ.).
20. Shakhov E. N., Amurtsev A. F. Device for ringing trees. USSR Inventor's Certificate No. 545303; 1977 (In Russ.).
21. Gnezdovsky E. V., Larichev L. D. Device for ringing trees. USSR Inventor's Certificate No. 310631; 1971 (In Russ.).
22. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Konyukhova T. A. et al. Device for tree ringing. Patent RF, no. 2685193; 2019. EDN: ZDTBPN (In Russ.).
23. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Rukomoinikov K. P. et al. Device for tree bark ringing. Patent RF, no. 2728664; 2020. EDN: EKLWKA (In Russ.).
24. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Sharapov E. S. et al. Devices for tree ringing. Patent RF, no. 2696109; 2019. EDN: IEFNPA (In Russ.).

The article was submitted 17.05.2024; approved after reviewing 10.09.2024;
accepted for publication 24.09.2024

Information about the authors

Evgeny M. Tsarev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Forestry and Chemical Technologies, Volga State University of Technology. Research interests – new devices and intelligent manufacturing technologies aimed at finding ways to develop chemical forest care, sawmilling and manipulator equipment and working bodies of logging machines. Author of 400 scientific publications including one monograph and 148 RF patents for inventions. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-3028>; SPIN: 3117-8576

Konstantin P. Rukomojnikov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Forestry and Chemical Technologies, Volga State University of Technology. Research interests – technology and equipment of timber industry. Author of 287 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>; SPIN: 9119-8261

Ilya S. Anisimov – student of the training direction 35.03.06 Agroengineering, Department of Operation of Machines and Equipment, Volga State University of Technology. Research interests – new devices and intelligent production technologies aimed at finding ways to develop chemical forest care, agroengineering. Author of 53 scientific papers. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9528-8988>; SPIN: 7951-9072

Nikita S. Anisimov – student of the training direction 35.03.06 Agroengineering, Department of Operation of Machines and Equipment, Volga State University of Technology. Research interests – new devices and intelligent production technologies aimed at finding ways to develop chemical forest care and agroengineering. Author of 57 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8465-261X>; SPIN: 8848-6902

Vladimir E. Makarov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Transport and Technological Machines, Volga State University of Technology. Research interests – mechanics of technological processes. Author of 51 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2564-0832>; SPIN: 5076-2600

Contribution of authors:

Tsarev E. M. – research idea and its development, patent search.

Rukomojnikov K. P. – research idea and its development, patent search.

Anisimov I. S. – design development, patent search.

Anisimov N. S. – design development, patent search.

Makarov V. E. – patent search, manuscript preparation.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

All authors read and approved the final manuscript.

**ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ
И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ.
БИОТЕХНОЛОГИИ
PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE
MANAGEMENT. BIOTECHNOLOGIES**

Научная статья

УДК 630*182.9:630*913:574:44

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.82>

EDN: UJSDSI

Прогноз радиоактивного загрязнения продукции сельского и лесного хозяйства на бывших сельскохозяйственных угодьях Брянской области

А. Н. Переволоцкий , Т. В. Переволоцкая, И. Е. Титов, О. А. Шубина

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
Российская Федерация, 249035, Обнинск, Киевское шоссе, д.1, к.1
forest_rad@mail.ru 

Аннотация. *Введение.* Радиоактивное загрязнение окружающей среды вследствие аварии на Чернобыльской АЭС повлекло за собой ограничения на ведение сельского хозяйства на значительной площади в России, Беларуси и на Украине. Несмотря на то, что после аварии прошло уже более 30 лет, ~16 тыс. га сельскохозяйственных угодий Брянской области продолжают оставаться в категории выведенных из пользования и проблема их рационального использования остаётся по-прежнему актуальной. *Цель* исследования – прогнозная оценка распределения бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения и группам почв, а также удельной активности ^{137}Cs в продукции сельского и лесного хозяйства при выращивании на этой территории. *Объекты и методы.* Прогнозная оценка распределения бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения и группам почв на 30 лет проведена на основе анализа информации, содержащейся в базе данных с результатами радиологического обследования бывших сельскохозяйственных угодий Брянской области. Прогноз содержания ^{137}Cs выполняли в некоторых видах продукции сельского (зерна озимой ржи, клубнях картофеля, молока) и лесного (усреднённой грибной корзине, окорённой и неокорённой древесине сосны обыкновенной и дуба черешчатого) хозяйства на основе коэффициентов перехода (пропорциональности). *Результаты.* Установлено, что в 2024 году ~46 % бывших сельскохозяйственных угодий на дерново-подзолистых почвах характеризуются плотностью загрязнения ^{137}Cs от 555 до 1480 кБк/м². К 2055 году в зону с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 185–555 кБк/м² перейдёт ~54 % угодий и в зону 37–185 кБк/м² ~16 %. Зерно озимой ржи, соответствующее допустимому нормативу на содержание ^{137}Cs , возможно получить на площади 2,3 тыс. га в 2024 году и 6,1 тыс. га в 2055 году. Выращивание картофеля и получение кормов для молочного скота с допустимым содержанием ^{137}Cs возможно на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах при плотности загрязнения ^{137}Cs <555 кБк/м² (3,8 тыс. га), а на легко- и среднесуглинистых – <1480 кБк/м² (5,7 тыс. га.). Лесные грибы продолжают оставаться критичным продуктом питания по содержанию ^{137}Cs и норматив на содержание этого радионуклида может быть превышен при плотности загрязнения дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвы ~37 кБк/м², а на суглинистых почвах – до 185 кБк/м². Одним из эффективных путей использования земель, выведенных из сельскохозяйственного пользования, является их передача в лесной фонд для последующей посадки лесных культур или содействию естественному лесовозобновлению.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение; удельная активность; радионуклиды; плотность загрязнения; продукты питания; грибы; древесина

Финансирование: работа выполнена согласно государственному заданию НИЦ Курчатовский институт – ВНИИРАЭ.

© Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В., Титов И. Е., Шубина О. А., 2024

Для цитирования: Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В., Титов И. Е., Шубина О. А. Прогноз радиоактивного загрязнения продукции сельского и лесного хозяйства на бывших сельскохозяйственных угодьях Брянской области // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 3(63). С. 82–93. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.82>; EDN: UJSDSI

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС вызвала масштабное радиоактивное загрязнение окружающей среды и повлекла за собой ограничение ведения сельскохозяйственного производства на обширных территориях Беларуси, России и Украины [1, 2]. На начальных этапах формирования радиационно-экологической обстановки на загрязнённых территориях актуализировались вопросы получения нормативно чистой продукции сельскохозяйственного производства [1]. Высокому уровню накопления радионуклидов в продукции во многом способствовало преобладание на этих территориях дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почв с низким содержанием гумуса и обменных оснований [3]. По этой причине с 1987 года в Брянской области началось поэтапное выведение из землепользования наиболее загрязнённых сельскохозяйственных угодий в хозяйствах Гордеевского, Злынковского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов. В дальнейшем, по мере прохождения автореабилитационных процессов, происходило снижение плотности загрязнения почвы, однако и спустя 30 лет после аварии ~16 тыс. га сельскохозяйственных угодий относились к категории выведенных из пользования [2]. Примерно 80 % земель имели плотность загрязнения почвы $^{137}\text{Cs} > 555 \text{ кБк/м}^2$, причём 57,6 % относились к пастбищам и сенокосам. По мере дальнейшего очищения природной среды от радионуклидов продолжают оставаться актуальными вопросы рационального использования бывших сельскохозяйственных угодий. В работах [2, 4] показана необходимость комплексного учёта радиологических и почвенно-экологических факторов при принятии решений о безопасном использовании бывших сельскохозяйственных угодий.

Как правило, основными вариантами дальнейшего использования этих земель являются [2, 5, 6]:

- возврат в хозяйственный оборот при возможности получения нормативно-чистой продукции и приемлемых дозах внешнего облучения работающих;

- передача в лесной фонд для последующего естественного лесовозобновления или создания лесных культур при невозможности получения продукции сельского хозяйства, соответствующей допустимым уровням;

- сохранение статуса выведенных из пользования земель при высоком уровне радиоактивного загрязнения и дозах внешнего облучения работающих. В этом случае возможно проведение мероприятий, содействующих естественному возобновлению леса.

Таким образом, **целью** настоящего исследования явилась прогнозная оценка распределения бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения и группам почв, а также удельной активности ^{137}Cs в продукции сельского и лесного хозяйства при выращивании на этой территории.

Объекты и методы

Оценка распределения бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения и группам почв проведена на основе анализа информации, содержащейся в базе данных¹ с результатами радиологического обследования бывших сельскохозяйственных угодий Брянской области. База данных содержит информацию об административной и хозяйственной принадлежности элементарных участков каждого угодья, плотности

¹ Шубина О. А., Титов Е. И. Электронный реестр земель с высоким уровнем радиоактивного загрязнения (ЭЛРЕВУЗ). Свидетельство о регистрации базы данных, № 2016620529 от 26.04.2016.

загрязнения почвы основным дозообразующим радионуклидом – ^{137}Cs , мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения, виду угодья, типу почвы, основным агрохимическим показателям на момент обследования в 2007–2010 гг. Согласно предварительному анализу, к категории выведенных из пользования относились сельскохозяйственные угодья общей площадью ~16 тыс. га с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs свыше 111 кБк/м². При этом, натурное обследование угодий свидетельствовало о наличии на ~10 % территории сформировавшейся древесно-кустарниковой растительности с преобладанием мягколиственных пород [2].

Прогнозную оценку плотности загрязнения почвы по каждому элементарному участку выполняли с учётом радиоактивного распада и миграции радионуклида ^{137}Cs за пределы корнеобитаемого слоя почвы:

$$A(t) = A(t_0) \cdot e^{-(\lambda_r + \lambda_s) \cdot T}, \quad (1)$$

где $A(t)$ – плотность загрязнения почвы элементарного участка ^{137}Cs на момент прогнозирования, кБк/м²; $A(t_0)$ – плотность загрязнения почвы ^{137}Cs на год проведения обследования, кБк/м²; λ_r – постоянная радиоактивного распада ^{137}Cs , 0,023 год⁻¹; λ_s – постоянная выноса радионуклида за пределы корнеобитаемого слоя, 0,046 год⁻¹ [7]; T – промежуток времени с момента обследования до составления прогноза, лет. Постоянная выноса радионуклида за пределы корнеобитаемого слоя почвы консервативно принимается постоянной для всех групп почв, на которых выращиваются сельскохозяйственные культуры.

