

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

ВЕСТНИК

Поволжского государственного
технологического университета

**ЛЕС
ЭКОЛОГИЯ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**



2024

ВЕСТНИК

4(64)
2024

октябрь – декабрь

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 30.12.24.

Формат 60×84 1/8. Усл. п. л. 12,78.

Тираж 500 экз. Заказ № 0511

Дата выхода в свет: 21.02.25.

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

4(64)
2024

October – December

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 30.12.24.

format 60×84 1/8. No. of press sheets 12,78

Printing run 500 copies. Order No 0511.

Release date: 21.02.25.

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. Rukomoinov, 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

CONTENTS

Колонка главного редактора

5 Editor's note

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

FORESTRY

Демаков Ю. П., Шейкина О. В., Шарпов Е. С., Королёв А. С. Использование параметров размерной структуры древостоев для оценки их текущего состояния и перспектив развития

6

Demakov Yu. P., Sheikina O. V., Sharapov E. S., Korolev A. S. Using the Size Structure Parameters of Stands to Assess Their Current State and Development Prospects

Гудовских Ю. В., Егوشина Т. Л., Бушуева Ю. О., Лугинина Е. А., Сорокина А. А. Динамика демографической структуры и типов ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. в южнотаёжной подзоне

22

Gudovskikh Yu. V., Egoshina T. L., Bushueva Yu. V., Luginina E. A., Sorokina A. A. Dynamics of the Demographic Structure and Types of *Cypripedium Calceolus* L. Cenopopulations in the Southern Taiga Subzone

Мухаметова С. В., Скочилова Е. А. Параметры плодов жимолости и содержание в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ

36

Mukhametova S. V., Skochilova E. A. Parameters of Honeysuckle Fruits and the Content of Ascorbic Acid and Tannins in them

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

Царёв Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов И. С., Анисимов Н. С., Макаров В. Е., Анисимов П. Н. Модернизация технического оснащения участков отделения слоя бересты от луба

48

Tsarev E. M., Rukomojnikov K. P., Anisimov I. S., Anisimov N. S., Makarov V. E., Anisimov P. N. Modernizing Technical Equipment for Sections Separating Outer Birch Bark from Bast

Стешин И. С., Петухов И. В., Стешина Л. А., Танрывердиев И. О. Оценка точности решения простейших сенсорно-когнитивных задач оператором эргатических систем

61

Steshin I. S., Petukhov I. V., Steshina L. A., Tanryverdiev I. O. Evaluating the Accuracy of Solving the Simplest Sensory-Cognitive Tasks by the Operator of Ergatic Systems

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE MANAGMENT. BIOTECHNOLOGIES

Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В. Прогнозирование радиационной обстановки и внешнего облучения работников лесного хозяйства при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м²

74

Perevolotsky A. N., Perevolotskaya T. V. Forecasting the Radiation Situation and External Exposure of Forestry Workers at a Soil Pollution Density of ^{137}Cs 37-185 kBq/m²

Семакина А. В. Научно-методологические аспекты картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха

83

Semakina A. V. Scientific and Methodological Aspects of the Cartographic Visualization of Data on the State of Atmospheric Air

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

DATES. EVENTS. COMMENTS

Войтко П. Ф. К 70-летию учёного, изобретателя и педагога Царёва Евгения Михайловича

98

Voitko P. Ph. To the 70th anniversary of the scientist, inventor and teacher Evgeny M. Tsarev

Тимурғалиева Л. А. 85 лет Ботаническому саду-институту ПГТУ: от истоков создания к современным вызовам и новым перспективам

102

Timurgalieva L. A. The Botanical Garden-Institute of Volga State University of Technology turns 85 years old: from the origins to modern challenges and new perspectives

Указатель материалов, опубликованных в журнале в 2024 году
Информация для авторов

107

List of Materials Published in the Journal in 2024

110

Information for the authors

Уважаемые коллеги!

Данный номер журнала является завершающим в 2024 году. Текущий год ознаменован тем, что редакционная коллегия работала в ином статусе – журнал «Лес. Экология. Природопользование» отнесён к периодическим изданиям категории К2. Публикации в нём научных статей открывают возможность кандидатам наук выходить на защиту докторских диссертаций, а докторам наук – входить в состав диссертационных советов по защите диссертаций.

Всего в четырёх номерах будет опубликовано 28 статей. Превалируют статьи первого раздела «Лесное хозяйство» – их доля наибольшая (50 %). Не оставили без внимания и важнейшие научно-технические события, юбилеи выдающихся учёных Поволжской лесной научной школы. Материалы о них помещены в разделе «Даты. События. Комментарии».

Важнейшей задачей 2025 года является усиление внимания редакционной коллегии и авторов к освещению проблем экологии, биотехнологии, рациональному использованию лесных ресурсов, а также современных технологий и машин в лесном деле. В целом мы должны и дальше уделять больше внимания фундаментальности, актуальности и практической значимости публикуемых научных статей.

Отличительной особенностью очередного номера является выраженная фундаментальность ряда статей и значительно больший объём рассмотренных тем из разделов 2 («Технологии и машины лесного дела») и 3 («Проблемы экологии и рационального природопользования»).

Теоретическую и практическую значимость представляет первая статья номера, где приведена адекватная оценка ценопопуляций и получены данные для естественного отбора особей и, в дальнейшем, их целенаправленной селекции по хозяйственно важным признакам. Продолжительные наблюдения на стационарных объектах (от 10 до 40 лет) позволили установить пределы варибельности и основные закономерности изменения величины комплекса параметров размерной структуры древостоев, каждый из которых имеет специфическое информационное значение, и созданы соответствующие шкалы для оценки текущего состояния ценопопуляций и перспектив их дальнейшего развития. Во второй статье (с. 22–35) выявлена фитоценотическая приуроченность и динамика демографической и онтогенетической структуры ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L., произрастающих в антропогенно



изменённых сообществах в условиях южнотаёжной подзоны Кировской области. Исследуемые ценопопуляции приурочены к молодым и средневозрастным хвойным зеленомошникам, травяным и разнотравно-зеленомошным насаждениям различной степени сомкнутости. По классификации с использованием индекса восстановления они перспективные и неустойчивые.

Практическую направленность имеют статьи второго раздела (с. 48–73). В первой из них предложена модернизация конструктивных решений по разделению слоёв берёзовой коры, позволяющая обеспечить высокие качественные характеристики готовой продукции, что позволит повысить эффективность технологических процессов. Вторая посвящена оценке точности решения простейших сенсорно-когнитивных задач, значимых для эффективной профессиональной деятельности в условиях восприятия информации в виртуальных средах и с электронных дисплеев. Сделан вывод, что обучение операторов манипуляторов задачам наведения в виртуальных средах будет иметь незначительные преимущества по сравнению с обучением их с применением симуляторов на основе электронных дисплеев.

В разделе «Проблемы экологии и рационального природопользования» опубликованы две статьи, имеющие как высокую теоретическую, так и практическую значимость (с. 74–97). В первой из них смоделирована плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне от 50 до 180 кБк/м² и выполнены прогнозные расчёты с 2024 по 2084 гг. плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , распределение кварталов леса по зонам и подзонам радиоактивного загрязнения, мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения и дозы облучения работающих. Во второй – сформирован научно-методический аппарат картографической визуализации комплексного мониторинга состояния атмосферного воздуха. Его использование создаст возможности для формирования нового кластера карт состояния атмосферного воздуха, характеризующихся высокой степенью достоверности и репрезентативности.

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

Профессор Евгений Романов

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО FORESTRY

Научная статья

УДК 630*181

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.6>

EDN: YZPPZM

Использование параметров размерной структуры древостоев для оценки их текущего состояния и перспектив развития

Ю. П. Демаков[✉], О. В. Шейкина, Е. С. Шарапов, А. С. Королев

Поволжский государственный технологический университет,

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

DemakovYP@volgatech.net[✉]

Аннотация. *Введение.* Размерная структура древостоя характеризует внутреннее его разнообразие, обеспечивающее устойчивое развитие ценопопуляции, поставляя материал для естественного отбора особей, а также целенаправленной их селекции по хозяйственно важным признакам. *Цель* исследования – усовершенствование приёмов использования параметров размерной структуры одновозрастных древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для оценки их текущего состояния и перспектив дальнейшего развития, а также для выбора ценных в селекционном отношении ценопопуляций. *Объекты и методы.* Исходный материал собран на 300 постоянных и временных пробных площадях, заложенных в чистых одновозрастных сосновых древостоях Республики Марий Эл, различающихся по происхождению, возрасту, густоте и условиям произрастания. На 17 постоянных пробных площадях периодически раз в 5–10 лет измеряли длину окружности ствола у всех пронумерованных деревьев и оценивали величину текущего прироста их по диаметру. Продолжительность наблюдений на стационарных объектах составляла от 10 до 40 лет. Полученный цифровой материал обработан на ПК с использованием стандартных методов математической статистики. *Результаты.* Установлены пределы вариабельности и основные закономерности изменения величины комплекса параметров размерной структуры древостоев, каждый из которых имеет специфичное информационное значение, и созданы соответствующие шкалы для оценки текущего состояния ценопопуляций и перспектив их дальнейшего развития. Показано, что надёжной основой для получения новых знаний о закономерностях динамики формирования размерной структуры древостоев является сеть стационарных пробных площадей. *Вывод.* Для адекватной оценки текущего состояния ценопопуляций и определения перспектив их дальнейшего развития величину параметров размерной структуры всегда необходимо сравнивать с эталоном, в качестве которого могут выступать их значения, присущие либо региональным модальным насаждениям, либо так называемым «нормальным» древостоям.

Ключевые слова: сосна обыкновенная; ценопопуляции; размерная структура; параметры; динамика; оценка состояния; эталоны сравнения

Благодарности: авторы признательны к. с.-х. наук, заместителю директора по научной работе государственного заповедника «Большая Кокшага» А. В. Исаеву за помощь в сборе материала. Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Экология, биотехнологии и процессы получения экологически чистых энергоносителей» Поволжского государственного технологического университета, г. Йошкар-Ола.

Финансирование: работа выполнена за счёт гранта Российского научного фонда № 23-16-00220, <https://rscf.ru/project/23-16-00220/>

Для цитирования: Использование параметров размерной структуры древостоев для оценки их текущего состояния и перспектив развития / Ю. П. Демаков, О. В. Шейкина, Е. С. Шарапов и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4 (64). С. 6–21. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.6>; EDN: YZPPZM

© Демаков Ю. П., Шейкина О. В., Шарапов Е. С., Королев А. С., 2024

Введение

Структура – неотъемлемый атрибут всех объектов материального мира, характеризующий степень упорядоченности в них элементов по различным индивидуальным признакам, определяющим особенности внутренних и внешних связей, а следовательно, и закономерности функционирования систем любого уровня. Познание структуры есть способ познания системы [1, 2]. При этом, однако, чем больше признаков использовано для описания особей, каждая из которых имеет индивидуальные особенности, тем больше, как отмечает Л. А. Животовский [3], обнаруживается различий между ними и тем отчётливее проявляются различия между биологическими системами разного уровня: семьями, стаями, стадами, ценопопуляциями и популяциями. Образно это можно выразить фразой ихтиолога Ф. Хейнке, приведённой Л. А. Животовским в своей монографии: «Сообщите мне размеры ста рыб, и я скажу откуда они, дайте мне сто признаков одной рыбы, и я точно определю место её отлова» [3, с. 6]. К этому же должны стремиться, на наш взгляд, все исследователи-биологи, в том числе и специалисты в области лесоведения. Только особенности структуры позволяют провести надёжную идентификацию и классификацию различных природных объектов.

Текущая структура древостоя – временной срез длительных медленно протекающих в нём процессов взаимодействия деревьев между собой и с другими элементами ценоза, а также с внешней средой. Она отражает дифференциацию деревьев по различным фено- и генотипическим признакам, характеризуя количественно посредством статистических параметров внутреннее разнообразие древостоя, которое обеспечивает устойчивое его развитие, поставляя материал для естественного отбора особей. Это разнообразие может являться также и материалом для искусственного отбора, т. е. целенаправленной

селекции деревьев по какому-либо важному хозяйственному признаку. Изучение структуры древостоев и закономерностей её формирования является, исходя из этого, актуальной научной задачей.

Исследователями давно отмечено, что деревья даже в одновозрастном древостое сильно различаются между собой по размерам, особенно по диаметру ствола, который интегрально количественно отражает скорость их роста и степень конкурентоспособности [2, 4–7]. Изучению особенностей формирования размерной структуры древостоев под действием факторов среды и хозяйственной деятельности человека посвящено множество публикаций [7–23], поскольку это важно для оценки ресурсной ценности насаждений, их жизнеспособности и возможностей дальнейшего развития, а также решения других лесоводственных задач. Большинство авторов отмечают очень большую вариабельность всех статистических параметров рядов распределения деревьев по их размерам. Ни в одной работе авторы не заостряют, однако, внимания на биологическом смысле статистических параметров размерной структуры древостоев, ограничиваясь в основном только констатацией их абсолютной величины, определяющей производительность насаждений, и сопоставлением значений с моделью так называемого нормального распределения, при котором A и $E = 0$. Следует отметить, однако, что это распределение, впервые выявленное Муавром в 1733 году в связи с исследованием предела биномиального распределения и вновь обнаруженное в 1809 году Гауссом, а в 1812 году также Лапласом в связи с их работой по теории ошибок наблюдений [24], является лишь предельной идеальной формой отображения вероятности встречаемости той или иной величины какого-либо признака в оцениваемой совокупности его значений. Оно соответствует тому случаю, когда все факторы, действующие на систему, уравновешивают друг друга по силе и ис-

пользуются для сравнения теоретических данных с фактическими. Различия в этом случае отражают лишь ошибку в оценке статистических параметров, а не явное проявление особенностей внутренней структуры объекта. Преобладание воздействия на систему какого-либо одного фактора над другими приводит к деформации нормального распределения и превращения его в иную форму.

Цель исследования – усовершенствование приёмов использования параметров размерной структуры одновозрастных древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для оценки их текущего состояния и перспектив дальнейшего развития, а также для выбора ценных в селекционном отношении ценопопуляций.

Материал и методы исследования

Данные для анализа собраны на 300 постоянных и временных пробных площадях, заложенных в чистых одновозрастных сосновых древостоях Республики Марий Эл, различающихся по происхождению (естественные постпирогенные и лесные культуры), возрасту (от 12 до 120 лет), густоте (от 0,5 до 103 тыс. экз./га) и условиям произрастания, каждая из которых включала не менее 200 живых деревьев, разбитых при учёте на ступени толщины и классы развития Г. Крафта. На 17 постоянных пробных площадях с полностью пронумерованными деревьями (рис. 1) периодически измеряли длину окружности ствола и оценивали величину текущего прироста по диаметру. Продолжительность наблюдений на стационарных объектах составляла от 10 до 40 лет.

Для анализа особенностей формирования размерной структуры древостоев использовали следующие параметры рядов распределения величины диаметра стволов и их текущего прироста: минимальное, максимальное и среднее арифметическое значение, размах изменения, среднеквадратическое (стандартное) отклонение, медиану, коэффициенты вариации, асимметрии и эксцесса, а также отноше-

ние среднего арифметического значения к медиане, максимального и минимального к среднему. Статистическую обработку цифрового материала провели стандартными методами биометрии [24–27] на ПК с использованием пакета прикладных программ Excel и Statistica-6.



Рис. 1. Общий вид древостоя на постоянных пробных площадях в сосняках лишайниковом и мшистом

Fig. 1. General view of a stand growing on permanent sample plots in lichen and mossy pine forests

Результаты и их обсуждение

Анализ эмпирического материала показал, что все деревья в обследованных нами одновозрастных ценопопуляциях сосны обыкновенной, под которыми понимается совокупность особей, обитающих в пределах одного экотопа и активно взаимодействующих между собой в процессе своего развития, сильно различаются меж-

ду собой по размерам и темпам роста. Различаются между собой, однако, не только деревья, но и ценопопуляции в целом, что связано с характером представленности в них деревьев разных размерных групп (табл. 1). Так, к примеру, доля сверхгосподствующих и господствующих деревьев, относящихся к I и II классам Крафта, по числу стволов невелика, однако по площади сечения стволов и массе хвои, а значит и роли в функционировании биогеоценозов, она составляет в среднем около 50 %, достигая в ряде случаев даже 80 %. Доля же деревьев IV–V классов Крафта, не имеющих особых перспектив развития, составляет по числу стволов

в среднем 31,6 %, а по площади их сечения всего лишь 12,3 %. В большинстве древостоев преобладают деревья среднего рангового положения, однако долевое участие деревьев разных социальных классов, как и их относительные размеры (табл. 2), очень сильно варьируют в исследованной группе ценопопуляций, что обусловлено особенностями их генотипической структуры [12, 18, 28], а также с субъективными ошибками глазомерной оценки, избежать которых невозможно. Особенно велика изменчивость относительного диаметра ствола у сверхгосподствующих деревьев, меньше же всего варьирует величина этого параметра у деревьев III класса роста.

Таблица 1. Доля деревьев сосны разных классов Крафта в сложении структуры ценопопуляций
Table 1. The proportion of pine trees of different Kraft classes in the overall structure of cenopopulations

Параметр структуры	Доля деревьев разных классов Крафта в ценопопуляциях, % ($n = 125$)				
	I	II	III	IV	V
Число деревьев	$\frac{8,4 \pm 0,5}{0,5 - 33,9}$	$\frac{19,9 \pm 0,6}{5,7 - 39,6}$	$\frac{40,2 \pm 0,9}{21,2 - 77,3}$	$\frac{22,5 \pm 0,7}{1,1 - 42,0}$	$\frac{9,1 \pm 0,5}{0,0 - 24,1}$
Площадь сечения стволов	$\frac{18,8 \pm 0,9}{1,7 - 47,7}$	$\frac{30,7 \pm 0,6}{9,9 - 47,7}$	$\frac{38,3 \pm 1,0}{12,4 - 76,0}$	$\frac{10,7 \pm 0,5}{0,7 - 33,4}$	$\frac{1,6 \pm 0,1}{0,0 - 6,5}$
Масса хвои деревьев	$\frac{16,1 \pm 0,8}{1,4 - 43,9}$	$\frac{28,4 \pm 0,6}{9,1 - 44,2}$	$\frac{39,6 \pm 1,0}{14,2 - 77,6}$	$\frac{13,2 \pm 0,6}{0,7 - 35,1}$	$\frac{2,7 \pm 0,2}{0,0 - 8,2}$

Примечание: над чертой – среднее значение и его ошибка, под чертой – пределы изменчивости.

Таблица 2. Статистические показатели относительного диаметра деревьев разных классов роста
Table 2. Statistics of the relative diameter of trees of different growth classes

Статистический показатель*	Значения статистических показателей у деревьев разных классов Крафта ($n = 125$)				
	I	II	III	IV	V
$M \pm m$	$153,7 \pm 1,3$	$125,9 \pm 0,9$	$97,5 \pm 0,7$	$66,7 \pm 0,8$	$40,2 \pm 1,2$
min	115,9	95,8	80,6	40,9	19,1
max	202,6	156,6	125,6	89,2	67,1
Размах	86,7	60,8	45,0	48,3	48,0
CV	9,5	9,1	7,6	13,8	32,2

*Примечание: $M_x \pm m_x$ – среднее значение показателя и его ошибка относительно среднего диаметра древостоя, %; min, max – минимальное и максимальное значения в выборке, %; CV – коэффициент вариации, %.

Долевое участие деревьев разных классов Крафта в сложении древостоев довольно чётко отражает, по нашему мнению, текущее состояние жизнеспособности одновозрастных ценопопуляций сосны обыкновенной и определяет перспективы их развития. Для этой цели лучше всего использовать долю в них деревьев IV–V классов, опираясь на следующую шкалу значений индекса жизнеспособности (ИЖД):

1) ИЖД < 10 % – жизнеспособность ценопопуляции очень высокая, а перспективы её развития хорошие без проведения какого-либо лесоводственного ухода;

2) ИЖД 10–20 % – жизнеспособность ценопопуляции высокая и перспективы её развития хорошие, требуется проведение лишь незначительного лесоводственного ухода;

3) ИЖД 20–30 % – жизнеспособность ценопопуляции средняя, для повышения которой требуется удаление наиболее ослабленных и отставших в росте деревьев;

4) ИЖД 30–40 % – жизнеспособность ценопопуляции низкая и для её повышения требуется скорейшее удаление большого количества отставших в росте деревьев;

5) ИЖД > 40 % – жизнеспособность ценопопуляции очень низкая и перспективы её развития плохие даже при прове-

дении интенсивного лесоводственного ухода.

Величина среднего диаметра деревьев разных классов (d_k , см), как показали расчёты, довольно чётко изменяется с возрастом древостоев (A , лет), что с высокой достоверностью ($p < 0,001$) описывается уравнение $d_k = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]^b$, параметры которого представлены в таблице 3. Установлено также, что средний диаметр деревьев каждого класса очень тесно связан со средним диаметром всего древостоя (D , см). Эту зависимость аппроксимирует степенное уравнение $d_k = a \times D^b$, позволяющее провести оценку ранговой структуры ценопопуляций как по материалам фактического учёта, так и данным таксационных описаний насаждений.

Оценка размерной структуры древостоя и состояния его жизнеспособности по долевого участию в нём деревьев разных социальных групп имеет, однако, большой недостаток, заключающийся в определённой субъективности их выделения, избежать которой практически невозможно. Для этой цели лучше опираться на количественные показатели, значения которых можно с требуемой точностью легко измерить и сопоставить с некоторым эталоном.

Таблица 3. Значения параметров уравнений зависимости среднего диаметра деревьев от возраста и среднего диаметра древостоя в сосняках лишайниковых и зеленомошниковых

Table 3. Values of the parameters in the equations of dependence of the mean diameter of trees on the age and the mean diameter of the stand in the lichen and green moss pine forests

Параметр функции	Значения параметров уравнений для деревьев разных классов Крафта				
	I	II	III	IV	V
$d_k = K \times [1 - \exp(-a \times 10^{-3} \times A)]^b$					
K	44,6	38,7	31,6	23,2	13,7
a	21,47	18,74	16,01	13,28	10,55
b	1,350	1,292	1,234	1,176	1,118
R^2	0,973	0,960	0,956	0,967	0,976
$d_k = a \times D^b$					
a	1,736	1,421	1,005	0,539	0,232
b	0,937	0,940	0,987	1,115	1,301
R^2	0,975	0,984	0,986	0,984	0,957

Анализ полученного материала показал, что значения всех оцениваемых статистических количественных показателей размерной структуры одновозрастных сосняков, так же как и качественных, изменяются в очень больших пределах (табл. 4), указывая на их высокое информативное значение. Так, к примеру, текущая густота древостоев и средний диаметр деревьев могут быть использованы не только для оценки производительности древостоев, но и для оценки их текущего состояния и перспектив дальнейшего развития. Значения этих параметров необходимо в этом случае сравнивать с неким эталоном, в качестве которого могут выступать так называемые «нормальные» древостои (табл. 5 и 6), либо региональные нормативы, созданные на основе анализа материалов массовой таксации насаждений [29].

Сравнение фактических значений с эталонными позволило установить грани-

цы возможных отклонений, которые дают чёткое представление о пределах возможностей ценопопуляций к использованию ресурсов среды и реализации своего жизненного потенциала. Вариабельность нормированных значений густоты и среднего диаметра древостоев, как показал анализ эмпирического материала, наиболее велика в молодняках и неуклонно снижается по мере увеличения возраста древостоев (табл. 7). Так, к примеру, в молодых сосняках величина нормированной густоты древостоя изменяется от 0,05 до 15,7 единиц, а в старых – всего лишь от 0,76 до 1,25. Пределы же изменения нормированной величины среднего диаметра деревьев составляют соответственно 0,34–1,87 и 0,86–0,98. Особенно наглядно происходящие изменения отображает среднее квадратическое значение этих параметров, которое снижается с возрастом древостоев в 13 раз!

Таблица 4. Пределы варьирования статистических показателей размерной структуры древостоя на объектах исследования

Table 4. Limits of variation of statistical measures of the stand size structure at the study sites

Параметр	Значения статистических показателей ($n = 300$)			
	среднее	минимум	максимум	размах
Возраст древостоя, лет	39,6	12	120	108
Густота древостоя, тыс. экз./га	4,62	0,42	103,1	102,7
Нормированная густота, доля единицы	1,07	0,05	15,70	15,65
Средний диаметр деревьев, см	11,9	2,2	32,5	30,3
Медиана диаметра деревьев (Me), см	13,2	3,6	37,4	33,8
Нормированный диаметр, доля единицы	0,95	0,31	1,87	1,56
Минимальный диаметр деревьев, см	4,6	0,2	20,1	19,9
Максимальный диаметр деревьев, см	21,7	7,0	64,6	57,6
Отношение $D_{\max}$ к $D_{\min}$, доля единицы	7,9	2,2	35,0	32,8
Минимальный ранг дерева, %	32,4	8,2	66,6	58,4
Максимальный ранг дерева, %	193,7	132,5	383,3	250,7
Размах диаметра деревьев, см	17,1	6,0	54,4	48,4
Среднеквадратическое отклонение, см	3,40	1,09	8,60	7,51
Коэффициент вариации диаметра, %	32,6	16,7	74,9	58,2
Коэффициент асимметрии	0,233	-1,140	1,348	2,488
Коэффициент эксцесса	-0,181	-1,125	1,960	3,085
Отношение $D_{\text{ср.}}$ к Me, доля единицы	0,90	0,48	1,29	0,82

Таблица 5. Значения параметров математической модели динамики густоты сомкнутых сосновых древостоев разных классов бонитета, вычисленных по таблицам ВНИИЛМ [30]

Table 5. Values of the parameters in the mathematical model of density dynamics in closed canopy pine stands of different growth classes (calculated using the VNIILM tables) [30]

Параметр модели	Значения параметров модели $N_i = K \times \exp[-a \times (A - b)^c]$ для разных классов бонитета				
	I	II	III	IV	V
K	9,615	13,125	17,600	10,230	16,000
a	0,201	0,203	0,216	0,140	0,165
b	10	10	10	20	20
c	0,610	0,590	0,615	0,652	0,629

Таблица 6. Значения параметров математической модели динамики среднего диаметра деревьев в сосновых древостоях разных классов бонитета, вычисленных по таблицам ВНИИЛМ [30]

Table 6. Values of the parameters in the mathematical model of the mean tree diameter dynamics in pine stands of different growth classes (calculated using the VNIILM tables) [30]

Параметр модели	Значения параметров модели $D_i = a \times (A - b)^c$ для древостоев разных классов бонитета				
	I	II	III	IV	V
a	1,662	1,368	1,048	0,812	0,595
b	7	8	8	9	9
c	0,663	0,676	0,697	0,711	0,730

Таблица 7. Статистические показатели нормированных значений густоты и среднего диаметра деревьев в сосновых древостоях разного возраста на объектах исследования

Table 7. Statistics of the normalized values of the density and mean diameter of trees in the uneven-aged pine stands at the study sites

Возраст древостоя, лет	Значения статистических показателей*					
	n	среднее	min	max	размах	S_x
Нормированная густота древостоя, доля единицы						
12–20	108	1,05	0,05	15,70	15,65	1,50
21–40	65	1,01	0,10	2,68	2,58	0,50
41–60	74	1,26	0,18	7,44	7,25	1,10
61–90	33	0,84	0,37	1,70	1,34	0,23
более 90	20	0,95	0,76	1,25	0,49	0,11
Нормированный средний диаметр деревьев, доля единицы						
12–20	108	1,09	0,34	1,87	1,53	0,26
21–40	65	0,88	0,50	1,66	1,16	0,21
41–60	74	0,82	0,31	1,44	1,13	0,20
61–90	33	0,89	0,69	1,18	0,49	0,13
более 90	20	0,94	0,86	0,98	0,13	0,03

*Примечание: n – объем выборки; S_x – среднее квадратическое (стандартное) отклонение признака.