Площади элементарных участков суммировали для каждого года прогнозирования по группам почв (дерново-подзолистой песчаной и супесчаной, суглинистой и глинистой, торфяно-болотной) и диапазонам плотности радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs

(37–185, 185–555, 555–1480 и более 1480 кБк/м²) согласно существующему зонированию территорий.

Прогнозную оценку содержания ^{137}Cs выполняли в некоторых видах продукции сельского (зерна озимой ржи, клубнях картофеля, молока) и лесного хозяйства. В последнем случае рассматривали усреднённую грибную корзину, используемую в пищевых целях, или так называемый «средний гриб» [8], а также неокорённую древесину сосны обыкновенной и дуба черешчатого при условии произрастания их на дерново-подзолистых песчаных и суглинистых почвах [2], соответственно.

Для граничных значений плотности загрязнения почвы в зонах радиоактивного загрязнения для года t рассчитывали прогнозируемую удельную активность ^{137}Cs в зерне озимой ржи, клубнях картофеля и неокорённой древесине:

$$SA_{i,j}(t) = A(t) \cdot Tf_{i,j}, \quad (2)$$

где $Tf_{i,j}$ – коэффициент перехода (пропорциональности) ^{137}Cs для продуктивной части i -й сельскохозяйственной культуры или неокорённой древесины, произрастающей на j -й группе почв (табл. 1) [2], 10⁻³ м²/кг. Коэффициент перехода принят постоянным, исходя из условия квазиравновесного распределения радионуклида в системе «почва–растение» [2, 9, 10].

Прогнозируемое содержание ^{137}Cs в молоке и усреднённой грибной корзине на год t рассчитывали с учётом динамики параметров накопления [8]:

$$SA_{i,j}(t) = A(t) \times e^{\lambda_r \cdot (t-1986)} \times Tf_{i,j}(1986) \times (a_{i,j} \cdot e^{-c_{i,j} \cdot (t-1986)}), \quad (3)$$

где $Tf_{i,j}(1986)$ – коэффициент перехода (пропорциональности) ^{137}Cs для молока или «среднего гриба», полученного для j -й группы почв на момент поступления радионуклидов в окружающую среду, 10⁻³ м²/кг (табл.1); $a_{i,j}$ и $c_{i,j}$ – коэффициенты для молока или «среднего гриба», собранных на j -й группе почв, отн. ед. и год⁻¹, соответственно.

Таблица 1. Коэффициенты перехода (пропорциональности) ^{137}Cs для видов продукции и численные значения параметров [2, 8]

Table 1. Transfer (proportionality) factors of ^{137}Cs for product types and numerical values of parameters [2, 8]

Вид продукции	Параметр	Группы почв		
		дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	дерново-подзолистые легко- и средне-суглинистые	торфяно-болотные
Зерно озимой ржи	Tf_{ij}	0,2	0,06	0,4
Клубни картофеля		0,1	0,05	0,3
Молоко	$Tf_{ij}(1986)$	7,5	2	10
	a_{ij}	0,12	0,12	0,045
	c_{ij}	0,0693	0,0693	0,0231
«Средний гриб»	$Tf_{ij}(1986)$	20	6	30
	a_{ij}	1		
	c_{ij}	0,0408		
Неокорённая древесина сосны	Tf_{ij}	5	-	-
Неокорённая древесина дуба	Tf_{ij}	-	1,5	-

При расчёте удельной активности ^{137}Cs в исследуемых видах продукции ($SA_{ij}(t)$) консервативно принимали коэффициент вариации (V) 50 % для всех коэффициентов перехода (пропорциональности) [11]. Соответственно, величину удельной активности ^{137}Cs приводили в виде $SA_{ij}(t) \pm \sigma_{SA}$ (σ_{SA} – стандартное отклонение рассчитанной удельной активности радионуклида), что позволило сформировать представление о диапазоне, в котором могут находиться исследуемые значения.

Рассчитанные удельные активности ^{137}Cs в продуктах питания сравнивали с нормативами: 40 Бк/кг для хлеба, 80 Бк/кг для клубней картофеля, 100 Бк/л для молока и 500 Бк/кг для свежих дикорастущих грибов.² Следует указать, что удельная активность ^{137}Cs в хлебе, как правило, в два раза меньше по сравнению с исходным сырьём – зерно озимой ржи, что позволяет консервативно оценить

возможность его заготовки для пищевого потребления.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время ~ 46 %, или около 7,4 тыс. га, загрязнённых земель относится к дерново-подзолистым песчаным, супесчаным и суглинистым почвам с плотностью загрязнения ^{137}Cs 555–1480 кБк/м² (табл. 2).

Площадь угодий в зоне 185–555 кБк/м² составляет 5,5 тыс. га, или ~ 35 %. Доля территорий на торфяно-болотных почвах относительно невелика – 12 %. По мере радиоактивного распада прогнозируется перераспределение угодий по зонам радиоактивного загрязнения. К 2040 году ожидается уменьшение в четыре раза площади территории с плотностью загрязнения >1480 кБк/м²: до 130 га, или <1 %. Около 8 тыс. га земель (~ 50 % всех земель) будет находиться в зоне 185–555 кБк/м², причём основная часть их представлена дерново-подзолистыми песчаными и супесчаными почвами (~ 5 тыс. га). Примерно на 3 тыс. га уменьшится площадь угодий в зоне 555–1480 кБк/м² (табл. 2).

² ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (с изменениями на 25 ноября 2022 года).

Таблица 2. Существующее и прогнозное распределение площади бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения и группам почв Брянской области

Table 2. Actual and predicted distribution of the area of former agricultural lands throughout zones of radioactive contamination and soil groups of the Bryansk Region

Плотность загрязнения ^{137}Cs , кБк/м ²	Группы почв		
	Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, га (%)	Дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые, га (%)	Торфяно-болотные, га (%)
2024 год			
37–185	211 (1,3)	99 (0,6)	–
185–555	3561 (22,4)	1974 (12,5)	858 (5,4)
555–1480	3743 (23,6)	3668 (23,1)	1004 (6,3)
>1480	543 (3,4)	210 (1,3)	18 (0,1)
2040 год			
37–185	477 (3)	268 (1,7)	–
185–555	4951 (31,1)	3131 (19,7)	1455 (9,2)
555–1480	2507 (15,8)	2552 (16,1)	407 (2,5)
>1480	123 (0,8)	–	18 (0,1)
2055 год			
37–185	1573 (9,9)	712 (4,5)	262 (1,6)
185–555	4793 (30,2)	3838 (24,2)	1328 (8,4)
555–1480	1692 (10,6)	1401 (8,8)	290 (1,8)
>1480	–	–	–

К 2055 году в зоне 555–1480 кБк/м² площадь бывших сельскохозяйственных земель уменьшится почти в два раза по сравнению с 2024 годом и составит ~ 3 тыс. га, или ~ 20 % от всей территории. Наибольшее количество бывших сельскохозяйственных угодий к 2055 году будет сосредоточено в зоне 185–555 кБк/м² (~ 8,6 тыс. га земель, или ~ 54 % от всей территории). Площадь сельскохозяйственных угодий в зоне 37–185 кБк/м² увеличится почти в семь раз по сравнению с 2024 годом, достигнув величины 2,5 тыс. га по всем группам почв. В целом же, увеличение площади бывших сельскохозяйственных угодий в этой зоне радиоактивного загрязнения является обнадеживающим для введения их в оборот при условии соответствия нормативному содержанию ^{137}Cs в продукции растениеводства и животноводства.

Прогнозируемая удельная активность ^{137}Cs в зерне озимой ржи и клубнях картофеля приведена в табл. 3. Как следует из представленных данных, наиболее ве-

роятно получение зерна озимой ржи с допустимым содержанием ^{137}Cs при выращивании на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах при плотности загрязнения < 185 кБк/м², а на легко- и среднесуглинистых – < 555 кБк/м². Таким образом, сопоставляя прогноз удельной активности ^{137}Cs в зерне и распределение бывших сельскохозяйственных угодий по зонам радиоактивного загрязнения, отметим, что в настоящее время зерно с допустимым содержанием радионуклида можно получить на общей площади 2,3; к 2040 году – на 3,9; а к 2055 году – 6,1 тыс. га.

Содержание ^{137}Cs в клубнях картофеля может соответствовать допустимому нормативу при выращивании на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах с плотностью загрязнения до 555, а для суглинистых – даже до 1480 кБк/м² (табл. 3). Соответственно, для первой группы почв допустимый норматив не будет превышен на 3,8 тыс. га в 2024 году и на 6,4 тыс. га в 2055 году.

Таблица 3. Прогнозируемая удельная активность ^{137}Cs в зерне озимой ржи и клубнях картофеля по [2]Table 3. Predicted specific activity of ^{137}Cs in winter rye grain and potato tubers according to [2]

Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	Группы почв		
	дерново- подзолистые песчаные и супесчаные	дерново- подзолистые легко- и средне- суглинистые	торфяные
Зерно ржи озимой			
37	7±4	2±1	15±8
185	37±18	11±6	74±7
555	111±55	33±17	222±111
1480	296±148	89±45	592±296
Клубни картофеля			
37	4±2	2±1	11±6
185	19±10	9±5	56±28
555	56±28	28±14	167±84
1480	148±74	74±37	444±222

На дерново-подзолистых суглинистых почвах выращивание картофеля возможно при плотности загрязнения < 1480 кБк/м², т. е. практически на всех выведенных из пользования угодьях в этой группе почв, что составляет 5,7 тыс. га. Оценка содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи и клубнях картофеля при выращивании на торфяно-болотных почвах свидетельствует о возможном соответствии допустимым нормативам при плотности загрязнения < 185 кБк/м², но, как правило, в этих условиях пропашные культуры возделывать не рекомендуется.

Содержание ^{137}Cs в молоке будет соответствовать допустимому нормативу при выращивании кормов для молочного скота на дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистых почвах независимо от её плотности загрязнения. В 2024 и 2040 гг. рекомендуется ограничить использование кормов, выращенных на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах при плотности загрязне-

ния ^{137}Cs 555 кБк/м². Это ограничение можно будет снять к 2055 году практически во всех зонах радиоактивного загрязнения.