Использование нормированной величины густоты древостоев, практически не зависящей от их возраста, позволило адекватно оценить её влияние на нормированное значение среднего диаметра деревьев, которое с высокой достоверностью

($R^2 = 0,683$ при $p < 0,001$) описывает уравнение $D_{\text{норм.}} = 2,265 \times \exp(-1,332 \times N_{\text{норм.}}^{0,406}) + 0,30$.

Величину среднего диаметра деревьев определяет не только густота древостоев, объясняющая только 68,3 % общей

дисперсии его значений, но также и потенциальные способности роста особей, которые в каждой из ценопопуляций могут быть разными в зависимости от сложившихся условий и характера представленности генотипов. Об этом же свидетельствует, в частности, большой размах величины редуccionных чисел, т. е. минимального и максимального значений рангового положения деревьев в ценопопуляциях (табл. 8), не зависящих от их нормированной густоты. Для оценки состояния ценопопуляций представленный диапазон значений параметров целесообразно разбить на пять градаций и создать соответствующую шкалу индексов.

Важную информацию об особенностях размерной структуры древостоев и их состоянии несут также параметры, характеризующие диапазон варьирования в них диаметра деревьев: среднеквадратическое отклонение (S_d , см) и размах ($\lim D$, см). Расчёты показали, что их значения во многом детерминируют возраст (A , лет) и густота (N , тыс. экз./га) древостоев, что с высокой достоверностью аппроксимируют следующие уравнения регрессии:

$$S_d = 0,325 \times (A - 10)^{0,696} \times \exp(-0,515 \times N) + 1,48; \\ R^2 = 0,887;$$

$$\lim D = 2,871 \times A^{0,569} \times \exp(-0,266 \times N); R^2 = 0,806.$$

Значения этих параметров, как следует из представленных уравнений, которые можно использовать в качестве эталонов сравнения, разбив на ряд классов, возрастают по мере увеличения возраста древостоев и снижаются по мере роста их густоты. Величина остаточной дисперсии значений параметров связана с внутренними свойствами ценопопуляций, в том числе с наследственными свойствами особей.

Информацию об изменчивости размерной структуры древостоев отражает также коэффициент вариации диаметра деревьев в них (CV , %), однако возраст и густота ценопопуляций определяют только 47,9 % дисперсии его величины, описываемой уравнением регрессии

$$CV = 29,9 \times \exp(-1,62 \times 10^{-2} \times A) \times N^{0,339} + 16,2.$$

Для оценки состояния ценопопуляций по данному параметру в качестве эталона сравнения лучше использовать шкалу, созданную на основе собранного нами эмпирического материала (табл. 9).

Таблица 8. Статистические показатели относительной величины минимального и максимального диаметра деревьев в сосновых древостоях разного возраста на объектах исследования

Table 8. Statistics of the relative value of the minimal and maximal tree diameter in the uneven-aged pine stands at the study sites

Возраст древостоя, лет	Значения статистических показателей				
	среднее	min	max	размах	S_x
Относительная величина минимального диаметра деревьев, в % от среднего					
12–20	20,0	9,1	51,1	42,0	6,3
21–40	29,7	8,2	56,3	48,1	14,0
41–60	40,7	25,6	60,6	35,0	8,1
61–90	45,8	18,8	63,2	44,5	11,3
более 90	54,7	41,1	66,6	25,6	5,9
Относительная величина максимального диаметра деревьев, в % от среднего					
12–20	204,9	138,2	318,2	180,0	32,1
21–40	194,3	132,5	239,6	107,1	24,1
41–60	193,0	143,6	383,3	239,6	42,8
61–90	178,5	141,0	223,7	82,7	23,5
более 90	159,6	148,0	181,4	33,4	9,1

Таблица 9. Шкала для оценки размерной структуры ценопопуляций сосны по величине значений коэффициента вариации рядов распределения в них диаметра деревьев

Table 9. The score for assessing the size structure of pine cenopopulations based on the variation coefficients of the distribution series of tree diameters

Возраст древостоя, лет	Значения показателя в разных классах изменчивости рядов распределения				
	очень слабая	слабая	средняя	высокая	очень высокая
15–30	< 20	20–30	30–40	40–50	> 50
31–50	< 20	20–28	28–36	36–44	> 44
51–80	< 20	20–26	26–32	32–38	> 38
более 80	< 20	20–24	24–28	28–32	> 32

Величина коэффициента асимметрии рядов распределения диаметра, которая также отражает информацию об особенностях размерной структуры древостоев, изменяется с их возрастом нелинейно: в среднем она наиболее велика в 60...90 лет (табл. 10). Размах же значений параметра с увеличением возраста ценопопуляций в целом снижается. Величина коэффициента эксцесса рядов распределения в среднем всегда имеет отрицательные значения, экстремумы которых отмечаются в древостоях молодого и зрелого возраста, а размах значений параметра

неуклонно снижается по мере взросления древостоев. Для оценки состояния ценопопуляций представленный диапазон значений параметров целесообразно разбить на пять градаций и создать соответствующую шкалу индексов (табл. 11). Изменения значений анализируемых показателей происходят, как свидетельствуют исследования, в результате индивидуальных особенностей деревьев по темпам роста и ответных реакций на колебания климата (рис. 2), приводящих к перегруппировке рангового положения особей в ценопопуляциях.

Таблица 10. Статистические показатели коэффициентов асимметрии и эксцесса рядов распределения диаметра деревьев в сосновых древостоях разного возраста

Table 10. Statistics of the coefficient of skewness and coefficient of kurtosis of the distribution series of tree diameters in the uneven-aged pine stands

Возраст древостоя, лет	Значения статистических показателей				
	среднее	min	max	размах	S_x
Коэффициент асимметрии (скоса) распределения					
12–20	0,014	-1,140	1,275	2,415	0,328
21–40	0,297	-0,973	0,930	1,903	0,409
41–60	0,366	-0,567	0,842	1,409	0,291
61–90	0,406	-0,304	1,048	1,352	0,279
более 90	0,266	0,071	0,431	0,360	0,101
Коэффициент эксцесса (крутизны) распределения					
12–20	-0,331	-1,125	1,615	2,741	0,431
21–40	-0,123	-0,847	1,559	2,406	0,498
41–60	-0,116	-1,068	0,907	1,975	0,422
61–90	-0,063	-0,705	0,991	1,697	0,463
более 90	-0,272	-0,633	0,326	0,959	0,259

Таблица 11. Шкала для оценки размерной структуры ценопопуляций сосны по величине значений коэффициентов асимметрии и эксцесса рядов распределения в них диаметра деревьев
Table 11. The score for assessing the size structure of pine cenopopulations based on the values of the skewness and kurtosis coefficients of the tree diameter distribution series

Возраст древостоя, лет	Значения показателей по классам их изменчивости в древостоях разного возраста				
	1 класс	2 класс	3 класс	4 класс	5 класс
Коэффициент асимметрии					
15–30	< -1,30	от -1,30 до -0,43	от -0,43 до 0,44	от 0,44 до 1,31	> 1,31
31–50	< -0,85	от -0,85 до -0,15	от -0,15 до 0,55	от 0,55 до 1,25	> 1,25
51–80	< -0,45	от -0,45 до 0,10	от 0,10 до 0,65	от 0,65 до 1,20	> 1,20
более 80	< -0,10	от -0,10 до 0,20	от 0,20 до 0,50	от 0,50 до 0,80	> 0,80
Коэффициент эксцесса					
15–30	< -1,25	от -1,25 до -0,39	от -0,39 до 0,47	от 0,47 до 1,33	> 1,33
31–50	< -1,45	от -1,45 до -0,50	от -0,50 до 0,45	от 0,45 до 1,40	> 1,40
51–80	< -1,35	от -1,35 до -0,45	от -0,45 до 0,45	от 0,45 до 1,35	> 1,35
более 80	< -1,15	от -1,15 до -0,53	от -0,53 до 0,09	от 0,09 до 0,71	> 0,71

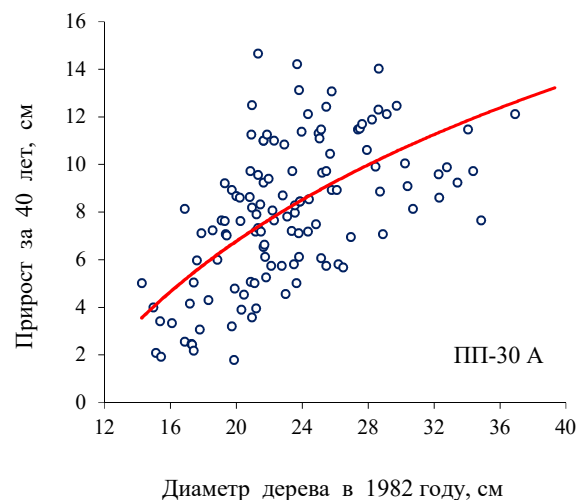
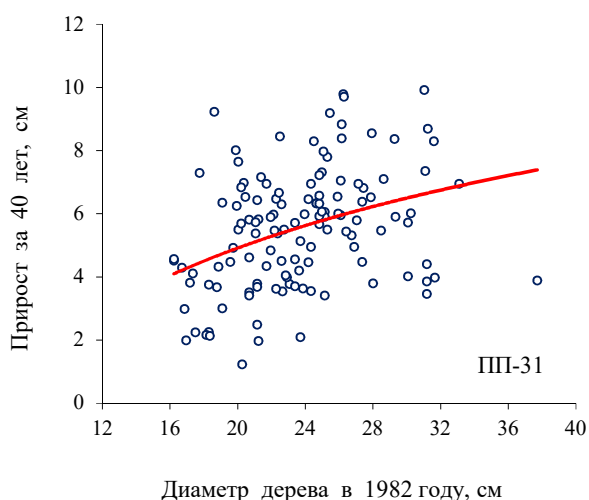


Рис. 2. Связь между диаметром ствола деревьев и его текущим приростом, оценённая по результатам многолетних измерений на постоянных пробных площадях в сосняках брусничниковых
Fig. 2. Relation between the tree trunk diameter and its current increment, based on long-term measurements on the permanent sample plots in cowberry-type pine stands

Величина прироста деревьев, как свидетельствуют приведённые выше данные, слабо зависит от их исходного диаметра на момент начала наблюдений, хотя в целом отмечается небольшой положительный тренд, описываемый уравнением $\Delta D = a \times (D - b)^c$, значения параметров которого варьируют в очень больших пределах (табл. 12), определяемых осо-

бенностями сложения ценопопуляций. Исследования показали также, что наиболее угнетённые в ценопопуляции деревья в последний этап своей жизни, продолжающийся иногда до 10–15 и более лет, не образуют годичных колец, а диаметр у отмирающих особей за счёт потери влажности древесины даже снижается.

Таблица 12. Значения параметров уравнения, аппроксимирующего прирост ствола от исходного диаметра деревьев, полученные на основе многолетних наблюдений на объектах исследования
Table 12. Values of the parameters in the equation approximating the trunk increment relative to the initial tree diameter (obtained from long-term observations at the study sites)

Статистический показатель	Значение параметров уравнения $\Delta D = a \times (D - b)^c$			
	a	b	c	R^2
Среднее арифметическое	2,140	11,3	0,421	0,299
Минимальное значение	0,147	6,7	0,208	0,142
Максимальное значение	5,772	14,9	0,804	0,508
Размах значений	5,625	8,2	0,596	0,366

Расчёты показали, что значения параметров этого уравнения, имеющие конкретный биофизический смысл, зависят от продолжительности периода между измерениями диаметра деревьев (T , лет) и их возраста на момент начала наблюдений (A , лет), что аппроксимирует следующий набор уравнений множественной регрессии:

$$a = 2,04 + 9,98 \times 10^{-2} \times T - 3,05 \times 10^{-2} \times A; \\ R^2 = 0,589;$$

$$b = 5,80 + 6,44 \times 10^{-2} \times T + 5,91 \times 10^{-2} \times A; \\ R^2 = 0,297;$$

$$c = 0,34 - 6,80 \times 10^{-3} \times T + 3,35 \times 10^{-3} \times A; \\ R^2 = 0,356.$$

Параметр c уравнения тесно связан, в свою очередь, с параметром a , что с высокой достоверностью ($p < 0,001$) описывает соответствующее математическое уравнение:

$$c = 0,169 + 0,512 \times \exp(-0,382 \times a); \\ R^2 = 0,736.$$

Отклонение фактических значений прироста от расчётных, описываемых для каждой ценопопуляции соответствующими математическими уравнениями, изменяется от 0 до 220 %, распределение которых в выборках почти во всех случаях практически подчиняется закону Гаусса–Лапласа (рис. 3), что свидетельствует об адекватности выбранной формы математической модели.

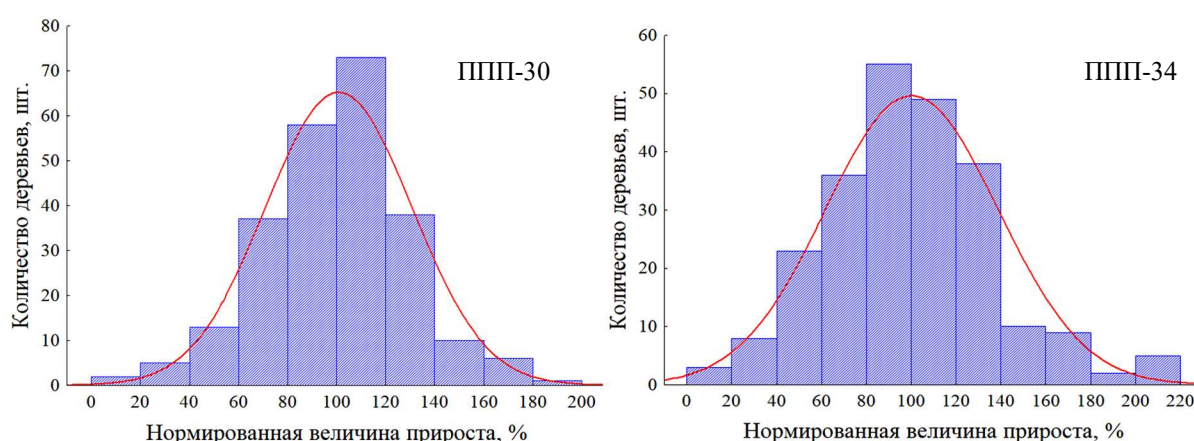


Рис. 3. Характер распределения отклонения фактических значений прироста диаметра ствола деревьев за 20 лет наблюдений на объектах исследования от расчётных

Fig. 3. Pattern of the distribution of deviations of the actual values from the calculated values of tree trunk diameter increment over 20 years of observations at the study sites

Заключение

Результаты исследований показали, таким образом, что все деревья в обследованных нами одновозрастных ценопопуляциях сосны обыкновенной сильно различаются между собой не только по размерам, но и темпам роста. В результате этого происходит непрерывная перестройка размерной структуры древостоя, описываемой целым комплексом различных показателей, каждый из которых имеет сугубо специфичное информационное значение. Текущая размерная структура древостоя – временной срез длительных медленно протекающих в нём процессов взаимодействия деревьев между собой и с другими элементами ценоза, а также с внешней средой, характеризующих внутреннее разнообразие ценопопуляции, обеспечивающих её устойчивое развитие, поставляя материал для естественного отбора особей. Внутреннее разнообразие ценопопуляций является также материалом для искусственного отбора деревьев,

т. е. целенаправленной их селекции по хозяйственно важным признакам.

Для адекватной оценки текущего состояния ценопопуляций и определения перспектив их дальнейшего развития величину параметров размерной структуры всегда необходимо сравнивать с эталоном, в качестве которого могут выступать их значения, присущие либо региональным модальным насаждениям, либо так называемым «нормальным» древостоям. Сравнение фактических значений параметров с эталонными позволили нам установить границы возможных отклонений и создать соответствующие шкалы, которые дают чёткое представление о пределах возможностей ценопопуляций к использованию ресурсов среды и реализации своего жизненного потенциала. Установлено, что надёжной основой для получения новых знаний о закономерностях динамики формирования размерной структуры древостоев является сеть стационарных пробных площадей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Свидерский В. И. О диалектике элементов и структуры в объективном мире и в познании. М.: Соцгиз, 1962. 275 с.
2. Демаков Ю. П. Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 415 с. EDN: WKWHSZ
3. Животовский Л. А. Интеграция полигенных систем в популяциях. Проблемы анализа комплекса признаков. М.: Наука, 1984. 183 с.
4. Сукачев В. Н. Растительные сообщества (введение в фитоценологию). Л.-М.: Книга, 1928. 232 с.
5. Нестеров В. Г. Вопросы современного лесоводства. М.: Сельхозгиз, 1961. 384 с.
6. Белов С. В. Лесоводство. М.: Лесная промышленность, 1983. 352 с.
7. Демаков Ю. П., Нуреева Т. В. Закономерности изменения рангового положения деревьев по их размерам в ценопопуляциях сосны обыкновенной // Лесоведение. 2019. № 4. С. 274–285. DOI: 10.1134/S0024114819030021; EDN: YHNVIT
8. Свалов Н. Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. М.: Лесная промышленность, 1979. 216 с.
9. Маслаков Е. Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесная промышленность, 1984. 165 с.
10. Лебков В. Ф. Типы строения древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 12–21.
11. Лебков В. Ф. Динамика распределения деревьев сосны по морфологическим показателям ствола и кроны // Лесоведение. 1990. № 5. С. 57–69.
12. Романовский М. Г. Полиморфизм древесных растений по количественным признакам. М.: Наука, 1994. 96 с.
13. Набатов Н. М., Свалов Н. Н. Статистики строения древостоев в оценке их продуктивности // Лесное хозяйство. 1996. № 2. С. 41–43.
14. Гурьянов М. О. Анализ процессов формирования размерной структуры древостоев методом синергетики // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2002. № 168. С. 60–67. EDN: HYWHVX
15. Цветков В. Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: Изд-во Архангельского гос. тех. ун-та, 2002. 380 с.
16. Lilja S., Kuuluvainen T. Structure of old *Pinus sylvestris* dominated forest stands along a geographic and human impact gradient in mid-boreal Fennoscandia // Silva Fennica. 2005. Vol. 39, iss. 3. Pp. 407–428. DOI: 10.14214/SF.377
17. Типы размерной и виталитетной структуры ценопопуляций *Pinus sylvestris* (Pinaceae) в условиях северной тайги (Кольский п-ов) / В. В. Горшков, Н. И. Ставрова, П. Н. Катюнин и др. // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49, № 4. С. 512–531. EDN: RCFEVF

18. Романовский М. Г., Шекалев Р. В. Система вида у древесных растений. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 212 с.
19. Кутявин И. Н. Сосновые леса Северного Приуралья: строение, рост, продуктивность. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 176 с. DOI: 10.31140/book-2018-02
20. Манов А. В., Кутявин И. Н. Размерная, возрастная и пространственная структура древостоев постпирогенных среднетаёжных сосняков на автоморфных почвах (на примере Республики Коми) // Сибирский лесной журнал. 2019. № 6. С. 100–110. DOI: 10.15372/SJFS20190611; EDN: BFNNBT
21. Prediction of Diameter Distributions with Multimodal Models Using LiDAR Data in Subtropical Plant-ed Forests / Z. Zhang, L. Cao, C. Mulverhill et al. // Forests. 2019. Vol. 10, iss. 2. Art. 125. DOI: 10.3390/f10020125
22. Ставрова Н. И., Гориков В. В., Катюнин П. Н. Разнообразие размерной структуры средневозрастных сосновых (*Pinus sylvestris* L.) древостоев в условиях северной тайги (Мурманская область) // Труды Кольского научного центра РАН. 2021. Т. 12, № 6. С. 51–56. DOI: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.006; EDN: SULUJE
23. Кутявин И. Н., Манов А. В. Динамика размерной и возрастной структуры древостоев коренных сосняков Северного Предуралья // Лесоведение. 2022. № 5. С. 504–519. DOI: 10.31857/S0024114822040064; EDN: ERCOJQ
24. Крамер Г. Математические методы статистики / пер. с англ. А. С. Мониной, А. А. Петрова; под ред. А. Н. Колмогорова. 2-е изд. М.: Мир, 1975. 648 с.
25. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 293 с.
26. Зайцев Г. Н. Математический анализ биологических данных. М.: Высшая школа, 1991. 182 с.
27. Гринин А. С., Орехов Н. А., Новиков В. Н. Математическое моделирование в экологии. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 269 с.
28. Санников С. Н., Петрова И. В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 248 с.
29. Демаков Ю. П. Структура и закономерности развития лесов Республики Марий Эл: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. 432 с. EDN: YOSWWD
30. Лесотаксационный справочник / Б. И. Грошев, С. Г. Сеницын, П. И. Мороз, И. П. Сеперович. М.: Лесная промышленность, 1980. 288 с.

Статья поступила в редакцию 15.09.2024; одобрена после рецензирования 08.11.2024; принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – биогеоэкология, дендрохронология, почвоведение, геоэкология. Автор 370 научных публикаций, в том числе 14 монографий. SPIN-код: 1270-0945

ШЕЙКИНА Ольга Викторовна – доктор биологических наук, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – популяционная и экологическая генетика древесных видов, использование ДНК-технологий в лесном семеноводстве и селекции древесных видов. Автор 78 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7507-8588>; SPIN-код: 2215-3308

ШАРАПОВ Евгений Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций и водоснабжения, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – неразрушающий контроль физико-механических свойств древесины и рациональное использование древесных ресурсов леса. Автор 136 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6500-5377>; SPIN-код: 4400-2367

КОРОЛЕВ Александр Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник департамента научной и международной деятельности, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – термическая модификация, неразрушающий контроль и определение механических свойств древесины и древесных материалов. Автор 30 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1370-1285>; SPIN-код: 8836-4618

Доступность данных и материалов: наборы данных, проанализированные в ходе исследования, являются интеллектуальной собственностью авторов.

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*181

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.6>

EDN: YZPPZM

Using the Size Structure Parameters of Stands to Assess their Current State and Development Prospects

Yu. P. Demakov , O. V. Sheikina, E. S. Sharapov, A. S. Korolev

Volga State University of Technology,

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

DemakovYP@volgatech.net 

Abstract. *Introduction.* The size structure of a stand defines its internal diversity that facilitates sustainable development of a cenopopulation by providing materials for the natural selection of specimens and their targeted artificial selection with regard to their economically important characteristics. *The aim of the study* is to improve the methods of using the size structure parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) even-aged stands in order to assess their current state and prospects for further development, as well as to identify cenopopulations valuable in terms of selective breeding. *Materials and methods.* The source material was collected from 300 permanent and temporary sample plots laid out in the even-aged pure pine stands varying in origin, age, density and growth conditions in the Republic of Mari El. On 17 permanent sample plots, circumference measurements were taken on all numbered trees and the estimation of their current diameter increment was performed periodically, every 5–10 years. The duration of observations at the stationary sites ranged from 10 to 40 years. The digital data obtained were processed on a PC using conventional methods of mathematical statistics. *Results.* The study determined the limits of variability and the key patterns of change in the values of a number of stand size structure parameters, each having its specific informative significance; relevant scores were developed for evaluating the current state and development prospects of the cenopopulations. The study has shown that a network of stationary sample plots is a reliable basis for gaining new knowledge about regularities in the dynamics of the stand size structure formation. *Conclusion.* For an adequate assessment of the current state of cenopopulations and determination of prospects for their further development, the values of size structure parameters must always be compared with a reference standard, which can be their values attributable either to regional modal stands or so-called “normal” stands.

Keywords: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.); cenopopulations; size structure; parameters; dynamics; assessment of the state; reference standards

Acknowledgments: the authors would like to thank A.V. Isaev, Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research of the State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga" for his assistance in the specimen collection. The research results were obtained using the equipment of the Core Facility Centre “Ecology, Biotechnologies and Processes for Obtaining Environmentally Friendly Energy Carriers”, Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola).

Funding: this work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-16-00220, <https://rscf.ru/en/project/23-16-00220/>

For citation: Demakov Yu. P., Sheikina O. V., Sharapov E. S., et. al. Using the Size Structure Parameters of Stands to Assess their Current State and Development Prospects. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):6–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.6>; EDN: YZPPZM

REFERENCES

1. Svidersky V. I. On the dialectic of elements and structure in the objective world and in cognition. Moscow, Socecgiz; 1962. 275 p. (In Russ.).
2. Demakov Yu. P. Diagnostics of the sustainability of forest ecosystems: methodological and methodical aspects. Yoshkar-Ola, Periodika Marij El; 2000. 415 p. EDN: WKWHSZ (In Russ.).
3. Zhivotovsky L. A. Integration of polygenic systems in populations. Problems of analyzing a complex of features. Moscow, Nauka; 1984. 183 p. (In Russ.).
4. Sukachev V. N. Plant communities (introduction to phytocenology). Leningrad-Moscow, Kniga; 1928. 232 p. (In Russ.).

5. Nesterov V. G. Issues of modern forestry. Moscow, Selhozgiz; 1961. 384 p. (In Russ.).
6. Belov S. V. Forestry. Moscow, Lesnaya Promyshlennost; 1983. 352 p. (In Russ.).
7. Demakov Yu. P., Nureeva T. V. Features of evolution of a tree size rank in coenopopulations of Scots pine. *Russian Journal of Forest Science*. 2019;(4):274–285. DOI: 10.1134/S0024114819030021; EDN: YHNVIT (In Russ.).
8. Svalov N. N. Modeling forest stand productivity and forest management theory. Moscow, Lesnaya Promyshlennost; 1979. 216 p. (In Russ.).
9. Maslakov E. L. Formation of young pine stands. Moscow, Lesnaya Promyshlennost; 1984. 165 p. (In Russ.).
10. Lebkov V. F. Types of forest stand structure. *Russian Journal of Forest Science*. 1989;(4):12–21. (In Russ.).
11. Lebkov V. F. Dynamics of the distribution of pine trees according to the morphological indicators of the trunk and crown. *Russian Journal of Forest Science*. 1990;(5):57–69. (In Russ.).
12. Romanovsky M. G. Polymorphism of woody plants according to quantitative traits. Moscow, Nauka; 1994. 96 p. (In Russ.).
13. Nabatov N. M., Svalov N. N. Statistics of the structure of forest stands in assessing their productivity. *Lesnoe Hozjajstvo*. 1996;(2):41–43. (In Russ.).
14. Gurjanov M. O. Analysis of the processes of formation of the dimensional structure of tree stands using the synergetics method. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*. 2002;(168):60–67. EDN: HYWHVX (In Russ.).
15. Tsvetkov V. F. Pine forests of the Kola forest growing region and the system of farming in them. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University; 2002. 380 p. (In Russ.).
16. Lilja S., Kuuluvainen T. Structure of old *Pinus sylvestris* dominated forest stands along a geographic and human impact gradient in mid-boreal Fennoscandia. *Silva Fennica*. 2005;39(3):407–428. DOI: 10.14214/SF.377
17. Gorshkov V. V., Stavrova N. I., Katjunin P. N. et al. Types of size and vitality structure of *Pinus sylvestris* (*Pinaceae*) coenopopulations in northern taiga (Kola Peninsula). *Rastitelnye Resursy*. 2013;49(4):512–531. EDN: RCFEVF (In Russ.).
18. Romanovsky M. G., Shchekalev R. V. Species system in woody plants. Moscow, KMK Scientific Press Ltd.; 2014. 212 p. (In Russ.).
19. Kutyavin I. N. Pine forests of the Northern Cis-Urals: structure, growth, productivity. Syktyvkar, IB Komi SC UB RAS; 2018. 176 p. DOI: 10.31140/book-2018-02 (In Russ.).
20. Manov A. V., Kutyavin I. N. Dimensional, age and spatial structure of middle taiga postfire pine stands on automorphic soils (on the example of Komi Republic). *Siberian Journal of Forest Science*. 2019;(6):100–110. DOI: 10.15372/SJFS20190611; EDN: BFNNBT (In Russ.).
21. Zhang Z., Cao L., Mulverhill C. et al. Prediction of diameter distributions with multimodal models using LiDAR data in subtropical planted forests. *Forests*. 2019;10(2):Art.125. DOI: 10.3390/f10020125
22. Stavrova N. I., Gorshkov V. V., Katyunin P. N. Variety of size structure of middle-aged pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the northern taiga (Murmansk Region). *Transactions Kola Science Centre. Applied Ecology of the North*. 2021;12(6):51–56. DOI: 10.37614/2307-5252.2021.6.12.9.006; EDN: SULUJE (In Russ.).
23. Kutyavin I. N., Manov A. V. Size and age structure dynamics in native pine forests of the Northern Cis-Urals region. *Russian Journal of Forest Science*. 2022;(5):504–519. DOI: 10.31857/S0024114822040064; EDN: ERCOJQ (In Russ.).
24. Cramer H. Mathematical methods of statistics. Transl. from English by A. S. Monin and A. A. Petrov; A. N. Kolmogorov (ed.). 2nd edition. Moscow, Mir; 1975. 648 p. (In Russ.).
25. Lakin G. F. Biometrics. Moscow, Vysshaya Shkola; 1980. 293 p. (In Russ.).
26. Zaitsev G. N. Mathematical analysis of biological data. Moscow, Vysshaya Shkola; 1991. 182 p. (In Russ.).
27. Grinin A. S., Orekhov N. A., Novikov V. N. Mathematical modeling in ecology. Moscow, YUNITI-DANA; 2003. 269 p. (In Russ.).
28. Sannikov S. N., Petrova I. V. Differentiation of Scots pine populations. Ekaterinburg, Ural Branch of RAS; 2003. 248 p. (In Russ.).
29. Demakov Yu. P. Structure and regularities of forest development in Mari El Republic. Monograph. Yoshkar-Ola, VSUT Publ.; 2018. 432 p. EDN: YOSWWD (In Russ.).
30. Groshev B. I., Sinitsyn S. G., Moroz P. I. et al. Forest taxation guide. Moscow, Lesnaya Promyshlennost; 1980. 288 p. (In Russ.).

The article was submitted 15.09.2024; approved after reviewing 08.11.2024;
accepted for publication 25.11.2024

Information about the authors

Yuri P. Demakov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Forest Plantations, Selection and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – biogeocenology, dendrochronology, soil science, geoecology. Author of 370 scientific publications including 14 monographs. SPIN: 1270-0945

Olga V. Sheikina – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Forest Plantations, Selection, and Biotechnology, Volga State University of Technology. Research interests – population and ecological genetics of woody species, use of DNA technologies in forest seed production and tree species selection. Author of 78 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7507-8588>; SPIN: 2215-3308

Evgenii S. Sharapov – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair of Structural Engineering and Water Supply, Volga State University of Technology. Research interests – nondestructive testing and evaluation of wood. Author of 136 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6500-5377>; SPIN: 4400-2367

Alexander S. Korolev – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department of Research and International Affairs, Volga State University of Technology. Research interests – thermal modification, nondestructive testing and determination of mechanical properties of wood and wood materials. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-1370-1285>; SPIN: 8836-4618

Availability of data and materials. Data sets analyzed during the study are the intellectual property of the authors.

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.

Научная статья

УДК 574.34

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.22>

EDN: AHRDDQ

Динамика демографической структуры и типов ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. в южнотаёжной подзоне

Ю. В. Гудовских [✉], Т. Л. Егошина, Ю. О. Бушуева, Е. А. Лугинина, А. А. Сорокина

ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова,

Российская Федерация, 610020, Киров, ул. Преображенская, 79

gudovskih.yulia@mail.ru [✉]

Аннотация. *Введение.* *Cypripedium calceolus* L. имеет международный и региональный статусы охраны: включён в перечень IUCN Red List Category (Europe), в списки охраняемых видов Бернской конвенции и Конвенции СИТЕС. Занесён в Красную книгу Российской Федерации (2008) и Красную книгу Кировской области (III категория статуса редкости). Взят под контроль в пределах особо охраняемых территорий Кировской области. В районе исследований области вид нуждается в разработке и организации эффективных мероприятий, основанных на демографических и ценопопуляционных параметрах вида в регионе. *Цель* исследования заключалась в выявлении фитоценотической приуроченности, анализе динамики демографической и онтогенетической структуры ценопопуляций *C. calceolus*, произрастающих в антропогенно изменённых сообществах в условиях южнотаёжной подзоны Кировской области. *Объекты и методы* исследований. Объектами исследований являлись семь ценопопуляций *C. calceolus*, изученные в различных типах леса, расположенных на склонах надпойменных террас коренного берега р. Вятки в подзоне южной тайги (Слободской район Кировской области) в период с 2021 по 2023 гг. В работе использованы общепринятые геоботанические и популяционно-онтогенетические методы и методические подходы. *Результаты.* Установлена фитоценотическая приуроченность вида в различных типах леса в южнотаёжной подзоне Кировской области. Показана динамика демографических и онтогенетических характеристик вида за трёхлетний период наблюдений (с 2021 по 2023 гг.). *Выводы.* Исследуемые ценопопуляции приурочены к молодым и средневозрастным хвойным зеленомошным, травяным и разнотравно-зеленомошным насаждениям различной степени сомкнутости. Анализ интегральных характеристик вида показал, что исследуемые ценопопуляции нормальные, неполноценные, с различной эффективностью самоподдержания (по классификации с использованием индекса восстановления), перспективные и неустойчивые (по классификации с использованием индекса замещения). Усреднённые по годам онтогенетические спектры преимущественно правостороннего типа с преобладанием группы генеративных растений. Отмечено, что основным способом самоподдержания в исследуемых ценопопуляциях является вегетативное размножение с небольшим омоложением, семенной способ размножения встречается редко. Показано, что исследуемые ценопопуляции по системе «дельта-омега» находятся в относительно стабильном молодом состоянии, в отдельные годы наблюдаются незначительные смещения в сторону омоложения или старения.

Ключевые слова: тип леса; ценопопуляция; *Cypripedium calceolus* L.; редкий вид; Красная книга; антропогенно преобразованные территории; онтогенетические спектры; численность; Кировская область; река Вятка

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

Для цитирования: Динамика демографической структуры и типов ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. в южнотаёжной подзоне / Ю. В. Гудовских, Т. Л. Егошина, Ю. О. Бушуева и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4 (64). С. 22–35. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.22>; EDN: AHRDDQ

© Гудовских Ю. В., Егошина Т. Л., Бушуева Ю. О., Лугинина Е. А., Сорокина А. А., 2024

Введение

Важнейшая задача, стоящая перед современной наукой, – это сохранение биоразнообразия. К числу семейств, наиболее подверженных воздействию антропогенного фактора, относится семейство *Orchidaceae* Juss., представители которого требуют детального исследования, мониторинга и разработки мер по сохранению. Более половины представителей семейства Орхидных являются редкими и охраняемыми видами [1]. *Cypripedium calceolus* L. (Венерин башмачок настоящий) – многолетнее травянистое короткостебельное поликарпическое растение неяснополюсцентрической биоморфы [2, 3]. Жизненная форма по классификации К. Раункиера – криптофит. Вид имеет международный и региональный статус охраны. В странах Европы *C. calceolus* включён в перечень IUCN Red List Category (Europe) со статусом Least concern, LC (Вызывающие наименьшие опасения) [4] и в списки охраняемых видов Бернской конвенции и Конвенции СИТЕС [3, 5]. Занесён в Красную книгу Российской Федерации (2008) со статусом 3б (редкий вид) [6] и Красную книгу Кировской области (III категория статуса редкости) [7]. Охраняется в пределах территории ГПЗ «Нургуш», взят под охрану в заказнике «Былина» и «Пижемский», в памятниках природы «Медведский бор», «Красная гора у д. Паска», «Озеро «Осиновое», «Озеро «Кротовское», «Заросли орешника (лещины) у д. Средняя Тойма». Башмачок настоящий отмечен в 20 районах области, преимущественно в центральных и южных.

Ареал *C. calceolus* охватывает всю Европу (кроме крайнего юга и севера), включая Крым и Средиземноморье, а также значительную часть Азии – растёт в Малой Азии, в Сибири, на Дальнем Востоке. Кроме того, он встречается на северо-востоке Казахстана, в Монголии, в северо-восточном Китае, на Корейском полуострове и в северной Японии [1].

Изученность популяционных характеристик *C. calceolus* достаточно высокая как за рубежом [3, 8, 9], так и в европейской части России, в том числе в Мурманской области [10, 11], Карелии [12], Республике Коми [13, 14], Архангельской области [15, 16] и в средней полосе [17, 18].

В Кировской области имеющиеся сведения о состоянии вида весьма отрывочны и в целом недостаточны для разработки и организации эффективных мероприятий по сохранению вида [19, 20, 21].

Цель данного исследования состояла в выявлении фитоценотической приуроченности, анализе динамики демографической и онтогенетической структуры ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L., произрастающих на склоновых элементах второй надпойменной террасы р. Вятки в условиях южнотаёжной подзоны Кировской области.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись семь ценопопуляций (ЦП) *C. calceolus*, изученные в различных типах леса в подзоне южной тайги (Слободской район Кировской области, окр. д. Успенское и д. Бакули) (рис. 1) в период с 2021 по 2023 гг. (табл. 1).



Рис. 1. Картосхема расположения ЦП, заложенных в окрестностях: а) с. Успенское (ЦП 1, 2, 2а), б) д. Бакули (ЦП 3, 4, 5, 6а)

Fig. 1. Location map of cenopopulations laid in the vicinity of: a) Uspenskoye village (CP 1, 2, 2a), b) Bakuli village (CP 3, 4, 5, 6a)

Таблица 1. Характеристика исследуемых местообитаний *C. calceolus*Table 1: Characteristics of the studied habitats of *C. calceolus*

№ ЦП	Места произрастания	Тип леса	Древостой			Травяно-кустарничковый ярус (ТКЯ)	
			состав	сомкнут. крон	возраст, лет	доминанты ТКЯ	видовое богатство
1	Вершина крутого склона юго-западной экспозиции 2 надпойменной террасы р. Вятки (окр. с. Успенское)	Елово-пихтовый зеленомошный лес	7ЕЗП	0,3	40-50	<i>Rubus saxatilis</i> , <i>Solidago virgaurea</i> , <i>Ajuga reptans</i> , <i>Lathyrus vernus</i>	13
2	Вершина склона юго-восточной экспозиции 2 надпойменной террасы р. Вятки (окр. с. Успенское)	Елово-пихтовый зеленомошный лес	4Е6П	0,2	60-70	<i>Viola mirabilis</i> , <i>Ajuga reptans</i> , <i>Asarum europaeum</i>	12
2а	Вершина склона юго-восточной экспозиции 2 надпойменной террасы р. Вятки, окраина зарастающего поля (окр. с. Успенское)	Пихтовый зеленомошный лес	9П1Е	0,6	70-80	<i>Rubus saxatilis</i> , <i>Actaea europaea</i>	9
3	Окр. д. Бакули, вдоль пологого склона юго-восточной экспозиции 2 надпойменной террасы р. Вятки	Еловый травяной лес	9Е1С	0,4	80	<i>Melica nutans</i> , <i>Rubus saxatilis</i> , <i>Actaea europaea</i>	14
4	Пологий склон юго-восточной экспозиции 2 надпойменной террасы р. Вятки (окр. д. Бакули)	Сосново-еловый травяной лес	6С3Е 1П+Ос	0,5	40-50	<i>Rubus saxatilis</i> , <i>Actaea europaea</i> , <i>Briza media</i>	11
5	Холмы техногенного характера, образовавшиеся на известковых обнажениях 2 надпойменной террасы р. Вятки (окр. д. Бакули)	Сосновый травяной лес	9С1И	0,3	30	<i>Pyrola rotundifolia</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Gymnadenia conopsea</i> , <i>Listera ovata</i> , <i>Epipactis helleborine</i>	13
6а	Крутые холмы техногенного характера, образовавшиеся на известковых обнажениях 2 надпойменной террасы р. Вятки (окр. д. Бакули)	Елово-сосновый травяно-зеленомошный лес	5Е5С	0,2	30	<i>Trifolium hybridum</i> , <i>Actaea europaea</i>	12

Исследуемые ЦП вида занимают верхние и средние притеррасные склоны надпойменной террасы р. Вятки и произрастают на дерново-карбонатных суглинистых почвах, формирующихся на обнажениях склонов в местах выходов известняковых пород и на отвалах старого известнякового карьера.

В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 № 367 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации Перечня лесных районов РФ» [22], территория Слободского городского лесничества отнесена к южнотаёжному району европейской части Российской Федерации таёжной зоны.

Климат исследуемой территории [23] – влажный континентальный с тёплым летом и холодной зимой. Среднегодовая сумма осадков составляет 550–600 мм, 70 % осадков выпадает в тёплый период. Характерной особенностью климата является большое разнообразие и неустойчивость погоды как при переходе от одного сезона к другому, так и в течение одного сезона.

Погодные характеристики за период исследований (2021–2023 гг.) приведены по данным [23] в табл. 2. Наиболее засушливым (количество осадков в вегетационный период=150 мм) и тёплым (сумма температур в вегетационный период составила 52,2 °C) характеризовался 2021 год.

Высокая доля осадков, по сравнению со среднемноголетними величинами, наблюдалась в 2023 году (376 мм). Наиболее холодный (среднесуточная температура варьировала от 8,1 до 19,5 °C) и умеренно влажный (212 мм) весенне-летний период приходился на 2022 год.

В работе использовали общепринятые геоботанические [25] и популяционно-онтогенетические методы и методические подходы [26].

Онтогенетические состояния *C. Calceolus* определяли по описанию онтогенеза, выполненному М. Б. Фардеевой [27]. В онтогенезе башмачка выделены три онтогенетических периода и пять онтогенетических состояний: *j* – ювенильное, *im* – имматурное, *v* – виргинильное, *g* – генеративное и *s* – сенильное.

Применены периодизация онтогенеза и определение типа ценопопуляций, предложенных Т. А. Работновым [28], А. А. Урановым и О. В. Смирновой [29]. Тип онтогенетического спектра определён согласно рекомендациям Л. А. Жуковой с соавторами [26]. Сравнительный анализ интегральных характеристик вида для оценки эффективности самоподдержания проводили с использованием популяционных индексов восстановления и замещения [30], доли генеративных растений по отношению к общей численности – (*Ig*) [31]. Ординация в системе «дельта-омега» выполнена в соответствии с рекомендациями Л. А. Животовского [32].

Таблица 2. Основные климатические параметры *C. calceolus* в вегетационные периоды (май–июль) в период с 2021 по 2023 гг. в Слободском районе

Table 2. Main climatic parameters of *C. calceolus* during growing seasons (May–July) in the period 2021–2023 in Slobodskoy district

Параметр	Месяц	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее многолетнее 1966–2004 гг. [24]
Среднесуточная температура, °C	май	14,7	8,1	13,3	10,9
	июнь	19,3	15,3	13,6	16,1
	июль	18,2	19,5	18,4	18,4
Количество осадков, мм	май	58	63	92	57
	июнь	53	118	130	78
	июль	39	31	154	74

В качестве счётной единицы использовали надземный парциальный побег (НПП).

Названия видов приведены в соответствии с базой данных The Plant List [33].

Статистическая обработка данных выполнена в соответствии с общепринятыми методами [34].

Результаты и их обсуждение

В условиях южнотаёжной подзоны *C. calceolus* встречается, преимущественно, в елово-пихтовых, пихтовых, еловых, сосновых и смешанных елово-сосновых и сосново-еловых разнотравных и зеленомошных типах леса с сомкнутостью крон древостоя от 0,2 до 0,6 (табл. 1). Первый ярус древесных насаждений в растительных сообществах сформирован, преимущественно, *Picea obovata*, *Pinus sylvestris* и *Abies sibirica*, реже встречается *Populus tremula*. Возраст древостоя варьирует от 30 (ЦП 5 и 6а, сформированные на технозёме) до 80 лет (ЦП 1, 2а и 3). В пологе возобновления отмечены *A. sibirica* и *P. obovata*.

Видовой состав подлеска относительно богат и представлен 11 видами: *Sorbus aucuparia*, *Salix caprea*, *Frangula alnus*, *Daphne mezereum*, *Lonicera xylosteum*, *Viburnum opulus*, *Rosa majalis*, *Rhamnus cathartica*, *Ribes spicatum*, *Amelanchier spicata* и *Chamaecytisus ruthenicus*. В большинстве исследуемых ЦП сомкнутость полога подлеска не превышает 0,3, за исключением ЦП 6а, описанной в елово-сосновом разнотравно-зеленомошном лесу, где ярус кустарников среднесомкнут (0,5).

В составе флорокомплекса обследованных сообществ с участием *C. calceolus* выявлено 72 вида сосудистых растений, среди которых отмечены и другие редкие виды из сем. *Orchidaceae*: *Epipactis atrorubens*, *Epipactis helleborine*, *Listera ovata*, *Gymnadenia conopsea*. Травяно-кустарничковый ярус (ТКЯ) сложен, преимущественно, типичными представителями бореальных лесов: *Luzula pilosa*, *Linnaea borealis* и др. Значительно участие в сложении ТКЯ видов неморального происхождения – *Ajuga*

reptans, *Asarum europaeum*, *Maianthemum bifolium*, *Lathyrus vernus* и др. Общее проективное покрытие ТКЯ в сообществах с *C. calceolus* варьирует от 25 до 60 %.

Мохово-лишайниковый покров в исследуемых сообществах фрагментарный, либо не сформирован. Покрытие мхов не превышает 30 % от общего напочвенного покрытия исследованных площадей, за исключением ЦП 1, где проективное покрытие мхов достигает 60 %. Напочвенный покров сформирован, преимущественно, представителями зелёных мхов – *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. и *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch.

В целом, видовое богатство растительных сообществ с участием *C. calceolus* представлено 199 таксонами. Постоянными спутниками башмачка в ТКЯ являются лишь 3 % общего состава флоры (пять видов) – типичные представители борových и лугово-лесных фитоценозов – *Rubus saxatilis*, *Orthilia secunda*, *Solidago virgaurea*, *Lonicera xylosteum*.

Все изученные ЦП произрастают в условиях антропогенной нарушенности разной степени. Большая часть исследуемых ЦП произрастает в фитоценозах, сформировавшихся под воздействием многократных пожаров различной давности, либо рубок ухода, вблизи пеших троп и автодорог. ЦП 5 и 6а, описанных в окрестностях д. Бакули, произрастающих на холмах техногенного характера, образовавшихся на известковых обнажениях отработанного известкового карьера. Вблизи местообитаний вида также расположены биатлонные трассы, стрельбище, пешие тропы, автодороги.

Результаты наблюдений за динамикой демографических параметров представлены в табл. 3. На исследуемой территории *C. calceolus* образует отдельные небольшие куртины, которые могут состоять из 20 и более побегов разного возраста. Распределение по площади – диффузно-групповое. Проективное покрытие башмачка в ТКЯ обследуемых биотопов изменяется от 8 до 30 %.

Таблица 3. Динамика демографических показателей ценопопуляций *C. calceolus*
 Table 3. Dynamics of the demographic parameters of *C. calceolus* cenopopulations

№ ЦП	Годы	Численность	Ів. (Жукова, 1995)	Із. (Жукова, 1995)	Іg (Животовский, Османова, 2019)	І воз. (Δ) (Уранов, 1975)	І эфф. (ω) (Животовский, 2001)	Тип ЦП «дельта-омега» (Животовский, 2001)	Тип спектра
1	2021	68	3,60	3,44	0,22	0,12	0,35	молодая	левосторонний
	2022	175	2,57	2,57	0,28	0,15	0,47	молодая	левосторонний
	2023	127	0,98	0,98	0,50	0,19	0,57	молодая	правосторонний
2	2021	56	0,60	0,60	0,63	0,21	0,64	зреющая	правосторонний
	2022	117	1,05	1,05	0,49	0,19	0,58	молодая	правосторонний
	2023	41	1,16	1,16	0,46	0,18	0,56	молодая	правосторонний
2а	2021	34	0,36	0,36	0,74	0,22	0,66	зреющая	правосторонний
	2022	352	2,52	2,52	0,28	0,12	0,38	молодая	бимодальный ¹
	2023	79	0,76	0,76	0,57	0,20	0,62	зреющая	правосторонний
3	2021	47	4,22	4,22	0,19	0,13	0,42	молодая	левосторонний
	2022	133	2,80	2,80	0,26	0,14	0,46	молодая	левосторонний
	2023	74	3,11	3,11	0,24	0,13	0,43	молодая	левосторонний
4	2021	48	0,30	0,30	0,77	0,23	0,69	зреющая	правосторонний
	2022	328	4,21	4,21	0,19	0,14	0,45	молодая	левосторонний
	2023	226	0,61	0,61	0,62	0,21	0,63	зреющая	правосторонний
5	2021	216	2,79	2,79	0,26	0,12	0,38	молодая	бимодальный ¹
	2022	97	1,77	1,77	0,36	0,15	0,49	молодая	левосторонний
	2023	321	3,06	3,06	0,25	0,12	0,40	молодая	бимодальный ¹
6а	2021	91	0,57	0,57	0,64	0,20	0,61	зреющая	бимодальный ²
	2022	178	2,26	2,26	0,31	0,14	0,44	молодая	бимодальный ¹
	2023	47	0,64	0,64	0,61	0,19	0,58	молодая	бимодальный ²

Примечание: ¹ – с абс. max на im, локальным пиком на g; ² – с абс. max на g, локальным пиком на im

Общая численность вида с 2021 по 2023 гг. значительно варьировала в зависимости от метеоусловий вегетационного сезона. Так, наибольшие средние значения показателя отмечены в 2022 году, характеризовавшемся прохладной и влажной весной и началом лета (197 НПП), в два раза меньше – в 2023 году (107 НПП), наименьшие – в 2021 году, с сухим и жарким началом лета (80 НПП). Плотность вида в исследуемых ЦП была невысокой и варьировала от 1 до 3 НПП/м².

Исследования ряда авторов [11, 12, 16, 21] на северном пределе распространения вида доказывают достоверное влияние температурных условий предыдущего и текущего года на численность вида. В центральной части ареала зависимостей между погодными флуктуациями и популяционными характеристиками *C. calceolus* не установлено [17].

Размножение особей в исследуемых ЦП преимущественно вегетативное, реже – семенное. Побеги семенного происхождения отмечены единично. По мнению ряда авторов [3, 18], в том числе в Кировской области [21], вероятными причинами отсутствия семенного способа самоподдержания, помимо климатических условий в регионе произрастания, являются фитоценоотические особенности местообитаний (сомкнутость древостоя и подлеска, густой травянистый ярус).

Анализ онтогенетической структуры *C. calceolus* позволил установить, что все изученные ЦП нормальные, неполночленные (рис. 2). В обобщённых онтогенетических спектрах доля онтогенетических групп изменяется по годам. Так, в 2021 и 2023 гг. абсолютный максимум приходился на генеративную группу. В 2022 году максимум онтогенетического спектра сместился на виргинильные растения и спектр приобрёл левосторонний характер.

Большинство исследуемых ЦП (39 %) имеют правосторонний характер онтогенетического спектра (см. табл. 3), реже отмечен бимодальный тип спектра (33 %). Левосторонний тип спектра установлен для 28 % изученных ЦП.