Вместе с тем, в большинстве случаев кормопроизводство осуществляется на торфяно-болотных почвах, которым свойственна, с одной стороны, большая урожайность кормовых культур и естественных травостоев, а с другой – повышенное накопление ^{137}Cs зелёной массой. Соответственно, при использовании таких кормов превышение допустимого норматива по содержанию радиоцезия в молоке возможно в 2024 году при плотности загрязнения почвы 300 кБк/м² и 2055 году – 370 кБк/м². В 2055 году гарантировано получить молоко, соответствующее допустимому нормативу, можно только при использовании кормов, выращенных на торфяно-болотных почвах с плотностью загрязнения 37–185 кБк/м² на площади 262 га, или 1,6 % от всей территории (табл. 4).

Таблица 4. Прогнозируемая объёмная активность ^{137}Cs в молоке по [8]Table 4. Predicted volumetric activity of ^{137}Cs in milk according to [8]

Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	Группы почв		
	дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые	торфяно- болотные
2024 год			
37	5±3	<2	13±7
185	27±14	7±4	64±32
555	82±41	22±11	191±96
1480	217±109	58±26	502±251
2040 год			
37	3±1	<2	11±6
185	14±7	4±2	57±28
555	41±21	11±6	172±86
1480	108±56	29±15	453±227
2055 год			
37	<2	<2	10±5
185	7±4	2±1	52±26
555	21±11	5±3	155±78
1480	54±27	14±7	408±204

Лесные грибы продолжают оставаться критичным продуктом питания по накоплению ^{137}Cs , что подтверждается прогнозными расчётами (табл. 5). Так, в 2024 году норматив по содержанию радионуклида в усреднённой грибной корзине может быть превышен при плотности загрязнения дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвы ~ 37 кБк/м², а на суглинистых почвах – до 185 кБк/м². При этом превышение допустимого содержания ^{137}Cs в грибах могло бы наблюдаться на торфяно-болотных почвах даже в диапазоне плотно-

сти загрязнения 18–37 кБк/м², однако эти условия местопроизрастания не типичны. В целом же, тенденция наиболее высокого уровня загрязнения грибов прогнозируется и в последующие годы. При этом важно учесть, что накопление ^{137}Cs сильно накапливающими грибами (польский гриб, различные виды маслят) примерно в два раза больше по сравнению с усреднённой грибной корзиной, поэтому необходимо проведение обязательного радиометрического контроля при их заготовке даже на условно «чистой» территории < 37 кБк/м².

Таблица 5. Прогнозируемая удельная активность ^{137}Cs в усреднённой грибной корзине по [8]Table 5. Predicted specific activity of ^{137}Cs in the average mushroom basket according to [8]

Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	Группы почв		
	дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые	торфяно- болотные
2025 год			
37	371±185	111±56	557±279
185	1855±928	557±279	2783±1392
555	5566±2780	1670±835	8349±4175
2040 год			
37	285±142	85±43	427±213
185	1423±712	427±214	2134±1067
555	4268±2134	1280±640	6402±3201
2055 год			
37	218±109	65±33	327±164
185	1091±546	327±164	1636±818
555	3273±1637	982±491	4909±2455

Перевод бывших земель сельскохозяйственного назначения в лесной фонд рекомендуется при низком балле почвенного плодородия, зарастании древесно-кустарниковой растительностью и большой плотности радиоактивного загрязнения почвы, что определяет вероятность получения продукции с превышением допустимого содержания радионуклидов [2, 5, 6]. Одним из вариантов эффективно-го использования таких территорий является посадка лесных культур, поскольку до достижения спелости древостоя пройдёт не менее трёх периодов полураспада ^{137}Cs и это приведёт к снижению содержания радионуклида в компонентах лесного биогеоценоза почти на порядок [6]. При этом прогнозные расчёты свидетельствуют, что в типичных лесорастительных условиях при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне от 37 до 185 кБк/м² удельная активность неокорённой древесины дуба может достигать 280 Бк/кг и для сосны – 925 Бк/кг, а при 1480 кБк/м² – 2220 и 7400 Бк/кг соответственно (табл. 6). Отметим, что существующий нормативный документ³ определяет очень широкий спектр допустимой удельной активности радионуклидов в древесине в зависимости от её назначения. Ещё одна

важная особенность состоит в том, что в нормативном документе не оговаривается вид отпуска древесины с лесосеки (в окорённом или неокорённом виде). Соответственно, окорка древесины сосны может снизить её удельную активность в полтора, а для дуба – почти в три раза. В целом же, анализ площади выведенных из сельскохозяйственного пользования земель при различной плотности загрязнения почвы ^{137}Cs (табл. 2) и оценка достижения спелости древостоев (не менее 90 лет от момента посадки культур) свидетельствует о возможности получения древесины, соответствующей допустимым нормативам содержания радионуклида практически на всех бывших сельскохозяйственных угодьях, выведенных из оборота.

Таким образом, посадка лесных культур или содействие естественному лесовозобновлению может стать наиболее эффективным методом рационального использования выведенных из сельскохозяйственного пользования земель при загрязнении окружающей среды ^{137}Cs , а в случае загрязнения долгоживущими трансурановыми элементами – восстановления природных биогеоценозов в соответствии с природно-климатическими условиями загрязнённой территории.