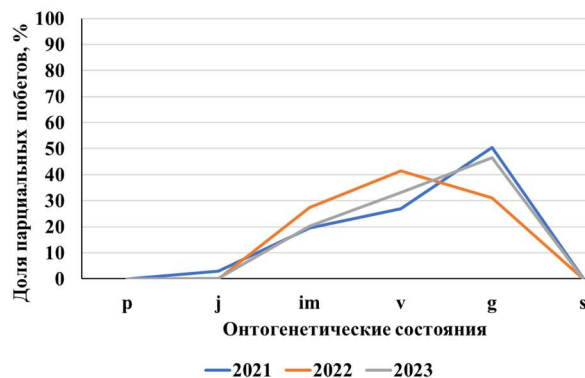


Рис. 2. Усреднённые онтогенетические спектры ценопопуляций *C. calceolus* в динамике с 2021 по 2023 гг. Условные обозначения: по оси абсцисс – онтогенетическое состояние: im – имматурное,

v – виргинильное, g – генеративное, s – сенильное; по оси ординат – доля особей, %

Fig. 2. Averaged ontogenetic spectra of *C. calceolus* cenopopulations: dynamics from 2021 to 2023.

On the abscissa axis – ontogenetic state: im – immature, v – virginile, g – generative, s – senile; on the ordinate axis – proportion of specimens, %

Следует отметить, что побеги взрослого вегетативного и генеративного состояний были относительно постоянны в онтогенетической структуре ЦП башмачка в период исследований, их процент участия изменялся от 27 до 41 % и от 31 до 51 %, соответственно. Доля ювенильных растений стабильно невысокая (0,04–3 %). Во всех изученных ЦП отсутствовали протокормы.

Следует отметить, что такие типы спектров в целом характерны для короткокорневищных видов со сложным онтогенезом и неглубоким омоложением. Постгенеративная фракция башмачка встречалась крайне редко: сенильные особи отмечены в 2021 году: на их долю пришлось менее 1 %. Это связано с биологическими особенностями вида: после утраты репродуктивных функций растение быстро погибает [27].

По индексу замещения (Iз.), оценивающему число потомков, приходящихся на одно взрослое растение генеративного или постгенеративного периодов, среди исследуемых ценопопуляций выделены два типа популяций: неустойчивые (Iз < 1)

и перспективные ($I_z > 1$). Популяции угасающего типа ($I_z = 0$) за все годы наблюдений не выявлены. ЦП 3 и 5 на протяжении периода исследований характеризовались как стабильно перспективные, среди остальных ЦП наблюдался постепенный переход от одного типа к другому или чередование типов.

Индекс зрелости (I_g) варьирует в среднем диапазоне значений – от 0,19 до 0,64. Наибольшие значения данного параметра отмечены в ЦП 2а и 4 в 2021 году: доля генеративных растений в онтогенетической структуре популяции составила более 70 % ($I_g > 0,7$).

Индекс восстановления (I_v), характеризующий способность молодого поколения восстановить часть генеративной

фракции после её отмирания, изменялся от 0,3 (в 2021 году, ЦП 4) до 4,22 (в 2021 году, ЦП 3) (табл. 4). ЦП 3 характеризовалась стабильно высокой эффективностью самоподдержания в период наблюдений (в соответствии с условными границами возможностей самоподдержания) [31]. В остальных ценопопуляциях наблюдается варьирование между сильной, умеренной и слабой эффективностью самоподдержания за счёт выпадения, либо увеличения прегенеративной части онтогенетического спектра.

Величина индекса возрастности (Δ) в исследуемых ЦП варьирует в узких пределах от 0,31 до 0,40. Индекс эффективности (ω) не превышает 0,74 и свидетельствует о молодости изученных ЦП.

Таблица 4. Соотношение и оценка эффективности самоподдержания ценопопуляций *C. calceolus* в динамике

Table 4. Ratios and estimation of the self-sustaining efficiency of *C. calceolus* cenopopulations over time

№ ЦП	Годы	Соотношение различных онтогенетических групп, % pl;j:im:v:g:ss:s	Количество куртин, абс. число	Эффективность самоподдержания ЦП
1	2021	0:17:36:25:20:1:0	3	эффективно
	2022	0:0:20:52:28:0:0	4	эффективно
	2023	0:0:13:36:50:0:0	2	слабо
2	2021	0:0:5:32:63:0:0	5	слабо
	2022	0:0:6:45:49:0:0	7	умеренно
	2023	0:0:12:41:46:0:0	1	умеренно
2а	2021	0:0:12:15:74:0:0	7	слабо
	2022	0:0:61:11:28:0:0	5	эффективно
	2023	0:0:5:38:57:0:0	5	слабо
3	2021	0:0:28:53:19:0:0	1	эффективно
	2022	0:0:24:50:26:0:0	5	эффективно
	2023	0:0:34:42:24:0:0	4	эффективно
4	2021	0:0:6:17:77:0:0	1	слабо
	2022	0:0:16:65:19:0:0	3	эффективно
	2023	0:0:7:31:62:0:0	6	слабо
5	2021	0:7:49:18:26:0:0	1	эффективно
	2022	0:0:27:37:36:0:0	3	умеренно
	2023	0:1:45:30:25:0:0	4	эффективно
6а	2021	0:0:20:16:20:64:0:0	3	слабо
	2022	0:0:38:31:31:0:0	2	эффективно
	2023	0:0:15:15:70:0:0	4	слабо

Распределение ценопопуляции *C. Calceolus* в системе «дельта-омега» представлено на рис. 3–5. Состояние исследованных ценопопуляций *C. calceolus* изменялось по годам и оценено в диапазоне от «молодых» до «зреющих». Выявлено три типа динамики состояния ценопопуляций по классификации «дельта-омега» Л. А. Животовского [32]. К первому типу относятся относительно стабильные ЦП, состояние которых свидетельствует о благоприятных условиях для произрастания вида. В период исследований ЦП 1, 3 и 5 находились в молодом состоянии. Для второго типа характерно некоторое омоложение состояния ЦП: для ЦП 2 и 6а наблюдается постепенное смещение состояния ЦП из «зреющей» в «молодую». Для остальных ЦП (2а и 4) характерно чередование состояний. Например, ЦП 2а характеризуется волнообразной динамикой – переходом из состояния «зреющая» в статус молодой в 2022 году, а в 2023 году – снова в статус «зреющей» (рис. 3–5).

Стоит отметить, что в наиболее благоприятных климатических условиях вегетационного сезона 2022 года (тёплая и влажная весна и начало лета) большинство ЦП находились в молодом состоянии.

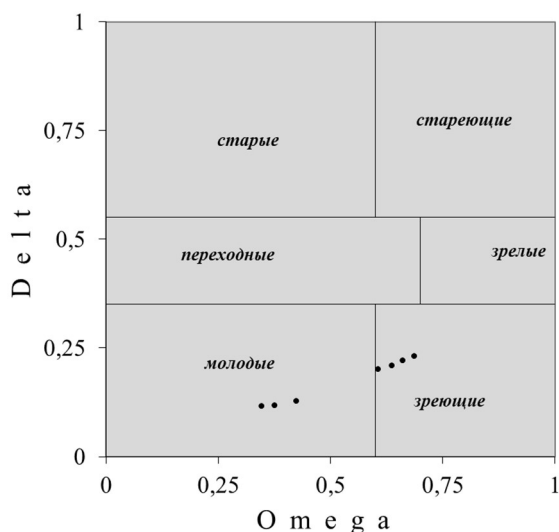


Рис. 3. Ординация исследуемых ЦП в системе «дельта-омега» Л. А. Животовского [32] в 2021 году
Fig. 3. Ordination of the studied cenopopulations in the "delta-omega" system of L.A. Zhivotovskiy [32] in 2021

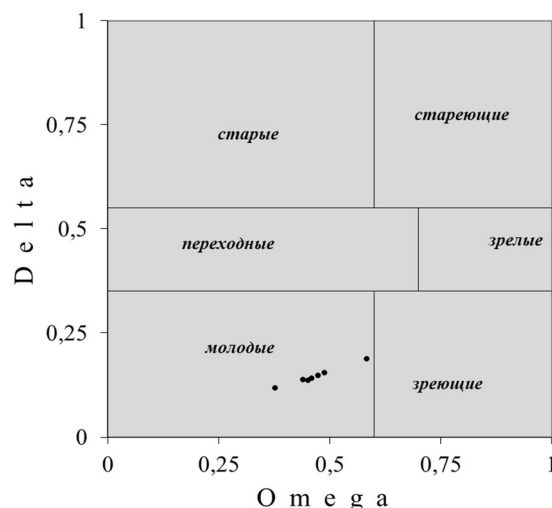


Рис. 4. Ординация исследуемых ЦП в системе «дельта-омега» Л. А. Животовского [32] в 2022 году
Fig. 4. Ordination of the studied cenopopulations in the "delta-omega" system of L.A. Zhivotovskiy [32] in 2022

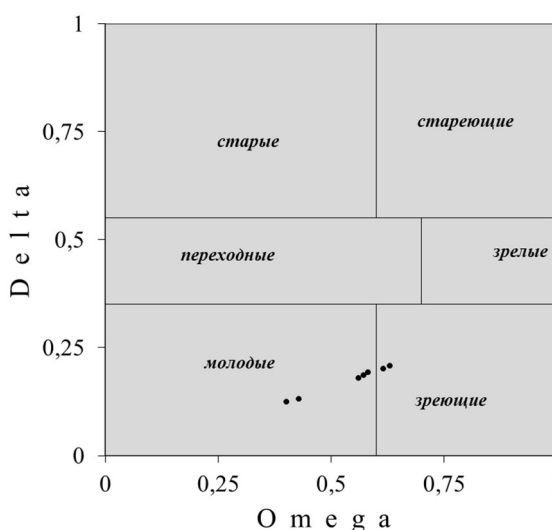


Рис. 5. Ординация исследуемых ЦП в системе «дельта-омега» Л. А. Животовского [32] в 2023 году
Fig. 5. Ordination of the studied cenopopulations in the "delta-omega" system of L. A. Zhivotovskiy [32] in 2023

Выводы

В условиях южнотаёжной подзоны *C. calceolus* приурочен к молодым и средневозрастным хвойным зеленомошным, травяным и разнотравно-зеленомошным лесам различной степени антропогенной нарушенности с густым подлеском из типичных бореальных кустарников. В ярусе древостоя слабой и средней степени сомкнутости доминировали *Picea obovata*, *Pinus sylvestris* и *Abies sibirica*.

Мониторинг состояния ЦП *Cypripedium calceolus* L. за трёхлетний период наблюдений показал вариабельность динамики демографических и онтогенетических характеристик вида. Средняя численность побегов в исследуемых ЦП изменялась от 80 НПП в условиях сухого и жаркого начала лета (в 2021 году) до 197 НПП в 2023 году, характеризовавшемся прохладной и влажной весной и началом лета.

Анализ онтогенетической структуры *C. calceolus* позволил установить, что усреднённые по годам онтогенетические спектры имели правосторонний характер (в 2021 и 2023 гг.), в 2022 году отмечен левосторонний тип.

Основным способом самоподдержания в исследуемых ЦП является вегетативное размножение с небольшим омоложением, семенной способ размножения встречается редко.

Анализ интегральных характеристик вида в динамике показал, что все изученные ЦП нормальные, неполноценные, со слабыми, умеренными и эффективными темпами самоподдержания.

Все ЦП по системе «дельта-омега» в 2022 году находились в относительно стабильном «молодом» состоянии, в 2021 и 2023 гг. наблюдались незначительные смещения в сторону омоложения или старения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вахрамеева М. Г., Варлыгина Т. И., Татаренко И. В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2014. 511 с.
2. Денисова Л. В., Вахрамеева М. Г. Род башмачок (венерин башмачок) – *Cypripedium* L. // Биологическая флора Московской области. М.: Изд-во Московского университета, 1978. Вып. 4. С. 62–70.
3. Kull T. *Cypripedium calceolus* L. // Journal of Ecology. 1999. Vol 87, iss. 5. Pp. 913–924. DOI: 10.1046/j.1365-2745.1999.00407.x
4. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. URL: <https://www.iucnredlist.org> (дата обращения: 10.09.2024).
5. European Red List of Vascular Plants / M. Bilz, S. P. Kell, N. Maxted et al. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011. 131 p. DOI: 10.2779/8515
6. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / отв. редактор: Л. В. Бардунов, А. С. Новиков. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с. EDN: TCNFXR
7. Красная книга Кировской области: животные, растения, грибы. 2-е изд. / Сост.: О. Г. Баранова, Т. Л. Егошина, Л. В. Кондакова и др. Киров: Кировская областная типография, 2014. 336 с. EDN: UASRHR
8. Nicolè F., Brzosko E., Till-Bottraud I. Population viability analysis of *Cypripedium calceolus* in a protected area: longevity, stability and persistence // Journal of Ecology. 2005. Vol. 93, iss. 4. Pp. 716–726. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2005.01010.x
9. Genetic diversity of *Cypripedium calceolus* at the edge and in the centre of its range in Europe / E. Brzosko, A. Wróblewska, M. Ratkiewicz et al. // Annales Botanici Fennici. 2009. Vol. 46, iss. 3. Pp. 201–214. DOI: 10.5735/085.046.0303
10. Воробьева Е. Г., Москвичева Л. А. Материалы по биологии венерина башмачка *Cypripedium calceolus* L. в Кандалакшском заповеднике // Редкие виды растений в заповедниках. М.: ЦНИЛ Главохоты РСФСР, 1987. С. 137–146.
11. Блинова И. В. Популяции орхидных на северном пределе их распространения в Европе (Мурманская область): влияние климата // Экология. 2008. № 1 С. 28–35. EDN: IBYSEJ
12. Дьячкова Т. Ю., Шуйская Е. А., Милевская С. Н. Динамика состояния популяций *Cypripedium calceolus* L. в заповеднике «Кивач» (Карелия) // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера: материалы XI Перфильевских научных чтений, посвящённых 125-летию со дня рождения И. А. Перфильева, Архангельск, 23–25 мая 2007 г. В 2-х ч. Архангельск: изд-во АГТУ, 2007. Ч. 1. С. 44–47.
13. Биология и экология редких растений Республики Коми: монография / В. А. Мартыненко, И. И. Полетаева, Б. Ю. Тетерюк и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 182 с. EDN: QKMJYN
14. Кириллова И. А. Орхидные Печоро-Илычского заповедника (Северный Урал): монография. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2010. 144 с. EDN: QKTLCL
15. Федченко И. А., Пучнина Л. В. Сезонная и разнгодовая динамика ценопопуляций *Calypso bulbosa* (L.) Oakes и *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) в Пинежском заповеднике // Роль ботанических садов и охраняемых природных территорий в изучении и сохранении разнообразия растений и грибов: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ярославль, 13–16 октября 2011 г. Ярославль: изд-во ЯГПУ, 2011. С. 155–158.
16. Пучнина Л. В. Состояние популяций *Calypso bulbosa* и *Cypripedium calceolus*

(*Orchidaceae*) в Пинежском заповеднике // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2017. Т. 2, № S1. С. 125–150. DOI: 10.24189/ncr.2017.023; EDN: YMDDFN

17. Фардеева М. Б., Чижикова Н. А., Красилюкова О. В. Многолетняя динамика онтогенетической и пространственной структуры ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2010. Т. 152, №3. С. 159–173. EDN: NBQDNN

18. Сравнительная характеристика ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. (*Orchidaceae*, *Monocotyledones*) в Республике Мордовия / А. А. Хапугин, А. А. Семчук, Т. Б. Силаева и др. // Поволжский экологический журнал. 2014. № 3. С. 403–410. EDN: SYBFUV

19. Эколого-фитоценотическая и демографическая характеристика ценопопуляций *Cypripedium calceolus* (*Orchidaceae*) в условиях южнотазовых лесов Кировской области / Н. Ю. Чиркова, В. Н. Сулейманова, Т. Л. Егошина и др. // Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология. 2011. № 24. С. 117–126. EDN: OPIMAF

20. Егорова Н. Ю., Егошина Т. Л. Новые местонахождения редких и нуждающихся в охране сосудистых растений выработанных торфяных месторождений (Кировская область) // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 3(24). С. 35–41. EDN: XUXHRB

21. Егорова Н. Ю., Сулейманова В. Н., Егошина Т. Л. Динамика демографической структуры ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. (*Orchidaceae*) в долине реки Вятка // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2020. Т. 125, № 2. С. 51–59. EDN: JXRWIA

22. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации Перечня лесных районов РФ: приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18.08.2014 № 367. URL: <https://minjust.consultant.ru/files/11733> (дата обращения: 15.09.2024).

23. Погода в 240 странах мира. URL: <https://rp5.ru/> (дата обращения: 13.09.2024).

24. Переведенцев Ю. П., Френкель М. О., Шаймарданов М. З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области: монография. Казань: КГУ, 2010. 241 с. EDN: OTSWBJ

25. Методы изучения лесных сообществ: монография / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков и др. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2002. 240 с. EDN: YSEXKF

26. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура): монография / О. В. Смирнова, Л. Б. Заугольнова, И. М. Ермакова. М.: Наука, 1976. 217 с. EDN: RECZX

27. Фардеева М. Б. Онтогенез башмачка настоящего, или Венерина башмачка (*Cypripedium calceolus* L.) // Онтогенетический атлас лекарственных растений. Йошкар-Ола: МарГУ, 2002. Т. 3. С. 114–119.

28. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах // Труды БИН АН СССР. Серия III. Геоботаника. М.-Л.: АН СССР, 1950. Вып. 6. С. 7–204.

29. Уранов А. А., Смирнова О. В. Классификация и основные черты развития популяций многолетних растений // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1969. Т. 74, № 1. С. 119–134.

30. Жукова Л. А. Популяционная жизнь луговых растений: монография. Йошкар-Ола, РИИК «Ланар», 1995. 224 с.

31. Животовский Л. А., Османова Г. О. Популяционная биогеография растений. Йошкар-Ола: ООО «Вертола», 2019. 128 с. EDN: WCNJHR

32. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7. EDN: KLQNCL

33. The Plant List. URL: <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения: 15.09.2024).

34. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / отв. ред. В. Н. Былов. М.: Наука, 1984. 424 с.

Статья поступила в редакцию 14.10.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024; принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторах

ГУДОВСКИХ Юлия Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела экологии и ресурсосведения растений, Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова. Область научных интересов – экология, биологические ресурсы. Автор 50 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-0803>; SPIN-код: 5438-0187

ЕГОШИНА Татьяна Леонидовна – доктор биологических наук, профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения растений, Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова. Область научных интересов – экология, биологические ресурсы. Автор 400 научных публикаций, в том числе 12 монографий. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4663-2332>; SPIN-код: 6737-1267

БУШУЕВА Юлия Олеговна – младший научный сотрудник отдела экологии и ресурсо-ведения растений, Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова. Область научных интересов – экология, биологические ресурсы. Автор 23 научных публикаций. SPIN-код: 7725-6795

ЛУГИНИНА Екатерина Андреевна – научный сотрудник отдела экологии и ресурсо-ведения растений, Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова. Область научных интересов – экология, биологические ресурсы. Автор 105 научных публикаций. SPIN-код: 3973-5545

СОРОКИНА Анастасия Андреевна – младший научный сотрудник отдела экологии и ресурсо-ведения растений, Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова. Область научных интересов – экология, биологические ресурсы. Автор 15 научных публикаций. SPIN-код: 3294-3276

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 574.34

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.22>

EDN: AHRDDQ

Dynamics of the Demographic Structure and Types of *Cypripedium Calceolus* L. Cenopopulations in the Southern Taiga Subzone

Yu. V. Gudovskikh[✉], T. L. Egoshina, Yu. V. Bushueva, E. A. Luginina, A. A. Sorokina

Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming,
79, Preobrazhenskaya St., Kirov, 610020, Russian Federation
gudovskih.yulia@mail.ru [✉]

Abstract. *Introduction.* *Cypripedium calceolus* L. has an international and regional protection status. It is classified into a category of the IUCN Red List (Europe) and included in the lists of species protected by the Bern Convention and the CITES Convention. The species is listed in the Red Data Book of the Russian Federation (2008) and the Red Data Book of the Kirov Region (conservation status category III). It is taken under control within the specially protected areas of the Kirov Region. In the studied area, protecting the species requires the development and organization of effective measures based on the demographic and cenopopulation parameters of the species in the region. *The aim* of the research was to identify the phytocenotic confinement and analyze the demographic and ontogenetic structure dynamics of the *C. calceolus* cenopopulations growing in anthropogenically modified communities in the southern taiga subzone of the Kirov Region. *Objects and methods.* From 2021 to 2023, seven *C. calceolus* cenopopulations were studied in various types of forests growing on the slopes of the above-floodplain terraces of the Vyatka River valley side in the southern taiga subzone (Slobodskoy district of the Kirov Region). Conventional geobotanical and population-ontogenetic methods and methodological approaches were employed in the research. *Results.* The study determined the phytocenotic confinement of the species in different forest types within the southern taiga subzone of the Kirov Region. The dynamics of the demographic and ontogenetic characteristics of the species over a 3-year observation period (from 2021 to 2023) was revealed. *Conclusion.* The studied cenopopulations are confined to young and middle-aged coniferous-green moss, grass and forb-green moss stands of varying stocking levels. Analysis of the integral characteristics of the species showed that the studied cenopopulations are normal, incomplete, with varying self-sustaining efficiency (according to the classification using the recovery index), perspective and unstable (according to the classification using the replacement index). Averaged annual ontogenetic spectra are mainly right-sided with a predominance of generative plants. It was stated that the main method of self-maintenance in the studied cenopopulations is vegetative reproduction with slight rejuvenation while seed reproduction is rare. According to the “delta-omega” system, the studied cenopopulations were found to be in a relatively stable young state; in some years slight shifts towards rejuvenation or senescence were observed.

Keywords: forest type; cenopopulation; *Cypripedium calceolus* L.; rare species; Red Data Book; anthropogenically transformed forests; ontogenetic spectra; abundance; Kirov Region; Vyatka River

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

For citation: Gudovskikh Yu. V., Egoshina T. L., Bushueva Yu. V. et al. Dynamics of the Demographic Structure and Types of *Cypripedium Calceolus* L. Cenopopulations in the Southern Taiga Subzone. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2024;(4):22–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.22>; EDN: AHRDDQ

REFERENCES

1. Vakhrameeva M. G., Varlygina T. I., Tatarenko I. V. Orchids of Russia (biology, ecology and protection). Moscow, KMK Scientific Press Ltd.; 2014. 437 p. (In Russ.).
2. Denisova L. V., Vakhrameeva M. G. Genus slipper (Venus slipper) – *Cypripedium* L. Biological flora of Moscow region. Moscow, Moscow State University Publ.; 1978. Vol. 4. Pp. 62–70. (In Russ.).
3. Kull T. *Cypripedium calceolus* L. *Journal of Ecology*. 1999;87(5):913–924. DOI: 10.1046/j.1365-2745.1999.00407.x
4. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2024-1. Available from: <https://www.iucnredlist.org> [Accessed 10 Sept. 2024].
5. Bilz M., Kell S. P., Maxted N. et al. European Red List of Vascular Plants. Luxembourg, Publications Office of the European Union; 2011. 131 p. DOI: 10.2779/8515
6. The Red Book of the Russian Federation (plants and fungi). Bardunov L. V., Novikov A. S. (eds.). Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2008. 855 p. EDN: TCNFXR (In Russ.).
7. Baranova O. G., Egoshina T. L., Kondakova L. V. et al. The Red Book of the Kirov Region: animals, plants, mushrooms. 2-nd edition. Kirov, Kirov Regional Printing House; 2014. 336 p. EDN: UASRHR (In Russ.).
8. Nicolè F., Brzosko E., Till-Bottraud I. Population viability analysis of *Cypripedium calceolus* in a protected area: longevity, stability and persistence. *Journal of Ecology*. 2005;93(4):716–726. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2005.01010.x
9. Brzosko E., Wróblewska A., Ratkiewicz M. et al. Genetic diversity of *Cypripedium calceolus* at the edge and in the centre of its range in Europe. *Annales Botanici Fennici*. 2009;46(3):201–214. DOI: 10.5735/085.046.0303
10. Vorobyova E. G., Moskvicheva L. A. Materials on the biology of the Venus slipper *Cypripedium calceolus* L. in the Kandalaksha Nature Reserve. In: *Rare plant species in nature reserves. Collection of scientific papers*. Moscow, Central Scientific Research Laboratory of Glavokhoty of the RSFSR, 1987. Pp. 137–146. (In Russ.).
11. Blinova I. V. Populations of orchids at the northern limit of their distribution (Murmansk Oblast): Effect of climate. *Russian Journal of Ecology*. 2008;(1):28–35. EDN: IBYSEJ (In Russ.).
12. Dyachkova T. Yu., Shuyskaya E. A., Milevskaya S. N. Dynamics of the state of *Cypripedium calceolus* L. populations in the Kivach Nature Reserve (Karelia). In: *Biodiversity, protection and rational use of plant resources of the North*. Materials of the XI Perilyev Scientific Readings dedicated to the 125th anniversary of the birth of I. A. Perilyev (Arkhangelsk, May 23–25, 2007). In 2 parts. Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ.; 2007. Part 1. Pp. 44–47. (In Russ.).
13. Martynenko V. A., Poletaeva I. I., Tetryuk B. Yu. et al. Biology and ecology of rare plants of the Komi Republic. Ekaterinburg, UB RAS Publ.; 2003. 182 p. EDN: QKMJYN (In Russ.).
14. Kirillova I. A. Orchids of the Pechora-Ilychsky Reserve (Northern Ural). Syktyvkar, IB Komi SC UB RAS; 2010. 144 p. EDN: QKTLCL (In Russ.).
15. Fedchenko I. A., Puchnina L. V. Seasonal and multiyear dynamics of the cenopopulations of *Calypso bulbosa* (L.) Oakes and *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) in the Pinezhsky Nature Reserve. In: *The role of botanical gardens and protected natural areas in the study and conservation of plant and fungal diversity*. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation (Yaroslavl, October 13–16, 2011). Yaroslavl, YSPU Publ.; 2011. Pp. 155–158. (In Russ.).
16. Puchnina L. V. Status of *Calypso bulbosa* and *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae) populations in the Pinega State Nature Reserve. *Nature Conservation Research*. 2017;2(S1):125–150. DOI: 10.24189/ncr.2017.023; EDN: YMDDFH (In Russ.).
17. Fardeeva M. B., Chizhikova N. A., Krasilnikova O. V. Long-term dynamics of ontogenetic and spatial structure in *Cypripedium calceolus* L. cenopopulations. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki (Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)*. 2010; 152(3):159–173. EDN: NBQDNN (In Russ.).
18. Khapugin A. A., Semchuk A. A., Silaeva T. B. et al. A comparative characteristics of *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae, monocotyledones) coenopopulations in the Republic of Mordovia. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2014;(3):403–410. EDN: SYBFUV (In Russ.).
19. Chirkova N. Yu., Suleimanova V. N., Egoshina T. L. et al. Ecological phytocenosis and demographic characteristics of *Cypripedium calceolus* (Orchidaceae) populations in conditions of southern taiga forests in Kirov Region. *Vestnik of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2011;(24):117–126. EDN: OPIMAF (In Russ.).
20. Egorova N. Yu., Egoshina T. L. New locations of rare vascular plant species on cut-over peat lands (on the example of Kirov Region). *Samara Journal of Science*. 2018;7(3):35–41. EDN: XUXHRB (In Russ.).

21. Egorova N. Yu., Suleimanova V. N., Egoshina T. L. Dynamics of the demographic structure of populations of *Cypripedium calceolus* L. (Orchidaceae) in the Valley of the River Vyatka. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 2020; 125(2): 51–59. EDN: JXRWIA (In Russ.).
22. Order No. 367 of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation “On Approval of the List of Forest Zones of the Russian Federation of the List of Forest Regions of the Russian Federation” dated August 18, 2014. Available from: <https://minjust.consultant.ru/files/11733> [Accessed 13 September 2024]. (In Russ.).
23. Weather for 240 countries of the world. *Rp5.ru. Reliable prognosis*. Available from: <https://rp5.ru/> [Accessed 15 September 2024].
24. Perevedentsev Yu. P., Frenkel M. O., Shaymardanov M. Z. et al. Modern changes of climate conditions and resources of the Kirov Region. *Monograph*. Kazan, Kazan State University Publ.; 2010. 242 p. EDN: OTSWBJ (In Russ.).
25. Andreeva E. N., Bakkal I. Yu., Gorshkov V. V. et al. Methods of studying forest communities. *Monograph*. St. Petersburg, Saint Petersburg State University; 2002. 240 p. EDN: YSEXKF (In Russ.).
26. Smirnova O. V., Zaugolnova L. B., Ermakova I. M. et al. Coenopopulations of plants (basic concepts and structure). Moscow, Nauka; 1976. 217 p. EDN: RECZX (In Russ.).
27. Fardeeva M. B. Ontogeny of *Cypripedium calceolus* L. In: *Ontogenetic atlas of medicinal plants*. Yoshkar-Ola, Mari State University; 2002. Vol. 3. Pp. 114–119. (In Russ.).
28. Rabotnov T. A. The life cycle of perennial herbaceous plants in meadow cenoses. *Trudy BIN AS USSR. Ser. 3 Geobotany*. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publishing House; 1950. Vol. 6. Pp. 7–204. (In Russ.).
29. Uranov A. A., Smirnova O. V. Classification and main features of the development of populations of perennial plants. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*. 1969;74(1):119–134. (In Russ.).
30. Zhukova L. A. Population life of meadow plants. *Monograph*. Yoshkar-Ola, RIIK Lanar Publ.; 1995. 224 p. (In Russ.).
31. Zhivotovsky L. A., Osmanova G. O. Population biogeography of plants. Yoshkar-Ola, Vertola Publ.; 2019. 128 p. EDN: WCNJHR (In Russ.).
32. Zhivotovsky L. A. Ontogenetic states, effective density, and classification of plant populations. *Russian Journal of Ecology*. 2001;(1):3–7. EDN: KLQNCL (In Russ.).
33. The Plant List. Available from: <http://www.theplantlist.org/> [Accessed 15 Sept. 2024].
34. Zaitsev G. N. Mathematical statistics in experimental botany. Moscow, Nauka; 1984. 424 p. (In Russ.).

The article was submitted 14.10.2024; approved after reviewing 11.11.2024;
accepted for publication 25.11.2024

Information about the authors

Yulia V. Gudovskikh – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Department of Plant Ecology and Resources, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming. Research interests – ecology, biological resources. Author of 50 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7955-0803>; SPIN: 5438-0187

Tatiana L. Egoshina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Plant Ecology and Resources, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming. Research interests – ecology, biological resources. Author of 400 scientific publications including 12 monographs. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4663-2332>; SPIN: 6737-1267

Yulia O. Bushueva – Junior Researcher, Department of Plant Ecology and Resources, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming. Research interests – ecology, biological resources. Author of 23 scientific publications. SPIN: 7725-6795

Ekaterina A. Luginina – Researcher, Department of Plant Ecology and Resources, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming. Research interests – ecology, biological resources. Author of 105 scientific publications. SPIN: 3973-5545

Anastasia A. Sorokina – Junior Researcher, Department of Plant Ecology and Resources, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming. Research interests – ecology, biological resources. Author of 15 scientific publications. SPIN: 3294-3276

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.

Научная статья

УДК 634.7: 577.164.2: 547.98

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.36>

EDN: BQYKOJ

Параметры плодов жимолости и содержание в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ

С. В. Мухаметова^{1✉}, Е. А. Скочилова²

¹ Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

² Марийский государственный университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1
MuhametovaSV@volgatech.net[✉]

Аннотация. *Введение.* Сорта жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) являются популярной ягодной культурой, плоды обладают десертным кисло-сладким вкусом и имеют пищевое, диетическое и лечебное значение. *Цель* исследования – определение показателей плодов пяти сортов и четырёх сортообразцов жимолости и содержания в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ в условиях Республики Марий Эл. *Объекты* исследования – пять сортов и четыре сортообразца жимолости синей, выращиваемые в Ботаническом саду-институте ПГТУ (г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл). *Методы* исследования. Изучение массы и размеров плодов проводили в 2015 и 2017 гг., содержания биохимических соединений – в 2017 году. Количественное содержание аскорбиновой кислоты определяли титриметрическим методом с использованием 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия, дубильных веществ – методом окислительно-восстановительного титрования с применением раствора индигосульфокислоты и калия перманганата. *Результаты.* Самыми крупными плодами характеризовался сорт 'Чулымская', самыми мелкими – 'Изюминка'. У сорта 'Иолинка' в избыточно влажных условиях 2017 года плоды обладали более крупными размерами и большей массой, чем в засушливых условиях 2015 года, в то же время у остальных образцов плоды были сходными или мельче. Масса плодов характеризовалась наибольшей межсортовой изменчивостью и была обусловлена влиянием фактора сортовой специфичности, а на длину и диаметр плодов оказывал значимое влияние также и фактор года. Содержание аскорбиновой кислоты в 2017 году в плодах четырёх сортов составило 39,1–64,9 мг/100 г, содержание дубильных веществ – 1,37–1,89 %. Наименьшим содержанием данных соединений характеризовались 'Иолинка' и 'Синичка'. Выход воздушно-сухих плодов обратно коррелировал с массой плодов, его значения составили 10,8–13,7 % от массы свежесобранных. *Выводы.* Плоды сорта 'Чулымская' являются перспективными для использования в качестве источника аскорбиновой кислоты, 'Синяя птица' – дубильных веществ. Результаты проведённого исследования могут найти применение при выращивании изученных сортов жимолости в пищевых и лекарственных целях.

Ключевые слова: *Lonicera*; сорт; культивар; масса плодов; размеры ягод; вторичные метаболиты; витамин С; биохимические соединения; биологически активные вещества

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

Для цитирования: Мухаметова С. В., Скочилова Е. А. Параметры плодов жимолости и содержание в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4 (64). С. 36–47. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.36>; EDN: BQYKOJ

Введение

Жимолость синяя (*Lonicera caerulea* L.) – ягодный кустарник, который ценится

за самое раннее созревание плодов в условиях средней полосы России [1]. Её популярность как садовой культуры в XXI веке

© Мухаметова С. В., Скочилова Е. А., 2024

очень выросла. Растение ежегодно плодоносит, неприхотливо и декоративно [2]. Плоды обладают десертным кисло-сладким вкусом, тонкой кожицей, мелкими семенами. Они содержат сахара преимущественно в виде глюкозы и фруктозы, богаты Р-активными веществами, особенно антоцианами, которые являются антиоксидантами, необходимыми при сердечно-сосудистых заболеваниях, атеросклерозе и гипертонии. Кроме того, в ягодах довольно много разнообразных макро- и микроэлементов (натрий, магний, калий, фосфор, железо, марганец, йод и др.), а также витаминов С, А, В₁, В₂, В₉, способствующих повышению иммунитета, укреплению кровеносных сосудов, выведению вредных компонентов из организма человека [1–4]. В свежих плодах присутствуют диетические продукты сорбит и инозит. В целом, имеющийся комплекс биологически активных веществ обуславливает не только пищевое значение, но и диетическую и лечебную ценность плодов жимолости [2]. Помимо использования в свежем виде, её ягоды могут применяться в сухом и замороженном виде для производства функциональных продуктов питания, например, хлебобулочных изделий, молочных продуктов и т. д. [5–7].

Для получения высоких и стабильных урожаев жимолости в каждом из регионов возделывания, особенно в северных, необходимо проводить всестороннее сортоизучение новых сортов [2]. На территории Республики Марий Эл исследования в данном направлении проводятся в Марийском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (МарНИИСХ, п. Руэм, Медведевский район) и включают сравнительную оценку сортов, выведенных в различных селекционных центрах России [2, 8]. Кроме того, работа по сортоизучению и селекции жимолости, хотя и в существенно меньшем объёме, также ведётся в Ботаническом саду-институте Поволжского государственного технологического университета (БСИ ПГТУ, г. Йошкар-Ола).

Целью исследования являлось определение показателей плодов сортов жимолости и содержания в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ в условиях Республики Марий Эл.

Объектами исследования стали пять сортов и четыре сортообразца жимолости синей, выращиваемые в БСИ ПГТУ на участке плодовых растений. Растения выращиваются в рядах через 2 м, без искусственного полива. Сорт 'Изюминка' выведен в Уральском федеральном аграрном научно-исследовательском центре УрО РАН (г. Екатеринбург), 'Синичка' – в Главном ботаническом саду РАН (г. Москва), 'Чулымская' – на унитарном предприятии «Бакчарское» (с. Бакчар, Томская обл.) [9], 'Синяя птица' – в НИИ садоводства Сибири имени М. А. Лисавенко Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий (г. Барнаул) [2]. Сортообразцы Б-2, Р-23, Р-37, Р-45, Р-51 получены в БСИ ПГТУ сотрудниками М. И. Рябининым и Н. А. Разумниковым в результате свободного опыления *L. altaica* Pall. и *L. kamtschatica* (Sevast.) Pojark. Образец Р-51 зарегистрирован в Государственном реестре селекционных достижений под названием 'Иолинка' [10].

Методика исследования

Плоды были собраны в Ботаническом саду-институте ПГТУ в 2015 и 2017 гг. в период их массового созревания. У 30 плодов измеряли длину и наибольший диаметр штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Индекс формы плодов определяли отношением длины к диаметру. Массу одного плода определяли взвешиванием трёх навесок из 100 плодов на электронных весах SJCE VIBRA. Содержание биологически активных веществ в плодах четырёх сортов изучали в 2017 году. Количественное содержание аскорбиновой кислоты определяли титриметрическим методом с использованием 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия [11]. Метод основан на редуцирующих свойствах аскорбиновой кислоты. При титровании раствором 2,6-дихлорфенолиндофене-

нолята натрия происходит окисление аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую кислоту. Окончание реакции можно установить по изменению окраски. Раствор натриевой соли 2,6-дихлорфенол-индофенола в нейтральной и щелочной среде обладает синей окраской, в кислой среде принимает розовое окрашивание. Количественное определение дубильных веществ в плодах жимолости проводили методом окислительно-восстановительного титрования. В качестве индикатора использовали раствор индигосульфокислоты, титранта – 0,02 М раствор калия перманганата. Титрование проводили до золотисто-жёлтого окрашивания [12]. Высушивание навесок ягод до воздушно-сухого состояния проводили при температуре 60 °С в электрической сушилке для овощей и фруктов ЭСОФ-0,5/220 «Ветерок». Выход воздушно-сухих плодов получали отношением массы сухих плодов к массе свежесобранных в процентах. Полученные данные были обработаны с использованием общепринятых методов и прикладных программ Microsoft Excel, Statistica 6.0, проведён однофакторный дисперсионный анализ и множественное сравнение (*Scheffe test*). Достоверность различия между показателями массы и размеров 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 БСИ, за 1968–2010 гг. среднегодовая температура воздуха составляет +3,6 °С. Средняя годовая сумма осадков – 580 мм, в том числе 206 мм приходятся на зимний период. Продолжительность вегетационного периода составляет 175 дней, периода активной вегетации – 138 дней. Средняя дата перехода среднесуточных температур воздуха через +5 °С приходится весной на 16 апреля, осенью – 7 октября, через +10 °С – 7 мая и 21 сентября. Обеспеченность теплом характеризуется следующими показателями: сумма эффективных температур +5 °С – 1 583 градусо-дня, сумма эффективных температур +10 °С – 834 градусо-дня, сумма активных температур +10 °С – 2 046 °С [13]. Среднемесячные показатели 2015 и 2017 гг. представлены на рис. 1.

Вегетационный период 2017 года характеризовался наименьшей обеспеченностью теплом. Согласно значениям гидротермического коэффициента (ГТК) Г. Т. Селянинова, условия увлажнения за период активной вегетации 2017 года были избыточно влажными (1,85), в то время как в 2015 году – засушливыми (0,96) [14].

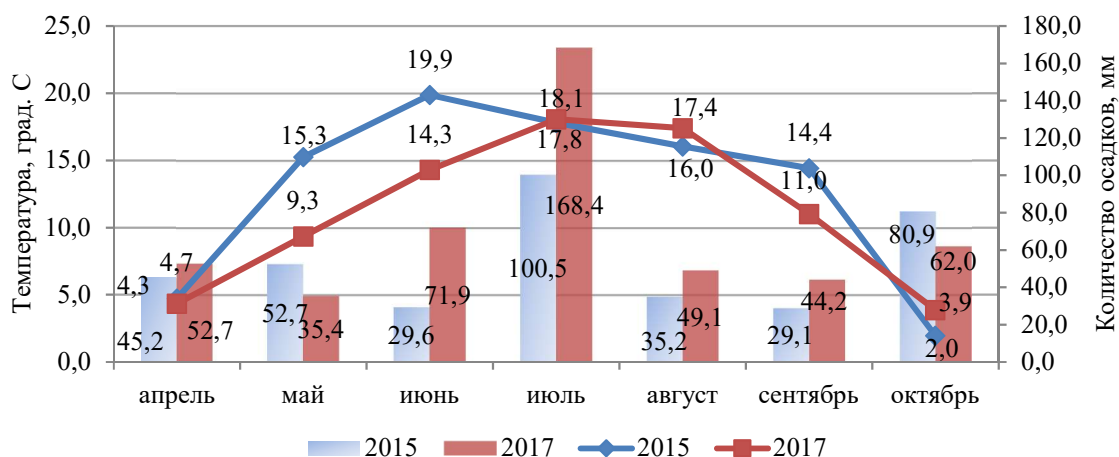


Рис. 1. Среднемесячные температуры (график) и количество осадков (столбцы) в апреле–октябре 2015 и 2017 гг.

Fig. 1. Average monthly temperatures (graph) and precipitation (columns) in April–October 2015 and 2017

Результаты и их обсуждение

Показатели плодов изученной жимолости приведены в таблице 1. Самыми крупными плодами характеризовался сорт 'Чулымская', самыми мелкими – 'Изюминка'. Более вытянутой формой обладали плоды образца Р-23, наименьшим значением индекса формы плодов характеризовался сорт 'Изюминка'. В целом, форма плодов является сортовым признаком. По «Программе и методике сортоизучения...» [15], согласно которой плоды жимолости ранжируют по массе, ягоды сорта 'Чулымская' являлись очень крупными, у остальных сортов ягоды были средние (0,7–0,9 г) и крупные (1,0–1,2 г). Масса плодов характеризовалась наибольшей межсортовой изменчивостью среди изученных параметров.

Плоды большинства образцов в 2015 году характеризовались более крупными размерами и большей массой, чем в 2017 году, различие статистически достоверно. Лишь сорт 'Иолинка' обладал более крупными плодами в 2017 году, что свидетельствует, вероятно, о его большем влаголюбии по

сравнению с другими образцами. Плоды жимолости 'Изюминка', 'Синичка', Р-23 и Р-37 в годы исследования не различались по массе, т. е. они более стабильны в изменяющихся условиях окружающей среды.

Корреляция между длиной и диаметром ягод в оба года исследования была значительной ($r=0,59$). Масса плодов в 2015 году тесно коррелировала с их обоими линейными размерами ($r=0,87$), а в 2017 году в большей степени была связана с диаметром ($r=0,84$), чем с длиной ($r=0,74$). С помощью двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что на длину и диаметр плодов оказывал влияние и фактор сортовой специфичности ($F_{\text{факт.}} = 8,4$ и $5,5 > F_{\text{крит.}} = 3,4$, доля влияния по Плохинскому 77 и 66 % соответственно), и фактор года ($F_{\text{факт.}} = 12,4$ и $14,7 > F_{\text{крит.}} = 5,3$, доля влияния 14 и 22 %). А на массу плодов значимое влияние оказывал только фактор сортовой специфичности ($F_{\text{факт.}} = 12,1 > F_{\text{крит.}} = 3,4$, доля влияния 88,5 %) при незначимом влиянии фактора года ($F_{\text{факт.}} = 4,6 < F_{\text{крит.}} = 5,3$).

Таблица 1. Показатели плодов жимолости

Table 1. Parameters of honeysuckle fruits

Наименование	Год	Длина, см	Диаметр, см	Индекс формы	Масса, г
'Изюминка'	2015	$1,9 \pm 0,03$	$1,0 \pm 0,01$	1,9	$0,6 \pm 0,01$
	2017	$1,7 \pm 0,05$	$0,9 \pm 0,02$	1,9	$0,5 \pm 0,04$
'Иолинка'	2015	$2,4 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,01$	2,7	$0,7 \pm 0,02$
	2017	$2,5 \pm 0,03$	$0,9 \pm 0,01$	2,8	$0,9 \pm 0,01$
'Синичка'	2015	$2,3 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,03$	2,1	$0,8 \pm 0,04$
	2017	$2,3 \pm 0,05$	$1,0 \pm 0,02$	2,3	$0,8 \pm 0,03$
'Синяя птица'	2015	$2,5 \pm 0,03$	$1,0 \pm 0,02$	2,5	$0,9 \pm 0,03$
	2017	$2,1 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,02$	2,3	$0,8 \pm 0,03$
'Чулымская'	2015	$3,4 \pm 0,04$	$1,3 \pm 0,03$	2,6	$1,8 \pm 0,03$
	2017	$2,8 \pm 0,05$	$1,1 \pm 0,01$	2,5	$1,5 \pm 0,04$
Б-2	2015	$2,4 \pm 0,04$	$1,1 \pm 0,01$	2,2	$1,0 \pm 0,02$
	2017	$2,1 \pm 0,03$	$0,9 \pm 0,01$	2,3	$0,8 \pm 0,04$
Р-23	2015	$2,9 \pm 0,04$	$1,0 \pm 0,03$	2,9	$0,9 \pm 0,04$
	2017	$2,8 \pm 0,04$	$0,9 \pm 0,02$	3,1	$0,8 \pm 0,04$
Р-37	2015	$2,8 \pm 0,04$	$1,0 \pm 0,03$	2,8	$1,0 \pm 0,03$
	2017	$2,4 \pm 0,03$	$1,0 \pm 0,02$	2,4	$0,9 \pm 0,04$
Р-45	2015	$2,7 \pm 0,04$	$1,1 \pm 0,02$	2,5	$1,1 \pm 0,02$
	2017	$2,1 \pm 0,02$	$0,9 \pm 0,02$	2,3	$0,7 \pm 0,02$
Среднее	2015	$2,6 \pm 0,14$	$1,1 \pm 0,04$	$2,5 \pm 0,11$	$1,0 \pm 0,12$
	2017	$2,3 \pm 0,12$	$1,0 \pm 0,03$	$2,4 \pm 0,11$	$0,9 \pm 0,09$
Коэффициент вариации, %	2015	16,4	10,7	13,6	35,3
	2017	15,3	8,5	14,1	31,5

Сравнение полученных значений с данными других исследователей показало, что у сорта 'Чулымская' в годы исследования формировались более крупные плоды (1,5–1,8 г), чем в условиях Тамбовской области [16], Красноярского края [17], Восточного Казахстана [18], а также региона оригинатора сорта Томской области [19], где средняя масса ягоды варьирует от 1,1 до 1,3 г. Кроме того, полученные нами значения превышают и данные МарНИИСХ, находящемся на территории Республики Марий Эл [2]. У сорта 'Июминка', напротив, плоды были меньшей массы, чем указано в описании [9], а также приводится для Алтайского края [20]. Различия могут быть обусловлены различными сроками исследования или же сложившимися благоприятными условиями микроклимата культивируемых растений. Следует испытать данные сорта на участке с отличающимися условиями выращивания. У сорта 'Синяя птица' ягоды в Тамбовской [21], Московской области [22], а также на территории МарНИИСХ [2] более мелкие (0,7 г), чем в наших исследованиях (0,8–1,0 г), а в Восточном Казахстане [18] и Камчатском крае [23] – близки к ним. По сорту 'Синичка' наши значения схожи с данными в Московской [22] и Свердловской области [24]. У сортообразцов полученные показатели массы плодов были меньше по сравнению с данными 2005–2009 гг. [10]. Вероятной причиной уменьшения массы стало снижение интенсивности агротехнического ухода за выращиваемыми растениями.

Аскорбиновая кислота (витамин С) является одним из важнейших биологически активных соединений, необходимых для нормальной жизнедеятельности человека. Она не синтезируется в организме человека, а поступает только в готовом виде с продуктами питания, так как в органах и тканях отсутствует фермент L-гулонооксидаза, катализирующий превращение гулоновой кислоты в аскорбиновую [25, 26]. Витамин С обладает мощной анти-

оксидантной функцией, является кофактором многих метаболических процессов и противоязвенным средством. Он участвует в регулировании окислительно-восстановительных процессов и обмена веществ, используется для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний, оказывает противовоспалительное, противоаллергическое действие и детоксицирующее действие, повышает сопротивляемость организма к инфекциям [27, 28].

Содержание аскорбиновой кислоты в плодах четырех сортов жимолости изменялось от 39,1 до 64,9 мг/100 г сырой массы (рис. 2). Наибольшее количество аскорбиновой кислоты наблюдалось у сорта 'Чулымская', наименьшее – у сортов 'Синичка' и 'Июминка', разница составила 1,6 раза. Среднее содержание витамина С установлено в плодах сорта 'Синяя птица', в 1,2 раза меньше, чем в плодах сорта 'Чулымская'.

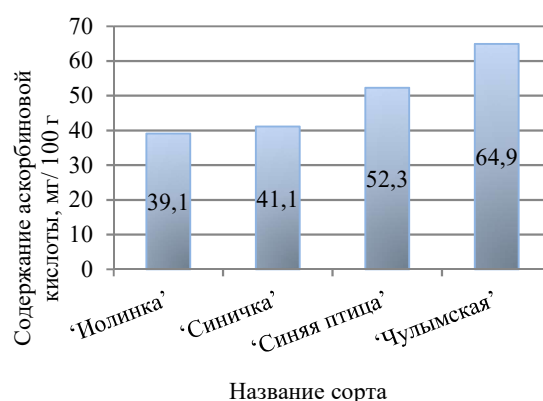


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты в плодах жимолости

Fig. 2. Ascorbic acid content in honeysuckle fruits

С помощью однофакторного дисперсионного анализа выявлено статистически значимое влияние фактора сортовой специфичности на содержание аскорбиновой кислоты. Результаты множественных сравнений показали достоверную разницу по содержанию аскорбиновой кислоты в зависимости от сорта, за исключением сортов 'Синичка' и 'Июминка' (табл. 2). Установлена очень тесная корреляция содержания изученного соединения с мас-

сой плодов ($r=0,93$), т. е. у более крупноплодных сортов в плодах содержалось большее количество витамина С.

Таблица 2. Результаты множественных сравнений (*Scheffe test*) содержания аскорбиновой кислоты в плодах жимолости

Table 2. The results of multiple comparisons (*Scheffe test*) of ascorbic acid content in honeysuckle fruits

Сорт	{1}	{2}	{3}
'Иолинка' {1}			
'Синичка' {2}	0,060159		
'Синяя птица' {3}	0,000159	0,000167	
'Чулымская' {4}	0,000159	0,000159	0,000165

Полученные нами данные по содержанию аскорбиновой кислоты в плодах сортов 'Синяя птица' и 'Синичка' отличаются от результатов, полученных другими исследователями. Так, в условиях муссонного климата Сахалина содержание аскорбиновой кислоты в плодах сорта 'Синяя Птица' составило 76,26 мг в 2017 году и 74,67 мг в 2018 году [29]. Многолетние результаты (2015–2020 гг.) оценки качества плодов жимолости в условиях юго-востока Камчатского края показали, что в плодах сорта 'Синяя птица' было выявлено 42,2 мг/ 100 г аскорбиновой кислоты [23]. Жимолость сорта 'Синичка', выращенная в Самарской области, содержала в плодах 241 мг/ 100 г аскорбиновой кислоты [30].

Дубильные вещества (танины), относящиеся к фенольным соединениям, являются активными антиоксидантами, которые оказывают общеукрепляющее и оздоровительное воздействие на организм человека, замедляют процессы старения. Танины образуют устойчивые химические соединения с попавшими в организм посторонними белками, металлами, алкалоидами, кислотами, а затем активно их выводят. Кроме того, они показывают антимикробную активность, подавляя рост многих грибков, дрожжей, бактерий и вирусов [31]. Лекарственное сырьё и препараты, содержащие дубильные вещества, применяются наружно и внутрь как вяжущие, противовоспалительные, бактери-

цидные и кровоостанавливающие средства. Кроме того, дубильные вещества проявляют высокую Р-витаминную активность, антигипоксическое и антисклеротическое действие [32].

По содержанию дубильных веществ наивысший показатель отмечен у жимолости 'Синяя птица' (1,89 %). Несколько меньшее значение зафиксировано у сорта 'Чулымская' и составило 1,61 %. В плодах сорта 'Синяя птица' количество дубильных веществ было в 1,2 раза больше, чем у сорта 'Чулымская'. Самым низким содержанием данных соединений характеризовались плоды сортов 'Иолинка' (1,37 %) и 'Синичка' (1,43 %) (рис. 3).