Таблица 6. Прогнозируемая удельная активность ^{137}Cs в неокорённой древесине сосны и дуба по [2]

Table 6. Predicted specific activity of ^{137}Cs in the unbarked pine and oak wood according to [2]

Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²	Группы почв, древесная порода	
	дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, сосна	дерново-подзолистые легко- и среднесуглинистые, дуб
37	185±93	56±28
185	925±463	280±140
555	2775±1388	832±416
1480	7400±3700	2220±1100

³ СП 2.6.1.759-99. Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства.

Выводы

1. На основе анализа базы данных «Электронный реестр земель с высоким уровнем радиоактивного загрязнения (ЭЛРЕВУЗ)» выполнен прогноз распределения выведенных из оборота сельскохозяйственных угодий Брянской области по зонам радиоактивного загрязнения и типам почв на период до 2055 года, а также удельной активности ^{137}Cs в зерне озимой ржи, клубнях картофеля, молоке, усреднённой грибной корзине, неокорённой древесине сосны и дуба.

2. В 2024 году ~ 46 % бывших сельскохозяйственных угодий на дерново-подзолистых почвах характеризуются плотностью загрязнения ^{137}Cs от 555 до 1480 кБк/м². К 2055 году ~ 54 % угодий будет находиться в зоне с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 185–555 кБк/м² и ~ 16 % – 37–185 кБк/м², что позволяет предположить о потенциальной возможности их использования при соответствии продукции растениеводства и животноводства допустимым нормативам.

3. В настоящее время выращивание зерна озимой ржи, соответствующего нормативу по содержанию ^{137}Cs , возможно на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах с плотностью загрязнения ^{137}Cs <185 кБк/м², а на легко- и среднесуглинистых – <555 кБк/м², т. е. на площади 2,3 тыс. га. К 2040 году эта площадь увеличится до 3,9, а к 2055 году – 6,1 тыс. га. Выращивание картофеля возможно на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах при её плотно-

сти загрязнения ^{137}Cs <555 кБк/м², а на легко- и среднесуглинистых – <1480 кБк/м². Соответственно, к 2055 году примерно на 6 тыс. га этой группы почв прогнозируется возможность получения картофеля с допустимым содержанием ^{137}Cs .

4. Получение кормов для молочного скота, обеспечивающих допустимое содержание ^{137}Cs в молоке, возможно в 2024 году, при плотности загрязнения дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвы до 555 кБк/м² и до 1480 кБк/м² – на суглинистой, причём к 2055 году эти ограничения могут быть сняты для всех зон радиоактивного загрязнения.

5. Лесные грибы продолжают оставаться критичным продуктом питания по накоплению ^{137}Cs , норматив содержания радионуклида в усреднённой грибной корзине может быть превышен при плотности загрязнения дерново-подзолистой песчаной и супесчаной почвы ~ 37 кБк/м², а на суглинистых почвах – до 185 кБк/м².

6. Одним из эффективных путей использования выведенных из сельскохозяйственного оборота земель является их передача в лесной фонд для последующей посадки лесных культур или содействию естественному лесовозобновлению. В этом случае произойдет формирование естественных биогеоценозов, соответствующих природно-климатическим условиям исследуемой территории, а по достижению возраста спелости древостоев возможно получение древесины с допустимым содержанием радионуклидов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры: монография / Р. М. Алексахин, Л. А. Булдаков, В. А. Губанов и др.; под ред. Л. А. Ильина и В. А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с. EDN: YRWXNC

2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязнённых территорий: монография / В. С. Анисимов, С. А. Гераськин, И. В. Гешель и др.; под ред. Н. И. Санжаровой

и С. В. Фесенко. М.: РАН, 2018. 278 с. EDN: XUBZYT

3. Сельскохозяйственная радиоэкология / Р. М. Алексахин, А. В. Васильев, В. Г. Дикарев и др.; под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Корнеева. М.: Экология, 1992. 400 с.

4. Мерзлова О. А., Шанишеева Т. П. Комплексная оценка возможности возвращения в сельскохозяйственное производство земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению // Радиационная

биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58, № 5. С. 535–547. DOI: 10.1134/S0869803118050119; EDN: VKYOBV

5. Романов Г. Н. Ликвидация последствий радиационных аварий: справочное руководство. М.: ИздАТ, 1993. 336 с.

6. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации / В. А. Ипатьев, В. Ф. Багинский, И. М. Булавик и др.; под ред. В. А. Ипатьева. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 1999. 454 с.

7. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment (Safety Reports Series No. 19). Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001. 216 p.

8. МУ 2.6.1.3806-22. Прогноз доз облучения населения цезием-137 при его попадании в окружающую среду. Методические указания. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 9 с.

9. Behavior of Radionuclides in the Environment II: Chernobyl / Eds. A. Konoplev, K. Kato, S. Kalmykov. Singapore: Springer, 2020. 443 p. DOI: 10.1007/978-981-15-3568-0

10. Behavior of Radionuclides in the Environment III: Fukushima / Eds. K. Nanda, A. Konoplev, T. Wada. Singapore: Springer, 2022. 510 p. DOI: 10.1007/978-981-16-6799-2

11. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments (IAEA-TECDOC-1616). Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009. 616 p.