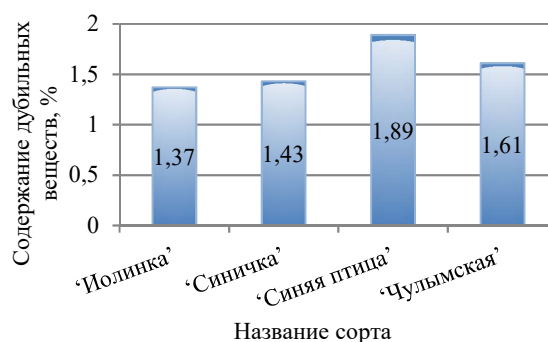


Рис. 3. Содержание дубильных веществ в плодах жимолости

Fig. 3. The content of tannins in honeysuckle fruits

Результаты однофакторного дисперсионного анализа по содержанию дубильных веществ в плодах изученных жимолостей показали, что фактор сортовой специфичности статистически значим. Множественное сравнение данных выявило достоверную разницу между сортами, за исключением пары 'Иолинка' и 'Синичка' (табл. 3).

Таблица 3. Результаты множественных сравнений (*Scheffe test*) содержания дубильных веществ в плодах жимолости

Table 3. The results of multiple comparisons (*Scheffe test*) of the content of tannins in honeysuckle fruits

Сорт	{1}	{2}	{3}
'Иолинка' {1}			
'Синичка' {2}	0,094572		
'Синяя птица' {3}	0,000161	0,000167	
'Чулымская' {4}	0,000158	0,000159	0,000135

В плодах жимолости, произрастающей в условиях степной зоны Южного Урала, содержание дубильных веществ в среднем составило 0,33 % с размахом варьирования от 0,28 до 0,43 %. Минимальным содержанием характеризовался сорт 'Лебедушка' (0,28 %), максимальным – 'Фиалка' (0,43 %). В условиях жаркого лета наблюдается увеличение содержания дубильных веществ, отчего у плодов ощущается небольшая горечь [33]. Исследования, проводимые в Санкт-Петербургской химико-фармацевтической академии, показали, что содержание дубильных веществ в плодах жимолости илийской составило 2 %, жимолости алтайской – 1,8 % [34].

Изучение процентного выхода воздушно-сухого сырья у четырёх сортов жимолости показало, что наименьшим значением данного показателя характеризовался сорт 'Чулымская' ($10,8 \pm 0,15$ %), наибольшим – 'Синяя птица' ($13,7 \pm 0,10$ %). У жимолости 'Синичка' и 'Иолинка' выход составил $12,3 \pm 0,20$ и $13,4 \pm 0,07$ % соответственно. Сорта 'Иолинка' и 'Синяя птица' были сходны между собой по данному показателю, в то время как остальные сорта существенно различались друг от друга. Выход воздушно-сухого сырья обратно коррелировал с массой плодов ($r = -0,94$), то есть в более крупных плодах содержалось больше влаги. Следовательно, можно предположить, что при сушке плодов более важно учитывать состав содержащихся биологически активных веществ, чем ориентироваться на крупноплодность.

Выводы

Таким образом, изучены масса, размеры плодов и содержание в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ у девяти сортов и сортообразцов жимолости синей в условиях Республики Марий Эл. Установлено, что очень крупными плодами характеризовался сорт 'Чулымская'. На длину и диаметр плодов оказывали влияние и фактор сортовой специфичности, и фактор года, в то время как на их массу значимое влияние оказывал только фактор сортовой специфичности. Масса плодов характеризовалась наибольшей межсортовой изменчивостью, 31–35 %. Содержание аскорбиновой кислоты в 2017 году в плодах четырёх сортов жимолости составило 39,1–64,9 мг/100 г, наибольшее количество установлено у сорта 'Чулымская'. Содержание дубильных веществ варьировало от 1,37 до 1,89 %, максимальное количество выявлено у сорта 'Синяя птица'. Два указанных сорта являются перспективными для использования в качестве источников данных биологически активных соединений. Жимолость 'Иолинка' и 'Синичка' характеризовались наименьшим содержанием аскорбиновой кислоты и дубильных веществ. Результаты проведенного исследования могут найти применение при выращивании изученных сортов жимолости в пищевых и лекарственных целях. Рекомендуется пополнить коллекцию плодовых растений БСИ ПГТУ сортами жимолости с очень крупным размером плодов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Состояние и перспективы селекции жимолости синей / А. Г. Куклина, В. Н. Сорокопудов, М. Т. Упадышев и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 41–45. EDN: ZWIFCR
2. Софронов А. П., Фирсова С. В., Головунин В. П. Жимолость синяя (*Lonicera caerulea* L.): технология и селекция: монография. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2021. 64 с. EDN: IKSZTZ
3. Биологическая ценность плодов и ягод российского производства / М. Ю. Акимов, В. В. Бессонов, В. М. Коденцова и др. // Вопросы питания. 2020. Т. 89, № 4. С. 220–232. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10055; EDN: UOAQLM
4. Особенности биохимического состава съедобных плодов жимолости (*Lonicera*, *Caprifoliaceae*) в России / В. Н. Сорокопудов, А. Г. Куклина, Н. С. Цыбулько и др. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, № 1. С. 229–245. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1064; EDN: MWXYKJ
5. Богатырев А. Н., Степанова Н. Ю. Технологическая оценка разных сортов жимолости для замораживания и сушки // Пищевая промышленность. 2016. № 3. С. 44–47. EDN: WBAHXV

6. Слущанова И. В. Использование ягод жимолости в технологии обогащённых хлебобулочных изделий // Пищевые инновации в биотехнологии: Сб. тезисов VI Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных, Кемерово, 16 мая 2018 г. / под общ. ред. А. Ю. Просекова. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2018. Т. 1. С. 317–318. EDN: XPMORV
7. Пилипенко Т. В., Рогинская Е. О. Разработка молочного десерта, обогащённого функциональными растительными добавками // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6, № 1. С. 40–48. DOI: 10.14529/food180105; EDN: YRZBIL
8. Головунин В. П., Замятин С. А. Влияние применения микробиологических удобрений на рост и развитие жимолости синей в условиях Республики Марий Эл // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2019. Т. 5, № 2(18). С. 150–155. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-2-150-155; EDN: KEPGUY
9. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-seleksionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (дата обращения: 30.07.2024).
10. Разумников Н. А., Рябинин М. И., Соломина Е. Н. Урожайность и свойства плодов сортов образцов жимолости синей в Республике Марий Эл // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 1. С. 84–89. EDN: MBWBAD
11. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. М.: Изд-во стандартов, 2003. 11 с.
12. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. В 2-х томах. М.: Научный центр экспертизы средств медицинского применения, 2023. URL: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/10/gosudarstvennaya-farmakopeya-rossiyskoy-federatsii-xv-izdaniya> (дата обращения: 30.07.2024).
13. Лазарева С. М. Использование методик обработки данных фенологических наблюдений (на примере представителей семейства Pinaceae Lindl.) // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2010. Т. 4, № 2. С. 56–65. EDN: NXQRXH
14. Мухаметова С. В. Метеорологические условия тёплого периода на территории Ботанического сада-института ПИТУ // Hortus Botanicus. 2022. Т. 17. С. 262–273. DOI: 10.15393/j4.art.2022.8146; EDN: ILQCZU
15. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под общ. ред. Е. Н. Седова, Т. П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК, 1999. 608 с. EDN: YHAOZT
16. Брыксин Д. М. Испытание сортов жимолости селекции Бакчарского ОПСС в условиях Мичуринска // Инновационные направления развития сибирского садоводства: наследие академиков М. А. Лисавенко, И. П. Калининой: Сб. статей. Барнаул: Концепт, 2018. С. 61–64. EDN: RWAHVH
17. Мистратова Н. А., Количенко А. А., Ботт В. Л. Агробиологическая оценка сортов жимолости в южной зоне садоводства Красноярского края // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2022. № 4 (69). С. 6–14. DOI: 10.34655/bgsha.2022.69.4.001; EDN: SQHMUO
18. Бахыт А., Бедарева Н. П. Перспективные сорта жимолости для Восточного Казахстана // Наука и мир. 2016. № 10-1 (38). С. 59–60. EDN: WWVVKX
19. Савинкова Н. В., Гагаркин А. В. Итоги полувековой работы с жимолостью синей в ФГУП «Бакчарское» // Инновационные направления развития сибирского садоводства: наследие академиков М. А. Лисавенко, И. П. Калининой: Сб. статей. Барнаул: Концепт, 2018. С. 238–246. EDN: XUSMTB
20. Хохрякова Л. А. Результаты изучения сортов жимолости синей южно-уральской селекции в условиях лесостепи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (175). С. 36–39. EDN: IEVELA
21. Кирина И. Б., Брыксина К. В., Ильинский А. С. Продуктивность и качество плодов сортов жимолости синей в условиях ЦЧР // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 12. С. 69–73. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_12_69; EDN: BLTTRZ
22. Куклина А. Г. Устойчивость и урожайность сортов жимолости синей в Московской области // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т. 27. С. 230–237. EDN: NXNUEL
23. Петруша Е. Н., Русакова Е. А. Результаты оценки качества плодов сортов образцов жимолости в условиях Камчатского края // Современное садоводство. 2022. № 1. С. 1–10. DOI: 10.52415/23126701_2022_0101; EDN: MZDYPZ
24. Евтушенко Н. С., Шмыгов А. В. Изучение продуктивности и крупноплодности жимолости синей (*Lonicera caerulea* L.) в условиях Среднего Урала // Современное садоводство. 2023. № 3. С. 35–46. DOI: 10.52415/23126701_2023_0305; EDN: MHLIRV
25. Буркова Н. А., Иванова Н. А. Роль витамина С в жизни человека и его определение титриметрическим методом в продуктах питания // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2015. Т. 5, № 6. С. 973. EDN: VRZCSV
26. Тяпкина Д. Ю., Кочиева Е. З., Слугина М. А. Накопление витамина С в сочных плодах: биосинтез и рециркуляция, гены и ферменты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 3. С. 270–280. DOI: 10.18699/VJ19.492; EDN: XCPAOP

27. Carr A. C., Maggini S. Vitamin C and immune function // *Nutrients*. 2017. Vol. 9, iss. 11. Art. 1211. DOI: 10.3390/nu9111211

28. Попов В. С., Смятская Ю. А. Модифицированный титриметрический метод количественного определения витамина С в окрашенных растительных экстрактах // *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*. 2020. № 4. С. 43–53. DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.04; EDN: EDGXCM

29. Ефанов В. Н., Митусова Е. В. Урожайность, хозяйственно-ценные показатели и химический состав жимолости голубой в условиях муссонного климата Сахалина // *Вестник КамчатГТУ*. 2021. № 56. С. 64–73. DOI: 10.17217/2079-0333-2021-56-64-73; EDN: HSDGCD

30. Исследование антиоксидантных свойств жимолости / Н. В. Макарова, Э. В. Мусифулина, А. Н. Дмитриева и др. // *Пищевая промышленность*. 2012. № 12. С. 56–58. EDN: PMFWKZ

31. Противоопухолевые и противовоспалительные свойства дубильных веществ растительного про-

исхождения и перспективы их использования в фармации / Е. Д. Кубасова, И. А. Крылов, Г. В. Корельская и др. // *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2022. Т. 24, № 12. С. 55–60. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-12-55-60; EDN: YNNKUN

32. Hypolipidemic and cardioprotective benefits of a novel fireberry hawthorn fruit extract in the JCR:LA-*cp* rodent model of dyslipidemia and cardiac dysfunction / A. Diane, F. Borthwick, S. Wu et al. // *Food & function*. 2016. Vol. 7, iss. 9. Pp. 3943–3952. DOI: 10.1039/c6fo01023g

33. Мурсалимова Г. Р. Адаптивный потенциал интродуцированных сортов *Lonicera* L. в степной зоне Южного Урала // *Современное садоводство*. 2013. № 3 (7). С. 62–68. EDN: SEIEYV

34. Саякова Г. М. Фармакопейный анализ отечественного лекарственного растительного сырья жимолости илийской (*Lonicera iliensis*) и жимолости алтайской (*Lonicera altaica*), семейства жимолостных (Caprifoliaceae) на определение биологически активных веществ // *Инновации в науке*. 2014. № 32. С. 101–114. EDN: SCLKLR

Статья поступила в редакцию 04.09.2024; одобрена после рецензирования 08.10.2024; принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторах

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 217 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7892-6450>; SPIN-код: 6316-3307

СКОЧИЛОВА Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии, Марийский государственный университет. Область научных интересов – экологическая физиология растений, экология, фармакогнозия. Автор 150 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4553-508X>; SPIN-код: 7205-7185

Вклад авторов:

Мухаметова С.В. – проведение исследования морфометрических параметров плодов, анализ полученных результатов, подготовка рукописи, окончательное редактирование текста.

Скочилова Е.А. – проведение биохимических исследований, анализ полученных результатов, подготовка рукописи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 634.7: 577.164.2: 547.98

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.36>

EDN: BQYKOJ

Parameters of Honeysuckle Fruits and the Content of Ascorbic Acid and Tannins in them

S. V. Mukhametova ^{1✉}, E. A. Skochilova ²

¹ Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

² Mari State University,
1, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
MuhametovaSV@volgatech.net ✉

Abstract. *Introduction.* Varieties of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) are a popular berry crop; their fruits have a sweet and sour desert taste and are of nutritional, dietary and medicinal value. *The aim* of the research is to determine fruit parameters for five varieties and four variety samples of honeysuckle, as well as the content of ascorbic acid and tannins in them in the conditions of the Republic of Mari El. *The objects* of the study are five varieties and four variety samples of blue honeysuckle grown in the Botanical Garden-Institute of Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola, Republic of Mari El). *Methods.* The weight and size of fruits were studied in 2015 and 2017; the contents of the biochemical compounds were investigated in 2017. The quantitative content of ascorbic acid was determined by the titrimetric method using 2,6-dichlorophenolindophenolate of sodium, and the content of tannins was found by redox titration using a solution of indigo sulfonic acid and potassium permanganate. *Results.* The 'Chulymskaya' variety was found to have the largest fruits, while the 'Izyuminka' variety had the smallest ones. In excessively humid conditions of 2017, the 'Iolinka' variety produced fruits of greater size and weight than in the arid conditions of 2015, while the fruits of the other varieties were approximately the same or smaller. The fruit weight exhibited the greatest intervarietal variability, which was due to the impact of the varietal specificity factor; the length and diameter of the fruits were significantly affected by the factor of the year as well. In 2017, the ascorbic acid content in the fruits of the four varieties was 39.1–64.9 mg/100g and the content of tannins was 1.37–1.89%. The lowest content of these compounds was detected in the 'Iolinka' and 'Sinichka' varieties. The yield of air-dried fruits was inversely correlated with the weight of fruits, its values amounting to 10.8–13.7% of the weight of freshly harvested fruits. *Conclusion.* The fruits of the variety 'Chulymskaya' have good prospects for use as a source of ascorbic acid, while the fruits of 'Sinyaya Ptitsa' are promising as a source of tannins. The results of the study can be applied in cultivating the studied varieties of honeysuckle for food and medicinal purposes.

Keywords: *Lonicera*; variety; cultivar; fruit weight; berry size; secondary metabolites; vitamin C; biochemical compounds; biologically active substances

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

For citation: Mukhametova S. V., Skochilova E. A. Parameters of Honeysuckle Fruits and the Content of Ascorbic Acid and Tannins in them. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):36–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.36>; EDN: BQYKOJ

REFERENCES

1. Kuklina A. G., Sorokopudov V. N., Upadyshchev M. T. et al. Current state and trends of selection of the sweet-berry honeysuckle. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2017;(5):41–45. EDN: ZWIFCR (In Russ.).
2. Sofronov A. P., Firsova S. V., Golovunin V. P. Blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.): technology and breeding. *Monograph.* Kirov: FARC North-East Publ.; 2021. 64 p. EDN: IKSZTZ (In Russ.).
3. Akimov M. Yu., Bessonov V. V., Kodentsova V. M. et al. Biological value of fruits and berries of Russian production. *Problems of Nutrition.* 2020; 89(4):220–232. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10055; EDN: UOAQLM (In Russ.).
4. Sorokopudov V. N., Kuklina A. G., Tsybulko N. S. et al. Features of the biochemical composition of edible honeysuckle fruits (*Lonicera*, Caprifoliaceae) in Russia. *Siberian Journal of Life*

Sciences and Agriculture. 2024;16(1):229–245. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1064; EDN: MWXYKJ (In Russ.).

5. Bogatyryov A. N., Stepanova N. Yu. Technological evaluation of different varieties of honeysuckle for freezing and drying. *Food Industry*. 2016;(3):44–47. EDN: WBAHXV (In Russ.).

6. Sluyanova I. V. The use of honeysuckle berries in the technology of enriched bakery products. In: *Food innovations in biotechnology. Collection of abstracts of the VI International scientific conference of students, postgraduates and young scientists* (Kemerovo, May 16, 2018). Vol. 1. Prosekov A. Yu. (ed.). Kemerovo: Kemerovo State University, 2018:317–318. EDN: XPMORV (In Russ.).

7. Pilipenko T. V., Roginskaya E. O. Development of milk dessert enriched by functional vegetable additives. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology*. 2018;6(1):40–48. DOI: 10.14529/food180105; EDN: YRZBIL (In Russ.).

8. Golovunin V. P., Zamyatin S. A. Influence of microbiological fertilizers' application on the growth and development of blue honeysuckle in the Republic of Mari El. *Vestnik of the Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics*. 2019;5(2(18)): 150–155. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-2-150-155; EDN: KEPGUY (In Russ.).

9. The State register of breeding achievements approved for use. Vol. 1. Plant cultivars. Available from: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-seleksionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> [Accessed 30 July 2024]. (In Russ.).

10. Rasumnikov N. A., Ryabinin M. I., Solomina E. N. Crop capacity and qualities of *Lonicera caerulea* breed samples in Mari El Republic. *Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature Management*. 2010;(1):84–89. EDN: MBWBAD (In Russ.).

11. GOST 24556-89. Fruit and vegetable processing products. Methods for the determination of vitamin C. Moscow, Publishing House of Standards; 2003. 11 p. (In Russ.).

12. State pharmacopoeia of the Russian Federation XV edition. In 2 part. Moscow: Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products; 2023. Available from: <https://minzdrav.gov.ru/ministry/61/10/gosudarstvennaya-farmakopeya-rossiyskoy-federatsii-xv-izdaniya> [Accessed 30 July 2024]. (In Russ.).

13. Lazareva S. M. Use of techniques of data processing in phenological observations (on the example of Pinaceae Lindl.). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology*. 2010;4(2):56–65. EDN: NXQRXH (In Russ.).

14. 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.).

15. The program and methodology of variety studies of fruit, berry and nut crops. Sedov E. N., Ogoltseva T. P. (Eds.). Orel, Publishing House of Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding; 1999. 608 p. EDN: YHAOZT (In Russ.).

16. Briksin D. M. Testing of honeysuckle varieties of Bakcharsky OPSS breeding in Michurinsk conditions. In: *Innovative directions of development of Siberian horticulture: the legacy of academicians M. A. Lisavenko and I. P. Kalinina*. Collection of articles. Barnaul, Concept Publ.; 2018:61–64. EDN: RWAWHV (In Russ.).

17. Mistratova N. A., Kolichenko A. A., Bopp V. L. Agrobiological assessment of honeysuckle varieties in the southern gardening zone of the Krasnoyarsk territory. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2022;(4(69)):6–14. DOI: 10.34655/bgsha.2022.69.4.001; EDN: SQHMUO (In Russ.).

18. Bakhyt A., Bedareva N. P. Honeysuckle species, prospective for east Kazakhstan. *Science & World*. 2016;(10-1(38)):59–60. EDN: WWVVKX (In Russ.).

19. Savinkova N. V., Gagarkin A. V. The results of half a century of work with blue honeysuckle in FSUE Bakcharskoye. *Innovative directions of development of Siberian horticulture: the legacy of academicians M. A. Lisavenko, I. P. Kalinina*. Collection of articles. Barnaul, Concept Publ.; 2018: 238–246. EDN: XUSMTB (In Russ.).

20. Khokhryakova L. A. The research findings on sweet-berry honeysuckle varieties of the south-ural breeding under the conditions of the forest-steppe of the Altai region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;(5(175)):36–39. EDN: IEVELA (In Russ.).

21. Kirina I. B., Bryksina K. V., Ilyinsky A. S. Productivity and quality of fruits of sweet-berry honeysuckle varieties under the conditions of the Central Black Earth Region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022;36(12):69–73. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_12_69; EDN: BLTTRZ (In Russ.).

22. Kuklina A. G. Stability and productivity of blue honeysuckle varieties in the Moscow region. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2011;27:230–237. EDN: NXNUEL (In Russ.).

23. Petrusha E. N., Rusakova E. A. Results of the quality evaluation of berries of honeysuckle varieties in the Kamchatka region. *Contemporary Horticulture*. 2022;(1):1–10. DOI: 10.52415/23126701_2022_0101; EDN: MZDYPZ (In Russ.).

24. Evtushenko N. S., Shmygov A. V. Studying the productivity and large fruit size of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) in the Middle Urals. *Contemporary Horticulture*. 2023;(3):35–46. DOI: 10.52415/23126701_2023_0305; EDN: MHLIRV (In Russ.).

25. Burkova N. A., Ivanova N. A. The role of vitamin C in human life and its titrimetric determination

in food. *Bulletin of Medical Internet Conferences*. 2015;5(6):973. EDN: VRZCSV (In Russ.).

26. Tyapkina D. Y., Kochieva E. Z., Slugina M. A. Vitamin C in fleshy fruits: biosynthesis, recycling, genes, and enzymes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(3):270–280. DOI: 10.18699/VJ19.492; EDN: XCPAOP (In Russ.).

27. Carr A. C., Maggini S. Vitamin C and immune function. *Nutrients*. 2017;9(11):1211. DOI: 10.3390/nu9111211

28. Popov V. S., Smyatskaya Yu. A. A modified titrimetric method for the quantitative determination of vitamin C in colored plant extracts. *PNRPU Bulletin. Chemical Technology and Biotechnology*. 2020;(4): 43–53. DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.04; EDN: EDGXCM (In Russ.).

29. Yefanov V. N., Mitusova E. V. Yield, economically valuable indicators and chemical composition of blue honeysuckle under conditions of Sakhalin trade-wind littoral climate. *Vestnik of Kamchatka State Technical University*. 2021;(56): 64–73. DOI: 10.17217/2079-0333-2021-56-64-73; EDN: HSDGCD (In Russ.).

30. Makarova N. V., Musifullina E. V., Dmitrieva A. N. et al. Study of antioxidant properties of

honeysuckle. *Food Industry*. 2012;(12):56–58. EDN: PMFWKZ (In Russ.).

31. Kubasova E. D., Krylov I. A., Korelskaya G. V. et al. Antitumor and anti-inflammatory properties of tannins of plant origin and perspectives of their use in pharmacy. *Medical & Pharmaceutical Journal «Pulse»*. 2022;24(12):55–60. DOI: 10.26787/nydha-2686-6838-2022-24-12-55-60; EDN: YNNKUN (In Russ.).

32. Diane A., Borthwick F., Wu S. et al. Hypolipidemic and cardioprotective benefits of a novel fireberry hawthorn fruit extract in the JCR: LA-cp rodent model of dyslipidemia and cardiac dysfunction. *Food & Function*. 2016;7(9):3943–3952. DOI: 10.1039/c6fo01023g

33. Mursalimova G. R. The adaptive potential of introduced varieties of *Lonicera* L. in the steppe zone of the Southern Urals. *Contemporary Horticulture*. 2013;(3(7)):62–68. EDN: SEIEYV (In Russ.).

34. Sayakova G. M. Pharmacopoeia analysis of domestic medicinal plants – Ili honeysuckle *Lonicera iliensis* and Altai honeysuckle – *Lonicera altaica*, Caprifoliaceae family for the determination of biologically active substances. *Innovations in Science*. 2014;(32):101–114. EDN: SCLKLR (In Russ.).

The article was submitted 04.09.2024; approved after reviewing 08.10.2024;
accepted for publication 25.11.2024

Information about the authors

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 217 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7892-6450>; SPIN: 6316-3307

Elena A. Skochilova – Candidate of Biological Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Ecology, Mari State University. Research interests – ecological physiology of plants, ecology, pharmacognosy. Author of 150 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4553-508X>; SPIN: 7205-7185

Contribution of the authors:

Mukhametova S.V. – conducting a study of the fruit morphometric parameters, analysis of the results, preparation of the manuscript, final editing of the text.

Skochilova E.A. – conducting biochemical studies, analysis of the results, preparation of the manuscript.

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*866.9, 674.093.26

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.48>

EDN: SCJNPE

Модернизация технического оснащения участков отделения слоя бересты от луба

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

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
RukomojnikovKP@volgatech.net[✉]

Аннотация. *Введение.* В зависимости от назначения различают «чистую» бересту и бересту с примесью луба. При увеличении доли луба в составе бересты снижается не только сорт бересты, но и её качество. Необходимость отделения внешней части коры от внутренней является довольно сложной задачей, для реализации которой необходимы специальные устройства. Проведённые патентные и литературные исследования выявили практический интерес к необходимости увеличения объёмов заготовки качественной бересты. *Цель* исследований – модернизация устройств для разделения слоёв берёзовой коры, позволяющих обеспечить высокие качественные характеристики готовой продукции. *Объекты и методы* исследования. Объектами исследований являются устройства для отделения бересты от луба. Использован метод литературного и патентного поиска подобных устройств. Определены преимущества и недостатки существующих конструктивных решений. *Результаты и их обсуждение.* Выявлены аналоги оборудования, их преимущества и недостатки. Разработаны новые конструктивные варианты и внесены предложения в модернизацию существующих технических решений для разделения слоёв коры. Использованы принципы разделения слоёв коры за счёт взаимодействия ударных механизмов, электромагнитных вибраторов, соприкасающихся вибрирующих пластин и других механизмов, способствующих деформации коры, разрушению лубяного слоя под действием ударной и вибрационной нагрузок и его отделению. Отмечено, что изменение числа последовательно установленных рабочих узлов модернизированного оборудования даёт возможность достижения требуемого качества разделения слоёв коры. Представлены принципиальные схемы оборудования, дано краткое описание его основных узлов и принципа их работы. *Выводы.* Вниманию специалистов исследователей научных и производственных организаций предложена модернизация конструктивных решений по разделению слоёв берёзовой коры, обеспечивающая высокие качественные характеристики готовой продукции. Это позволяет расширить гамму существующих вариантов оборудования производственных участков обработки древесного сырья с повышением эффективности технологических процессов. Описанные технические решения могут способствовать технико-экономическому развитию отрасли.