Статья поступила в редакцию 20.06.2024; одобрена после рецензирования 28.08.2024; принята к публикации 20.09.2024

Информация об авторах

ПЕРЕВОЛОЦКИЙ Александр Николаевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов – радиационная экология окружающей среды, расчётные методы дозиметрии. Автор 250 научных публикаций, в том числе четырёх монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-7609>; SPIN-код: 1469-3199

ПЕРЕВОЛОЦКАЯ Татьяна Витальевна – кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов – радиационная экология окружающей среды, расчётные методы дозиметрии. Автор 200 научных публикаций, в том числе двух монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-5536>; SPIN-код: 4562-3671

ТИТОВ Игорь Евгеньевич – научный сотрудник лаборатории математического моделирования и программно-информационного обеспечения, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов – радиационная экология окружающей среды, геоинформатика. Автор 200 научных публикаций, в том числе четырёх монографий. SPIN-код: 2589-2233

ШУБИНА Ольга Андреевна – кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов – радиационная экология окружающей среды, методы реабилитации радиоактивно загрязнённых территорий. Автор 250 научных публикаций, в том числе четырёх монографий. SPIN-код: 7036-8172

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630*182.9:630*913:574:44

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.82>

EDN: UJSDSI

Forecast of Radioactive Contamination of Agricultural and Forestry Products on Former Agricultural Lands of the Bryansk Region**A. N. Perevolotsky[✉], T. V. Perevolotskaya, I. E. Titov., O. A. Shubina**Russian Institute of Radiology and Agroecology
of National Research Centre “Kurchatov Institute”,
1/1, Kievskoe shosse, Obninsk, 249035, Russian Federation
forest_rad@mail.ru ✉

Abstract. *Introduction.* Radioactive contamination of the environment due to the accident at the Chernobyl nuclear power plant led to restrictions on farming on a significant area in Russia, Belarus and Ukraine. Despite the fact that more than 30 years have passed since the accident, 16 thousand hectares of agricultural land in the Bryansk region are still categorized as lands excluded from use, and the problem of their rational use remains relevant. *The purpose of the study* is to forecast the distribution of former agricultural lands across zones of radioactive contamination and soil groups, as well as predict the specific activity of ^{137}Cs in agricultural and forestry products grown in this area. *Objects and methods.* A forecast assessment of the distribution of former agricultural lands across zones of radioactive contamination and soil groups over 30 years was carried out based on the analysis of information from the database containing the results of a radiological survey of former agricultural lands of the Bryansk region. The forecasting of ^{137}Cs content was performed with regard to several types of products of agriculture (winter rye grains, potato tubers, milk) and forestry (averaged mushroom basket, barked and unbarked wood of Scots pine and English oak) based on the coefficients of transfer (proportionality). *Results.* It was found that in 2024 ~46 % of former agricultural lands on sod-podzolic soils are characterized by a density of ^{137}Cs soil pollution from 555 to 1480 kBq/m². By 2055, 54 % of lands will move to the zone with a density of ^{137}Cs pollution of 185–555 kBq/m² and ~16 % of lands – to the zone with that of 37–185 kBq/m². Winter rye grain compliant with the permissible standard for the content of ^{137}Cs can be obtained on an area of 2.3 thousand hectares in 2024 and 6.1 thousand hectares in 2055. Growing potatoes and obtaining feed for dairy cattle with an acceptable content of ^{137}Cs is possible on sod-podzolic sandy and sandy loam soils with a density of ^{137}Cs contamination <555 kBq/m² (3.8 thousand hectares), while on light and medium loamy soils – with a ^{137}Cs contamination density <1480 kBq/m² (5.7 thousand hectares). Forest mushrooms continue to be a critical food product in terms of ^{137}Cs concentrations. The standard for the content of this radionuclide can be exceeded at a pollution density of sod-podzolic sandy and sandy loam soils of 37 kBq/m², and on loamy soils – with a density of pollution of up to 185 kBq/m². One of the effective ways to use lands withdrawn from agricultural use is to transfer them to the forest fund for subsequent planting of forest crops or promoting natural reforestation.

Keywords: radioactive contamination; specific activity; radionuclides; pollution density; food; mushrooms; wood

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment for the NRC “Kurchatov Institute” – RIRAE.

For citation: Perevolotsky A. N., Perevolotskaya T. V., Titov I. E., Shubina O. A. Forecast of Radioactive Contamination of Agricultural and Forestry Products on Former Agricultural Lands of the Bryansk Region. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(3):82–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.3.82>; EDN: UJSDSI

REFERENCES

1. Alexakhin R. M., Buldakov L. A., Gubanov V. A. et al. Large radiation accidents: consequences and protective countermeasures. Ilyin L. A., Gubanov V. A. (Eds.). Moscow: Izdat Publ.; 2001. 752 p. EDN: YRWNXC (In Russ.).
2. Anisimov V. S., Geraskin S. A., Geshel I. V. et al. Radioecological consequences of the Chernobyl accident: biological effects, migration, rehabilitation of contaminated areas. Sanzharova N. I., Fesenko S. V. (Eds.). Moscow: RAS; 2018. 278 p. EDN: XUBZYT (In Russ.).

3. Aleksakhin R. M., Vasil'ev A. V., Dikarev V. G. et al. Agricultural radioecology. Aleksakhin R. M., Korneev N. A. (Eds.). Moscow: Ekologiya, 1992. 400 p. (In Russ).
4. Miarzlova O. A., Shapsheyeva T. P. Comprehensive assessment of the possibility of returning the lands subjected to radioactive contamination into agricultural production. *Radiation Biology. Radioecology*. 2018;58(5):535–547. DOI: 10.1134/S0869803118050119; EDN: VKYOB (In Russ)
5. Romanov G. N. Elimination of the consequences of radiation accidents: reference guide. Moscow: IzdAT Publ.; 1993. 336 p. (In Russ).
6. Ipat'ev V. A., Baginskii V. F., Bulavik I. M. et al. Forest. Man. Chernobyl. Forest ecosystems after the Chernobyl accident. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: their state, prognosis, population response, and ways of rehabilitation. Ipat'ev V. A. (Ed.). Gomel: Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus; 1999. 454 p. (In Russ).
7. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. *Safety Reports Series No. 19*. Vienna: IAEA; 2001. 229 p.
8. Methodological guidelines MG2.6.1.3806-22. The forecast of doses of population exposure to cesium-137 when it enters the environment. Methodological guidelines. Moscow: Rospotrebnadzor, 2022. 9 p. (In Russ).
9. Behavior of radionuclides in the environment II. Chernobyl. Konoplev A., Kato K., Kalmykov S. (Eds.). Singapore: Springer; 2020. 443 p. DOI: 10.1007/978-981-15-3568-0
10. Behavior of radionuclides in the environment III. Fukushima. Nanda K., Konoplev A., Wada T. (Eds.). Singapore: Springer; 2022. 510 p. DOI: 10.1007/978-981-16-6799-2
11. Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments (IAEA-TECDOC-1616). Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009. 616 p.

The article was submitted 20.06.2024; approved after reviewing 28.08.2024;
accepted for publication 20.09.2024

Information about the authors

Alexander N. Perevolotsky – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software & Information Support, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre “Kurchatov Institute”. Research interests – radiation ecology of the environment, computational methods of dosimetry. Author of 250 scientific publications including four monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6913-7609>; SPIN: 1469-3199

Tatyana V. Perevolotskaya – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Senior Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software & Information Support, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre “Kurchatov Institute”. Research interests – radiation ecology of the environment, computational methods of dosimetry. Author of 200 scientific publications including two monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8250-5536>; SPIN: 4562-3671

Igor E. Titov – Researcher at the Laboratory of Mathematical Modeling and Software & Information Support, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre “Kurchatov Institute”. Research interests – radiation ecology of the environment, geoinformatics. Author of 200 scientific publications including four monographs. SPIN: 2589-2233

Olga A. Shubina – Candidate of Biological Sciences, Deputy Director for Scientific Work, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre “Kurchatov Institute”. Research interests – radiation ecology of the environment, methods of rehabilitation of radioactively contaminated areas. Author of 250 scientific publications including four monographs. SPIN: 7036-8172

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the paper preparation.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.
All authors read and approved the final manuscript

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Доводим до сведения авторов и читателей нашего журнала, что в соответствии с Приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук, утверждённое приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093» (зарегистрировано в Минюсте России 06.04.2021 № 62998) изменились научные специальности и их паспорта.

С декабря 2022 года журнал «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование» печатает статьи по обновлённым научным специальностям и соответствующим им отраслям науки в следующих рубриках:

Лесное хозяйство:

4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство:

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные и биологические).

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация, озеленение, лесная пирология и таксация (сельскохозяйственные, биологические и технические).

Технологии и машины лесного дела:

4.3. Агроинженерия и пищевые технологии:

4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины (технические, биологические, химические).

Проблемы экологии и рационального природопользования:

1.6. Науки о Земле и окружающей среде:

1.6.19. Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия (географические).

1.6.21. Геоэкология (географические).

Даты, события, комментарии. По-прежнему будут размещаться материалы о знаменательных датах, конференциях и форумах с их резолюциями, о других событиях, а также рецензии на статьи и монографии.

Статья должна содержать только оригинальный материал, отражающий результаты завершённых исследований авторов, объёмом 8–15 страниц, включая рисунки.

К печати принимаются материалы, которые не опубликованы и не переданы в другие редакции. Рукописи проходят обязательное рецензирование. В «Вестнике...» печатаются только статьи, получившие положительные рецензии.

Требования к оригиналам предоставляемых работ

Структура научной статьи

1. Аннотация (3–4 предложения).
2. Ключевые слова или словосочетания (не более 10) отделяются друг от друга точкой с запятой.
3. Введение (оценка состояния вопроса, основанная на обзоре литературы с мотивацией актуальности; выявленное противоречие, позволяющее сформулировать проблемную ситуацию).
4. Цель работы, направленная на преодоление проблемной ситуации (1–2 предложения).
5. Решаемые задачи, направленные на достижение цели.
6. Математическое, аналитическое или иное моделирование.
7. Техника эксперимента и методика обработки или изложение иных полученных результатов.
8. Интерпретация результатов или их анализ.
9. Выводы, отражающие новизну полученных результатов, показывающих, что цель, поставленная в работе, достигнута.

Подробнее – на сайте: <https://vestnik-forest.ru/>