Ключевые слова: берёза; кора; оборудование; береста; луб; патентный поиск

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

Для цитирования: Модернизация технического оснащения участков отделения слоя бересты от луба / Е. М. Царёв, К. П. Рукомойников, И. С. Анисимов и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4(64). С. 48–60. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.48>; EDN: SCJNPE

© Царёв Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов И. С., Анисимов Н. С., Макаров В. Е., Анисимов П. Н., 2024

Введение

Площадь всех лесов в России на 2023 год достигла 1,19 млрд га. На долю берёзовых лесов в лесном фонде России приходится 17,2 %, что составляет 77,8 % общей площади насаждений мягколиственных древесных пород [1]. Произрастающая на всей площади Российской Федерации берёза является наиболее распространённой древесной породой.

Бетулин (лат. *Betula*) – это химическое соединение, которое в естественном виде содержится в коре берёзы. Вещество широко используется в медицине и косметике [2–5]. Иммуномодуляция, как восстановление функционирования иммунной системы, является одним из основных свойств бетулина. Кроме того, бетулин оказывает положительный эффект на животных, домашних птиц и продукты питания [6, 7].

Суберин – это липофильное высокомолекулярное вещество из клеточных оболочек опробковевших тканей, содержащееся в коре берёзы. Продукты конденсации суберина используются для синтеза поверхностно-активных, плёнообразующих, лакокрасочных материалов [2].

Кора берёзы включает в себя значительно отличающиеся по химическому составу внешнюю часть коры (бересту) и внутреннюю часть (луб).

В зависимости от назначения различают «чистую» бересту и бересту с примесью луба.

Из «чистой» бересты производят дёготь. Он широко используется для выделки шкур, варки мыла, а также для производства лечебных и косметических препаратов.

Береста с примесью луба применяется в таких отраслях, как текстильная промышленность, кожевенное производство [8–10].

Чистая береста получается при снятии бересты во время сокодвижения в древостоях, отведённых в рубку «главного пользования» с применением специальных приспособлений [11].

Объёмы же заготовки древесины берёзы как сырья в РФ не так велики. На 2023 год они составили около 190 млн. м³ [12]. Запа-

сы бересты в березняках из берёзы повислой и пушистой зависят от классов бонитета и возраста в свежеснятом состоянии [13].

С 1 м³ берёзовой древесины возраста спелости можно заготовить 11,5 кг свежей бересты. К примеру, в спелых берёзовых древостоях Республики Марий Эл ежегодно можно заготавливать 3 007 т свежей бересты [2].

Другим источником для получения бересты является берёзовая кора от окорки фанерного кряжа, в виде крупномерных сортиментов [14–16]. В РФ объём берёзового кряжа на 2023 год составил 3 млн м³ [17].

Известно, что при увеличении доли луба в составе бересты снижается не только сорт бересты, но и её качество [13]. Возникает необходимость в отделении внешней части коры от внутренней, что является довольно сложной задачей, для реализации которой необходимы уже специальные устройства.

Актуальность

Проведённые патентные и литературные исследования выявили практический интерес к необходимости увеличения объёмов заготовки качественной бересты. При этом, такие показатели устройств для отделения бересты от луба, как энергоёмкость, надёжность, материалоёмкость и громоздкость играют немаловажную роль в технологической схеме разделения берёзовой коры на несколько слоёв; поэтому модернизация вариантов конструктивных решений для реализации анализируемой технологической операции с минимизацией значений перечисленных показателей при сохранении качественных признаков отделяемой бересты является актуальной научной задачей и позволяет расширить рынок предлагаемой продукции.

Целью исследования является модернизация устройств для разделения слоёв берёзовой коры, позволяющих обеспечить высокие качественные характеристики готовой продукции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследований являются устройства для отделения бересты от луба.

При работе по данной теме для получения информации использовался метод патентного поиска. Этот метод предусматривал формирование базы знаний по предмету исследования на основе анализа источников патентной информации и включал следующие этапы:

- 1) поиск;
- 2) морфологический анализ рассмотренных конструкций;
- 3) синтез их элементов;
- 4) нахождение и анализ их недостатков.

При проведении патентного поиска обнаружены различные технические решения, позволяющие реализовать описанную производственную операцию.

В частности, известно техническое решение по отделению бересты [18], в котором основными элементами являются вращающийся сепарирующий барабан с зубцами. Принцип его действия основан на разрушении и сдвиге хрупкого, легко разрушаемого слоя луба относительно слоя бересты при изгибе в нескольких взаимно перпендикулярных направлениях коры берёзы.

Другое достойное особого внимания существующее техническое решение для отделения бересты от луба [19] основано на многократных нагрузках на кору двух гусеничных механизмов, являющихся основными элементами устройства. Один из них снабжён ножами и контрножами. Гусеничные механизмы движутся навстречу друг другу с разными скоростями для усиления эффекта взаимодействия. В этом случае упор сделан на то, что луб, как более рыхлый и более насыщенный влагой слой, быстро деформируется и измельчается, отделяясь от бересты.

Известно также техническое решение по отделению бересты от луба [20], основными отделяющими бересту от луба элементами которого являются ротор с ножами и неподвижными контрножами на внутренней его поверхности.

Принцип работы основан на вращении ротора с ножами. Захват коры берёзы ножами и протаскивание между контрножами способствуют эффективному вы-

полнению анализируемой технологической операции, обеспечивая постепенное отделение луба за счёт переменного расстояния между контрножами устройства.

Основными недостатками рассмотренных выше устройств являются высокая энергоёмкость процесса вследствие высокой материалоемкости и громоздкости описанных конструкций.

Результаты и их обсуждение

Одно из предложенных в результате анализа устройств показано на рис. 1.

Оно содержит станину 1, внутри которой на шарнирно-пружинных опорах 2 смонтированы две пары ударных механизмов 3 на каждой из них. Конструкция ударных механизмов состоит из корпуса 4, представляющего собой полый цилиндр с жёстко закреплённым на его наружной поверхности вибратором 5, и подвижных щёк 6 с его противоположной стороны. Монтаж отдельных элементов осуществлён таким образом, что щёки каждого ударного механизма соприкасаются со щеками другого ударного механизма, а сами ударные механизмы расположены в два ряда и соединяются между собой кронштейнами стяжек 7 и пружинами 8 [21].

В ходе работы устройства реализуется следующая последовательность действий.

В образованную соприкасающимися щеками полость через приёмный бункер 9 подаётся берёзовая кора. Посредством вибраторов кора деформируется, луб разрушается и отделяется от бересты. Последовательно перемещаясь между парами соприкасающихся щёк, кора обрабатывается и выводится за пределы механизма.

Другая предлагаемая новая конструкция (рис. 2) содержит секции 1, 2, 3, каждая из которых снабжена корпусом 4, внутри которого размещены электромагнитные вибраторы 5 и 6, смонтированные на общей станине 7 и разъединённые между собой посредством пружин 8, у которых рабочие поверхности 9 установлены напротив друг друга [22].

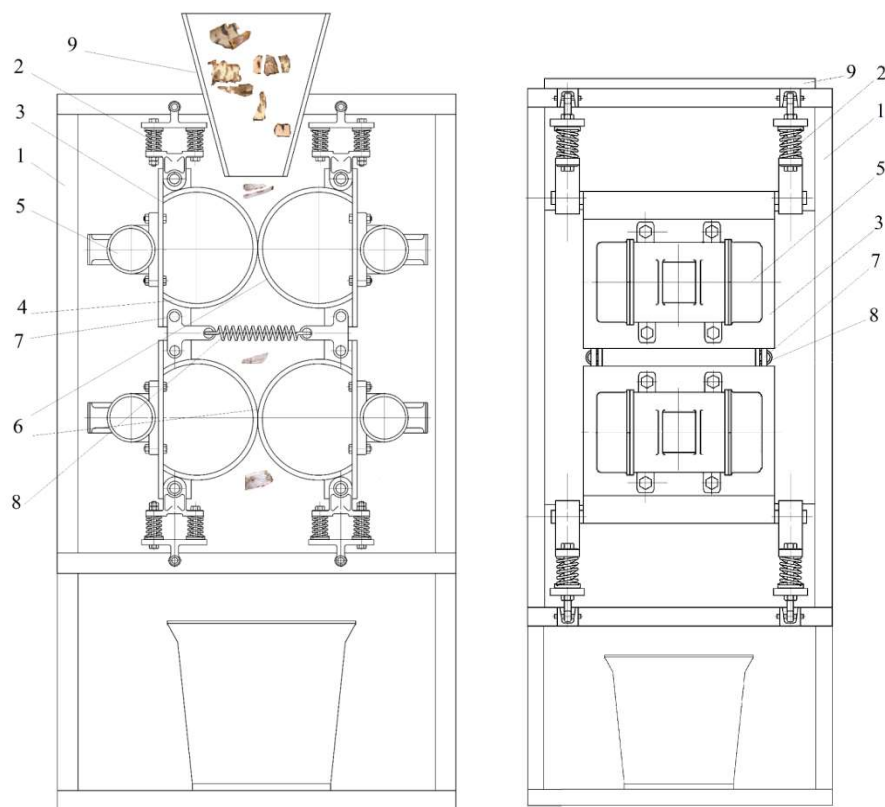


Рис. 1. Устройство для отделения бересты с использованием подвижных щёк ударных механизмов:
 1 – корпус устройства, 2 – опоры, 3 – ударные механизмы, 4 – корпус ударных механизмов, 5 – вибратор,
 6 – рабочая поверхность подвижной щеки, 7 – кронштейны стяжек, 8 – пружины
 Fig. 1. Device for separating birch bark layers using movable cheeks of impact mechanisms:
 1 – housing, 2 – supports, 3 – impact mechanisms, 4 – impact mechanism body, 5 – vibrator,
 6 – working surface of the movable cheek, 7 – tie brackets, 8 – springs

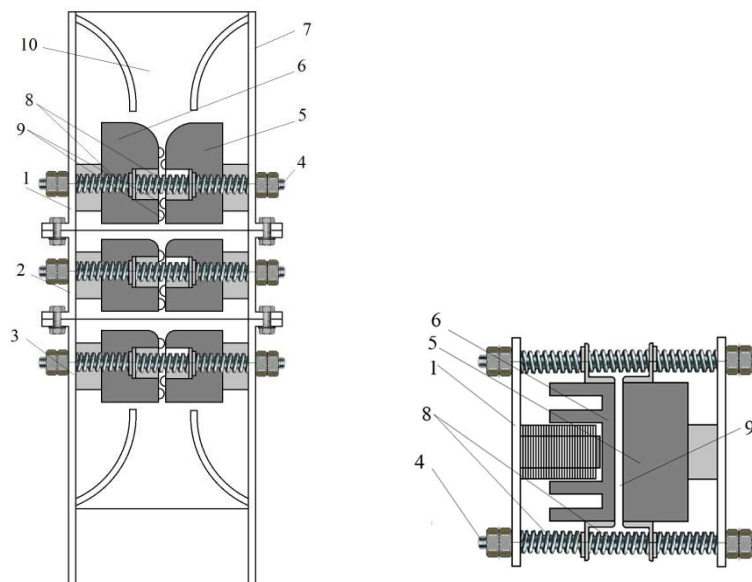


Рис. 2. Устройство для отделения бересты с использованием электромагнитных вибраторов:
 1, 2, 3 – секции, 4 – корпус, 5, 6 – электромагнитные вибраторы, 7 – станина, 8 – пружина,
 9 – рабочие поверхности пружин, 10 – бункер
 Fig. 2. Device for separating birch bark layers using electromagnetic vibrators: 1, 2, 3 – sections, 4 – housing,
 5, 6 – electromagnetic vibrators, 7 – frame, 8 – spring, 9 – working surfaces of the springs, 10 – hopper

Реализуемая при этом последовательность действий выглядит следующим образом.

Операции по отделению бересты начинаются с подачи коры в приёмный бункер 10, через который осуществляется её движение к ближайшей к бункеру секции. Разрушение луба осуществляется посредством вибрационной нагрузки от вибраторов 3 и 4, а за счёт воздействия рабочих поверхностей пружин происходит деформация коры. Повышение качества отделения бересты возможно при установке нескольких последовательных секций. Количественный состав секций в корпусе легко может быть изменён в процессе эксплуатации устройства.

Ещё одно новое авторское устройство для отделения бересты показано на рис. 3. На станине 1 шарнирно смонтированы секции 2, оснащённые Г-образным корпусом 3 и расположенные в верхнем и нижнем противоположных углах станины.

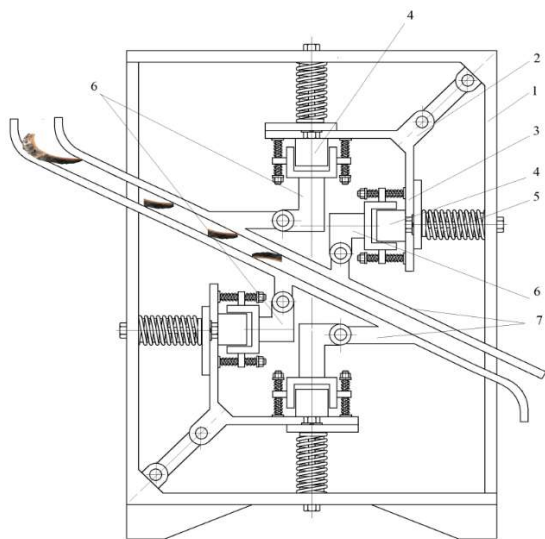


Рис. 3. Устройство для отделения бересты от луба с использованием эффекта соприкосновения парных вибрирующих пластин: 1 – станина, 2 – секции, 3 – Г-образный корпус, 4 – магнитные вибраторы, 5 – пружины, 6 – якоря магнитных вибраторов, 7 – прямоугольные пластины

Fig. 3. Device for separating birch bark from bast using the effect of contacting paired vibrating plates: 1 – frame, 2 – sections, 3 – L-shaped body, 4 – magnetic vibrators, 5 – springs, 6 – armatures of magnetic vibrators, 7 – rectangular plates

Вибраторы 4 выполнены в виде магнитов и установлены с внутренней сторо-

ны на свободных концах Г-образного корпуса устройства. С внешней его стороны смонтированы связанные со станиной пружины 5. На якорях 6 вибраторов двух противоположных Г-образных корпусов установлены соприкасающиеся между собой пластины 7 с возможностью перемещения между ними берёзовой коры [23].

При работе устройства берёзовая кора подаётся в пространство между двумя описанными ранее пластинами, при соприкосновении которых кора в условиях постоянной вибрации пластин деформируется и береста отделяется от лубяного слоя коры. По мере прохождения между пластинами качество отделения лубяного слоя постепенно улучшается и на выходе достигается эффект получения продукции нужного качества.

На рис. 4 представлено ещё одно новое конструктивное решение [24]. Конструкция имеет станину 1 в виде короба, в котором на пружинной подвеске 2 к крыше, основанию и стенкам короба установлены два корпуса 3, имеющих форму полых параллелепипедов. Корпуса оснащены магнитными вибраторами 4 и установлены на противоположных сторонах короба. В зоне соприкосновения корпусов на каждом из них смонтированы роликовые опоры 5 с роликами 6. Над роликовыми опорами установлен приёмный бункер 7 для подачи коры в обработку, а под ними бункер для бересты.

В процессе работы кора берёзы попадает в приёмный бункер и поступает к роликам. При вибрации корпусов под действием магнитных вибраторов осуществляется смещение роликов и их соударение и трение с роликами противоположного корпуса. Кора, проходя через взаимодействующие между собой ролики, под действием силы тяжести перемещается вниз к следующей паре роликовых опор. При этом происходит постепенная деформация лубяного слоя, его разрушение и отделение от слоя бересты.

Другое авторское изобретение, позволяющее решить поставленную задачу, представлено на рис. 5. Научная новизна этой конструкции подтверждена патентом РФ [25].

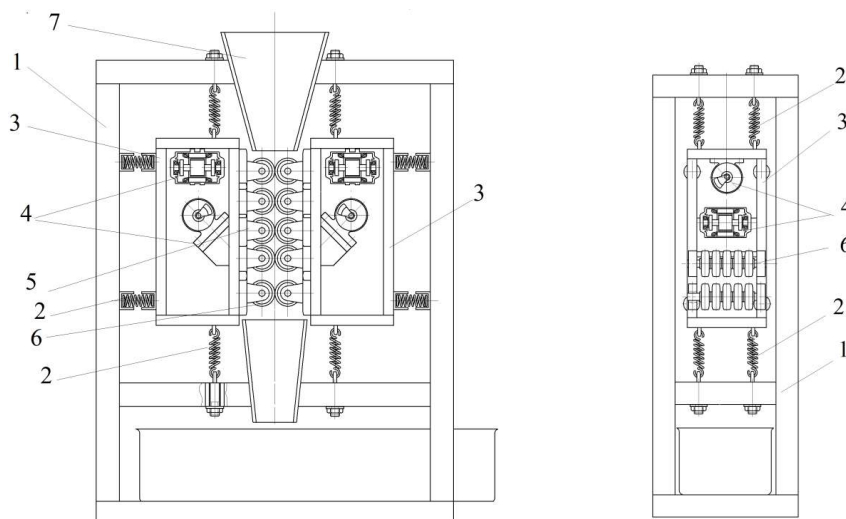


Рис. 4. Устройство для отделения бересты с использованием эффекта вибрации и соприкосновения цилиндрических роликовых опор со свободным вращением: 1 – станина, 2 – пружинная подвеска, 3 – полые корпуса, 4 – вибраторы, 5 – роликовые опоры, 6 – ролики, 7 – приёмный бункер

Fig. 4. Device for separating birch bark using the effect of vibration and contact of cylindrical roller supports with free rotation: 1 – bedplate, 2 – spring suspension, 3 – hollow housings, 4 – vibrators, 5 – roller supports, 6 – rollers, 7 – receiving hopper

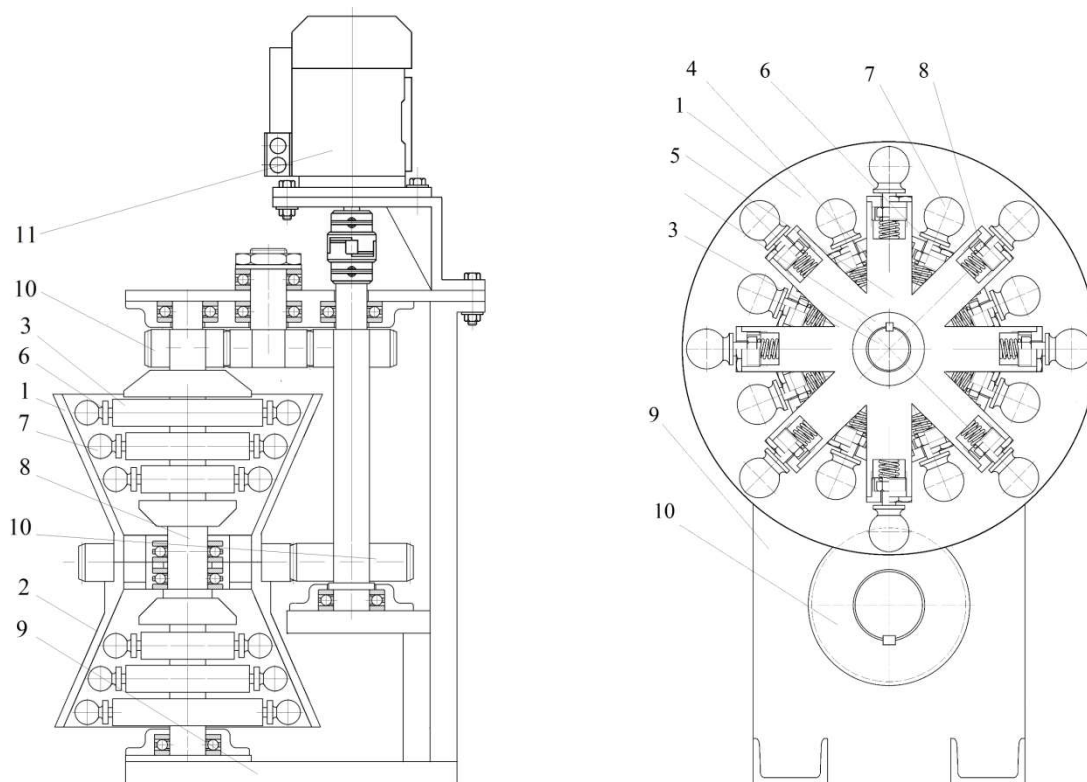


Рис. 5. Устройство для отделения бересты с использованием эффекта деформации коры при взаимодействии с шарообразными наконечниками и конусом: 1, 2 – полые усечённые конусы, 3 – круглые пластины, 4 – треугольные вырезы, 5 – выступы, 6 – металлические стержни, 7 – шарообразные наконечники, 8 – резьба, 9 – станина, 10 – зубчатые передачи, 11 – электродвигатель

Fig. 5. Device for separation of birch bark using the effect of bark deformation when interacting with spherical tips and a cone: 1, 2 – hollow truncated cones, 3 – round plates, 4 – triangular cutouts, 5 – projections, 6 – metal rods, 7 – spherical tips, 8 – thread, 9 – frame, 10 – gears, 11 – electric motor

Устройство содержит корпус, состоящий из двух полых усечённых конусов 1 и 2, внутри которых смонтированы круглые пластины 3 с треугольными вырезами 4, причём на выступах 5 пластин размещены подпружиненные металлические стержни 6 с шарообразными наконечниками 7 с одной стороны и резьбой 8 с другой, причём круглые пластины 3 сдвинуты относительно друг друга на 22,5 градуса, при этом усечённые конусы 1 и 2 и пластины 3 смонтированы на одном приводном валу 8, установленном на станине 9 в вертикальном положении с возможностью противовращения посредством зубчатых передач 10 от двигателя 11.

Берёзовая кора подаётся в полость между верхним полым усечённым конусом и треугольными вырезами первой круглой пластины. Деформация хрупкого лубяного слоя и его разрушение происходит при взаимодействии коры с шарообразными наконечниками и верхним полым усечённым конусом.

Степень очистки бересты зависит от числа последовательно установленных пластин, так как проходя через зону действия первой пластины, кора поступает

к треугольным вырезам следующей и разделение коры продолжается. Вслед за прохождением коры через вырезы всех пластин готовая продукция выходит за пределы корпуса устройства.

Ещё одной авторской идеей отделения бересты является конструктивное решение [26], показанное на рис. 6. Состоит из двух многорядных цепных передач 1 и 2. Цепные передачи смонтированы на раме 3 друг против друга и соединены посредством цепной передачи 4 через предохранительную муфту 5 с электродвигателем 6. Внутри каждой многорядной цепной передачи 1 и 2 размещены натяжители 7. Натяжители 7 состоят из цилиндрических вальцов 8, которые установлены на коромыслах 9. Свободные концы коромысел 9 связаны с корпусом рамы 3 при помощи пружин 10.

В процессе работы устройства кора 11 через бункер 12 поступает к цепям многорядных цепных передач. При этом вращение цепей происходит в противоположные стороны, следовательно, кора затягивается между ними. Деформация коры и отделение луба происходит за счёт взаимодействия её с цепями.

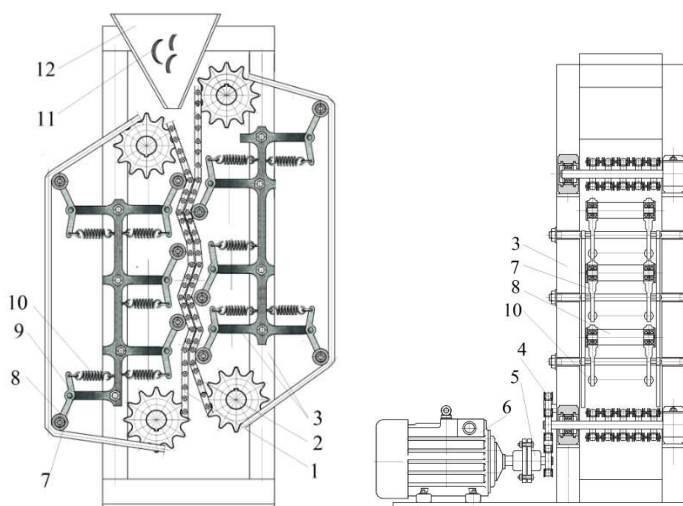


Рис. 6. Устройство для отделения бересты с использованием эффекта взаимодействия с цепями многорядных цепных передач: 1, 2 – многорядные цепные передачи, 3 – рама, 4 – цепная передача, 5 – предохранительная муфта, 6 – электродвигатель, 7 – натяжители, 8 – цилиндрические вальцы, 9 – коромысла, 10 – пружины, 11 – берёзовая кора, 12 – приёмный бункер

Fig. 6. Device for separating birch bark using the effect of interaction with multi-row chain transmissions: 1, 2 – multi-row chain transmissions, 3 – frame, 4 – chain transmission, 5 – safety coupling, 6 – electric engine, 7 – tensioners, 8 – cylindrical rollers, 9 – rocker arms, 10 – springs, 11 – birch bark, 12 – receiving hopper

Также новизной обладает авторское решение по отделению бересты, представленное на рис. 7 [27].

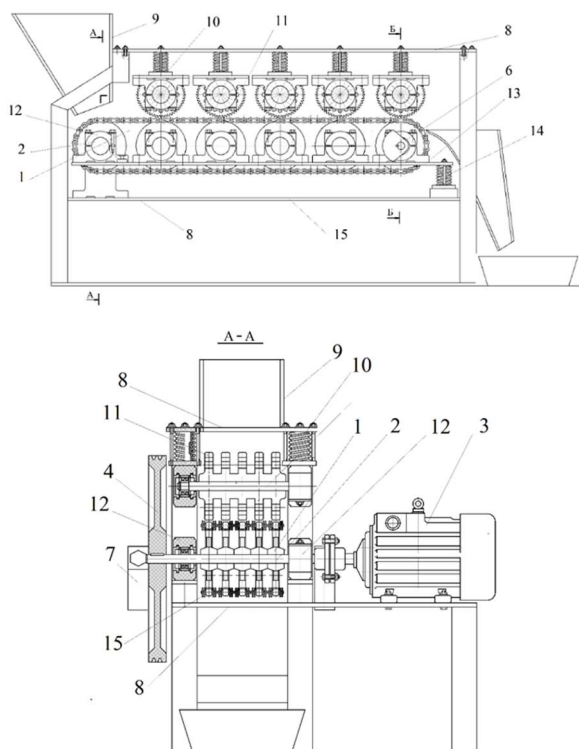


Рис. 7. Устройство для отделения бересты с использованием эффекта взаимодействия свободно вращающихся зубьев шестерён и цепей цепного транспортера: 1 – цепной транспортер, 2 – ведущий вал, 3 – силовая передача, 4 – шкив, 5 – ремённая передача, 6 – ведомый вал, 7 – дебаланс, 8 – станина, 9 – бункер, 10 – блоки с шестернями, 11 – шестерни, 12 – подшипниковые узлы, 13 – рама транспортера 14 – пружины, 15 – цепи транспортера

Fig. 7. Device for separating birch bark using the effect of interaction of freely rotating gear teeth and chain conveyor chains: 1 – chain conveyor, 2 – drive shaft, 3 – power transmission, 4 – pulley, 5 – belt transmission, 6 – driven shaft, 7 – eccentric weight, 8 – bed, 9 – hopper, 10 – units with gears, 11 – gears, 12 – bearing units, 13 – conveyor frame, 14 – springs, 15 – conveyor chains

Основу его конструкции представляет цепной транспортер 1, состоящий из нескольких рядов цепей. На его ведущем валу 2 с одной стороны установлена силовая передача 3. Противоположная сторона вала заканчивается шкивом 4, соединённым посредством ремённой передачи 5 с ведомым валом 6. На конце

ведомого вала закреплён дебаланс 7. Жёстко смонтированный над транспортером на станине 8 приёмный бункер 9 предназначен для подачи коры в обработку. На этой же станине над транспортером расположены подпружиненные блоки 10, оснащённые шестернями 11 с возможностью их свободного вращения, а подшипниковые узлы 12 для установки ведущего вала смонтированы на ней в отверстиях её боковых стенок. Рама транспортера 13 и станина являются отдельными конструктивными элементами устройства и взаимодействуют между собой посредством пружин 14, установленных в зоне ведомого вала.

Подаваемая в обработку через приёмный бункер 9 берёзовая кора движется по цепному транспортеру к первому подпружиненному блоку с шестернями. Деформация коры и разрушение лубяного слоя осуществляются в результате взаимодействия зубьев шестерён и цепей 15. Качество разрушения лубяного слоя находится в прямой зависимости от протяжённости транспортера и количества размещённых над ним вибрирующих под действием нагрузки от дебалансов шестерён.

Выводы

В ходе работы над поставленной задачей вниманию специалистов исследователей научных и производственных организаций предложена модернизация технических решений по разделению слоёв берёзовой коры, позволяющая обеспечить высокие качественные характеристики готовой продукции. Предложенные конструкции могут способствовать технико-экономическому развитию отрасли. Для создания описанных в статье конструкторских решений и внедрения их в производство необходим сложный и длительный процесс дальнейших лабораторных и производственных испытаний, однако, привлечение внимания предприятий к возможностям эффективного решения проблем лесного комплекса является первым важным шагом на пути дальнейшего развития и позволяет расширить гамму

существующих вариантов оборудования производственных участков обработки

древесного сырья с повышением эффективности технологических процессов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Площадь земель, на которых расположены леса, тыс. га, на 01.01.2024. URL: <https://rosleshoz.gov.ru/opendata/7705598840-ForestLocationArea> (дата обращения: 23.02.2024).
2. Винокурова Р. И., Трошкова И. Ю., Винокуров А. И. Оценка биоиндикационных свойств бетулина и суберина в бересте березы повислой // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 1. С. 81–87. EDN: KBDTRT
3. Functional characterization of CCR in birch (*Betula platyphylla* × *Betula pendula*) through overexpression and suppression analysis / W. Zhang, R. Wei, S. Chen et al. // *Physiologia Plantarum*. 2015. Vol. 54, iss. 2. Pp. 283–296. DOI: 10.1111/ppl.12306
4. Dragicević A., Kitić D., Pavlović D. Biological activity of the birch leaf and bark // *Lekovite Sirovine*. 2022. Vol. 42, iss. 1. Pp. 89–95. DOI: 10.5937/leksir2242089d
5. Производные бетулина, биологическая активность и повышение растворимости / О. А. Воробьева, Д. С. Малыгина, Е. В. Грубова и др. // Химия растительного сырья. 2019. № 4. С. 407–430. DOI: 10.14258/jcrpm.2019045419; EDN: JWQQIC
6. Апокина Л. Ю., Лежнева М. Ю., Касюкевич А. В. Влияние тритерпеноидов берёзы на экологические показатели молока // Здоровый образ жизни и охрана здоровья: материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Сургут, 03 апреля 2020 года. Сургут: Сургутский государственный педагогический университет, 2020. С. 23. EDN: PQDFFZ
7. Лебедева И. А., Дроздова Л. И., Женихова Н. И. Перспективы применения бетулина для оздоровления и продления продуктивного долголетия сельскохозяйственных животных и птиц // Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции: материалы I Международной конференции по ветеринарно-санитарной экспертизе, Воронеж, 26–27 ноября 2015 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2015. С. 124–127. EDN: WEVTJ
8. Чурсина Л. А., Горач О. А., Базык В. П. Характеристика лубяного сырья для использования в техническом текстиле // *Материалы и технологии*. 2018. № 1 (1). С. 66–72. DOI: 10.24411/2617-1503-2018-11012; EDN: UVOKYR
9. Аникин Б. П. Использование берёзовой коры в кожевенной промышленности // Труды и исследования по лесному хозяйству и лесной промышленности. Л.: Ленинградский лесопромышленный научно-исследовательский институт, 1931. Т. 20. С. 61–83. EDN: WMEJXL
10. Залесов С. В., Годовалов Г. А. Технологии производства недревесной продукции леса. Раздел Подсочка леса. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 1999. 299 с. EDN: SEVOYN
11. Анисимова А. А., Орлова С. В. Использование резных элементов из бересты в ювелирном дизайне // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: материалы XII Международной научно-практической конференции вузов России, Санкт-Петербург, 20–25 апреля 2020 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2020. С. 16–21. EDN: ULBTCT
12. Объем заготовки древесины государственными учреждениями ДФО в 2023 году вырос на 66%. URL: https://rosleshoz.gov.ru/news/2024-02-05/дфо_22142 (дата обращения: 23.02.2024).
13. Денисов С. А. Таблицы запасов бересты в березняках разного видового состава // Лесное хозяйство. 1987. № 3. С. 54–55.
14. Васильев А. С. Классификация способов окорки древесины // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике. 2015. № 3 (5). С. 258–260. EDN: UCUXAJ
15. Воскресенский В. Е. Оптимальные режимы отделения луба от бересты // Известия вузов. Лесной журнал. 1999. № 1. С. 62–71.
16. Воскресенский В. Е. Критерии качества бересты в технологической системе разделения отходов окорки фанерного сырья на компоненты с учётом влажности материалов // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств: межвузовский сборник научных трудов. Л.: Ленинградская лесотехническая академия, 1987. 120 с.
17. Обзор рынка берёзового фанерного кряжа. Текущее состояние и перспективы развития. URL: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/obzorynka-berjozovogo-fanernogo-kryazha-tekushchee-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya.html> (дата обращения: 23.02.2024).
18. Авторское свидетельство № 1209442 СССР, МПК В27L 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Койков П. М., Лученко Ю. А., Роженцов В. П., Замятин Е. И., заявитель и патентообладатель Кировский научно-исследовательский и проектный институт лесной промышленности, заявл. 25.07.1984, опубл. 07.02.1986. Бюл. №5.
19. Авторское свидетельство № 935297 СССР, МПК В27L 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Бетехтин В. С., заявитель и патентообладатель Кировский научно-исследовательский

и проектный институт лесной промышленности, заявл. 30.10.1980, опубл. 15.06.1982. Бюл. №22.

20. Авторское свидетельство № 743867 СССР, МПК В27Л 11/02. Устройство для отделения бересты от луба / Ивонин Ю. П., заявитель и патентообладатель Кировский научно-исследовательский и проектный институт лесной промышленности, заявл. 04.05.1978, опубл. 30.06.1980. Бюл. №24.

21. Патент № 2760592 Российская Федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Рукомойников К. П., Бердников Д. С., Анисимов Н. С., Анисимов И. С., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 03.06.2021, опубл. 29.11.2021. Бюл. № 34. EDN: NHPPNQ

22. Патент № 2749197 Российская Федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Рукомойников К. П., Лопухов М. Н., Анисимов Н. С., Анисимов И. С., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 09.11.2020, опубл. 07.06.2021. Бюл. № 16. EDN: QVBNIM

23. Патент № 2760591 Российская Федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Рукомойников К. П., Ямбаршев С. В., Анисимов Н. С., Анисимов И. С., заявитель и патентообладатель

ПГТУ, заявл. 07.06.2021, опубл. 29.11.2021. Бюл. № 34. EDN: NRGSYG

24. Патент № 2696110 Российская Федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Палкин А. А., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 01.11.2018, опубл. 31.07.2019. Бюл. № 22. EDN: JOBCNM

25. Патент № 2761168 Российская Федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Рукомойников К. П., Лопухов М. Н., Анисимов Н. С., Анисимов И. С., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 07.06.2021, опубл. 06.12.2021. Бюл. № 34. EDN: MILKDM

26. Патент № 2756752 Российская федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., Палкин А. А., Лопухов М. Н., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 30.10.2018, опубл. 05.10.2021. Бюл. № 28. EDN: QYTUXR

27. Патент № 2730587 Российская Федерация, МПК В27Л 11/02. Установка для отделения бересты от луба / Царев Е. М., Анисимов С. Е., заявитель и патентообладатель ПГТУ, заявл. 21.01.2020, опубл. 24.08.2020. Бюл. № 24. EDN: QAJBOU

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 14.11.2024; принята к публикации 25.11.2024

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 401 научной публикации, 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 288 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 54 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 58 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

АНИСИМОВ Павел Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – энергообеспечение предприятий. Автор 90 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7789-2399>; SPIN-код: 9087-4940

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.

Анисимов П. Н. – 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*866.9, 674.093.26

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.48>

EDN: SCJNPE

Modernizing Technical Equipment for Sections Separating Outer Birch Bark from Bast

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

Volga State University of Technology,

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

RukomojnikovKP@volgatech.net [✉]

Abstract. *Introduction.* Depending on the purpose, a distinction is made between "pure" birch bark and that with an admixture of bast. With an increase in the bast proportion in the birch bark composition, not only the grade of the bark but also its quality decreases. The necessity to separate the outer layer of birch bark from its inner layer is quite a complicated task that requires special devices. The conducted patent search and literature review revealed practical interest in the need to increase the volumes of harvesting high-quality birch bark. *The purpose of the research* is to modernize devices for separating birch bark layers in order to ensure high quality characteristics of the finished product. *Objects and methods.* The objects of the study are devices for separating birch bark from bast. The methods of literature survey and patent search for studying similar devices were employed. The advantages and disadvantages of existing design solutions were identified. *Results and discussion.* Analogs of the equipment, their advantages and disadvantages were determined. New design options were developed and proposals were made to modernize the existing technical solutions for separating bark layers. The authors used the principles of bark layer separation based on the interaction of impact mechanisms, electromagnetic vibrators, contacting vibrating plates and other mechanisms facilitating the deformation of the bark, destruction of the bast layer under the action of impact mechanisms and vibration loads and its separation. It is noted that changing the number of sequentially installed working units of the modernized equipment makes it possible to achieve the required quality of the separation of bark layers. Schematic diagrams of the equipment are presented, a brief description of its main units and their operation principle are given. *Conclusion.* Specialists and researchers of scientific and industrial organizations are invited to consider the proposed modernized design solutions for separating birch bark layers that allow for high quality characteristics of the finished products. This provides an opportunity to expand the range of existing equipment options available to production facility sections engaged in processing wood raw materials while increasing the efficiency of technological processes. The described technical solutions can contribute to the technical and economic development of the industry.

Keywords: birch; bark; equipment; birch bark; bast; patent search

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

For citation: Tsarev E. M., Rukomojnikov K. P., Anisimov I. S. et al. Modernization of the Technical Equipment of the Sections of Separation of the Birch Bark Layer from the Bast. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):48–60. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.48>; EDN: SCJNPE

REFERENCES

1. Area of land where forests are located, thousand hectares, as of 01.01.2024. Available from <https://rosleshoz.gov.ru/opendata/7705598840-Forest-LocationArea> [Accessed 22 February 2024]. (In Russ.).
2. Vinokurova R. I., Troshkova I. Yu., Vinokurov A. I. Assessment of bioindicational features of betulin and suberin in birchbark of weeping birch. *Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature Management.* 2009;(1):81–87. EDN KBDTRT (In Russ.).
3. Zhang W., Wei R., Chen S. et al. Functional characterization of CCR in birch (*Betula platyphylla* × *Betula pendula*) through overexpression and suppression analysis. *Physiologia Plantarum.* 2015;54(2):283–296. DOI: 10.1111/ppl.12306
4. Dragicević A., Kitić D., Pavlović D. Biological activity of the birch leaf and bark. *Lekovite Sirovine.* 2022;42(1):89–95. DOI: 10.5937/lekir2242089d
5. Vorobyeva O. A., Malygina D. S., Grubova E. V. et al. Betulin derivatives. Biological activity and solubility improvement. *Chemistry of Plant Materials.* 2019;(4):407–430. DOI: 10.14258/jcprm.2019045419; EDN: JWQQIC (In Russ.).
6. Apokina L. Yu., Lezhneva M. Yu., Kasyukovich A. V. Influence of birch triterpinoids on the environmental indicators of milk. In: *Healthy lifestyle and health care. Materials of the 3rd All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation* (Surgut, April 3, 2020). Surgut, Surgut State Pedagogical University, 2020:23. EDN: PQDFFZ (In Russ.).
7. Lebedeva I. A., Drozdova L. I., Zhenikhova N. I. Prospects for the use of betulin for the improvement and extension of productive longevity of agricultural animals and birds. In: *Veterinary and sanitary aspects of the quality and safety of agricultural products. Materials of the 1st International Conference on Veterinary and Sanitary Examination* (Voronezh, November 26–27, 2015). Voronezh, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great; 2015:124–127. EDN: WEVTJT (In Russ.).
8. Chursina L. A., Gorach O. A., Bazyk V. P. Characteristics of bast crop for use in technical textile. *Materials and Technologies.* 2018;(1(1)):66–72. DOI: 10.24411/2617-1503-2018-11012; EDN: UVOKYR (In Russ.).
9. Anikin B. P. Use of birch bark in the leather industry. In: *Proceedings and research on forestry and forestry industry.* Leningrad, Leningrad Forestry Research Institute; 1931:61–83. (In Russ.).
10. Zalesov S. V., Godovalov G. A. Technologies for the production of non-timber forest products. Section of forest tapping. Ekaterinburg, Ural State Forest Engineering University; 1999. 299 p. EDN: SEVOYN (In Russ.).
11. Anisimova A. A., Orlova S. V. Carved birch bark elements in jewelry design. In: *Science and education in the field of technical aesthetics, design and technology of artistic processing of materials. Proceedings of the 12th International Scientific and Practical Conference of Russian Universities* (St. Petersburg, April 20–25, 2020). St. Petersburg, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design; 2020:16–21. EDN: ULBTCI (In Russ.).
12. The volume of timber procurement by state institutions in the Far Eastern Federal District increased by 66 % in 2023. Available from: https://rosleshoz.gov.ru/news/2024-02-05/дфо_22142 [Accessed 22 February 2024]. (In Russ.).
13. Denisov S. A. Tables of birch bark reserves in birch forests of different species composition. *Lesnoe Hozyaystvo (Forestry).* 1987;(3):54–55. (In Russ.).
14. Vasiliev A. S. Classification of wood debarking methods. *Current Directions of Scientific Research: from Theory to Practice.* 2015;(3(5)):258–260. EDN: UCUXAJ (In Russ.).
15. Voskresensky V. E. Optimal modes for separating bast from birch bark. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal).* 1999;(1):62–71. (In Russ.).
16. Voskresensky V. E. Quality criteria for birch bark in the technological system for separating waste from debarking plywood raw materials into components, taking into account the moisture content of the materials. In: *Technology and equipment of woodworking industries. Interuniversity collection of scientific papers.* Leningrad, LTA Publ.; 1987. 120 p. (In Russ.).
17. Review of the birch plywood log market: current status and development prospects. Available from: <https://proderevo.net/industries/wooden-plates/obzor-rynka-berjozovogo-fanernogo-kryazha-tekushchee-sostoyaniya-i-perspektivy-razvitiya.html> [Accessed 23 February 2024]. (In Russ.).
18. Koikov P. M., Luchenko Yu. A., Rozhentsov V. P. et al. Installation for separating birch bark from bast. USSR Inventor's Certificate No. 1209442; 1986. (In Russ.).
19. Betekhtin V. S. Installation for separating birch bark from bast. USSR Inventor's Certificate No. 935297; 1982. (In Russ.).
20. Ivonin Yu. P. Device for separating birch bark from bast. USSR Inventor's Certificate No. 743867; 1980. (In Russ.).
21. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Rukomoinikov K. P. et al. Installation for separating birch bark

from bast. Patent RF, no. 2760592; 2021. EDN: HHPPNQ (In Russ.).

22. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Rukomoinikov K. P. et al. Installation for separating birch bark from bast. Patent RF, no. 2749197; 2021. EDN: QVBHIM (In Russ.).

23. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Rukomoinikov K. P. et al. Installation for separating birch bark from bast. Patent RF, no. 2760591; 2021. EDN: NRGSYG (In Russ.).

24. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Palkin A. A. et al. Installation for separating birch bark from

bast. Patent RF, no. 2696110; 2019. EDN: JOBCNM (In Russ.).

25. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Rukomoinikov K. P. et al. Installation for separating birch bark from bast. Patent RF, no. 2761168; 2021. EDN: MILKDM (In Russ.).

26. Tsarev E. M., Anisimov S. E., Palkin A. A. et al. Installation for separating birch bark from bast. Patent RF, no. 2756752; 2021. EDN: QYTUXR (In Russ.).

27. Tsarev E. M., Anisimov S. E. Installation for separating birch bark from bast. Patent RF, no. 2730587; 2020. EDN: QAJBOU (In Russ.).

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 14.11.2024; accepted for publication 25.11.2024

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 401 scientific publications including one monograph and 148 RF patents for inventions. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-3028>; SPIN: 3117-8576

Konstantin P. Rukomoinikov – 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 288 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>; SPIN: 9119-8261

Ilya S. Anisimov – student of 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 54 scientific papers. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9528-8988>; SPIN: 7951-9072

Nikita S. Anisimov – student of 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 58 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

Pavel N. Anisimov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Volga State University of Technology. Research interests – energy supply of enterprises. Author of 90 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7789-2399>. SPIN: 9087-4940

Contribution of authors:

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

Rukomoinikov 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.

Anisimov P. N. – patent search, manuscript preparation.

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

All authors read and approved the final manuscript.

Научная статья

УДК 630.935.1

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.61>

EDN: WSORUK

Оценка точности решения простейших сенсорно-когнитивных задач оператором эргатических систем

И. С. Стешин, И. В. Петухов[✉], Л. А. Стешина, И. О. Танрывердиев

Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
PetuhovIV@volgatech.net[✉]

Аннотация. *Введение.* Использование тренажёрных комплексов и симуляторов рассматривается сегодня в качестве эффективного средства подготовки операторов сложных технологических комплексов. При этом наблюдается широкое расхождение в составе используемых технических средств тренажёрных комплексов, что ставит вопрос о зависимости результатов обучения от используемых технологий. *Цель* – оценка точности решения простейших сенсорно-когнитивных задач, значимых для эффективной профессиональной деятельности, в условиях восприятия информации в виртуальных средах и при восприятии информации с электронных дисплеев. Проверялась гипотеза о зависимости результатов решения сенсорно-когнитивных задач в зависимости от используемой технологии представления информации. *Объектом* являются простейшие сенсорно-когнитивные задачи на основе оценки центра масс геометрических объектов. Данная задача выбрана как типовая для операторов, связанных с погрузочно-разгрузочными работами, включающая сенсорную компоненту в части оценки геометрических форм и когнитивную компоненту. *Методы* решения задачи сводятся к использованию методов кластерного анализа, включая методы понижения размерности t-SNE, а также метод машинного обучения без учителя k-means, позволяющие выявить закономерности результатов эксперимента. *Результаты.* В ходе анализа статистически значимых различий в результатах измерения как точности восприятия размеров и форм геометрических объектов, так и скорости этого процесса при различных способах отображения видеоинформации оператору обнаружить не удалось, что свидетельствует о том, что способ предъявления информации на результаты не влияет. *Выводы.* Установлено, что погружение в виртуальные среды не оказывает существенного как негативного, так и позитивного эффекта на точность восприятия геометрических размеров и форм объектов оператором. Учитывая прочие преимущества виртуальных сред, можно предполагать, что обучение операторов манипуляторов задачам наведения в виртуальных средах будет иметь незначительные преимущества по сравнению с обучением их в симуляторах на основе электронных дисплеев, прежде всего, возможно за счёт некоторого элемента новизны.

Ключевые слова: человеко-машинное взаимодействие; профессиональная подготовка; тренажёры; виртуальная среда; симулятор

Финансирование: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-19-00568 «Методы и интеллектуальная система поддержки динамической устойчивости операторов эргатических систем», <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>.

Для цитирования: Оценка точности решения простейших сенсорно-когнитивных задач оператором эргатических систем / И. С. Стешин, И. В. Петухов, Л. А. Стешина и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4 (64). С. 61–73. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.61>; EDN: WSORUK

Введение

Несмотря на активное внедрение систем автоматизации и интеллектуализации в технологические процессы, человек-

оператор зачастую остаётся ключевым элементом системы управления. Повышение надёжности человека-оператора и его производительности является главным

фактором обеспечения эффективного функционирования производственной системы. Кроме того, именно человек-оператор является главным источником внештатных и аварийных ситуаций [1].

Решение проблемы может быть в плоскости профессиональной подготовки операторов [2, 3], определяющей последующую производительность человеко-машинной системы, а также количество нарушений технологического процесса, допущенных по вине оператора [4].

Описаны идеи фиксации индивидуальных стилей работы операторов харвестеров, которые позволяют во время обучения провести их корректировку, повышая производительность технологической системы [5].

Также хорошо известно, что квалификация операторов ключевым образом влияет на эффективность работы самой технологической системы [6, 7].

Применение тренажёров и симуляторов может значительно интенсифицировать процесс подготовки высококвалифицированных операторов [8]. Однако встаёт вопрос применимости тех или иных технологий, используемых при подготовке операторов, в том числе таких технологий, как виртуальная реальность, иммерсивные технологии погружения и т. д.

Целью статьи является оценка точности решения отдельных операторских задач, значимых для эффективной профессиональной деятельности, в условиях восприятия информации в виртуальных средах и при восприятии информации с электронных дисплеев.

Теоретический анализ

Наряду с обучающими симуляторами технологических процессов, основанными на трёхмерном представлении объектов на электронных дисплеях, технологии дополненной и виртуальной реальности в настоящее время активно используются для создания иммерсивных обучающих сред в симуляторах сложных технологических процессов. Считается, что применение виртуальных сред в процессе под-

готовки и переподготовки операторов, согласно результатам современных исследований, позволяет в значительной степени сократить время подготовки операторов, снизить количество ошибок неопытных операторов после процесса обучения, сократить материальные расходы на подготовку операторов.

Так, например, исследования процесса подготовки операторов лесозаготовительной техники показывают, что добавление 25 часов практического обучения в виртуальной реальности увеличивает объём заготовленной древесины на 23 % и снижает на 26 % расходы на ремонт и техническое обслуживание в течение первого месяца работы в лесу [9].

Однако большинство известных исследований с использованием симуляторов лесозаготовительной техники направлено на отработку навыков последовательности выполнения действий и навыков взаимодействия с технологическим оборудованием [10, 11].

На сегодня принято считать, что типовой процесс профессиональной деятельности оператора состоит из отдельных этапов, включающих сенсорную, когнитивную и моторную компоненты. Восприятие времени и пространства является одним из наиболее сложных процессов, затрагивающих как сенсорную, так и когнитивную и моторную компоненты. Это достаточно сложная функция оператора, связанная с осуществлением какого-либо управления, предполагающего обратную связь: например, наведения подвижного рабочего органа объекта управления на визуально определяемую цель.

Такие процессы типичны также при осуществлении погрузочных работ – при использовании форвардера эффективность профессиональной деятельности зависит как от восприятия геометрических размеров сортиментов (брёвен), так и от правильного наведения захватного устройства на определённую оператором визуальную цель. Правильный захват пачек брёвен при погрузке их в грузовой

отсек форвардера обеспечивает меньшую раскачку захватного устройства и меньший перекося пачки брёвен при переноске захватным устройством [12].

Согласно технологической инструкции, оператору лесозаготовительной машины требуется захватить пачку из лежащих на земле брёвен (сортиментов) таким образом, чтобы центр масс этой пачки находился в точке захвата пачки захватным устройством, рис. 1, а. Перекося точки захвата относительно центра масс пачки брёвен влечёт неправильную погрузку брёвен, их повреждения в процессе погрузки, а также создаёт чрезмерные нагрузки на технологическое оборудование, рис. 1, б.



а



б

Рис. 1. Захват брёвен при погрузке:
а – верный, б – не верный

Fig. 1. Grasping logs during loading:
a – correct, b – incorrect

Аналогичная ситуация наблюдается и для операторов харвестеров. Установлено, что именно высокая точность позиционирования харвестерных головок и захватов позволяет предотвратить повреждения древесины в процессе лесозаготовки и погрузки брёвен в транспортную машину [13]. При этом точность позиционирования таких рабочих механизмов определяется именно сенсомоторной реакцией восприятия геометрической формы, выработки

решения и осуществления этого решения оператором с помощью устройств ввода.

В качестве устройств ввода в подавляющем большинстве систем автоматизированного управления подвижными объектами и манипуляторами являются джойстики или их разновидности. Процесс осуществления управления с помощью джойстиков в виртуальных средах также имеет ряд особенностей, которые являются предметом рассмотрения отдельных исследований. В данном исследовании проводились эксперименты именно по восприятию форм, а в качестве устройств наведения (выработки решения) использовались стандартные джойстики. По мнению авторов, это является справедливым подходом, поскольку большинство реального технологического оборудования оснащено физическими джойстиками, а не графическими элементами управления. Более того, согласно исследованиям, применение реальных джойстиков вместо элементов графического интерфейса в системах управления оправдано. Операторы демонстрируют большую точность управления механизмами при наличии тактильной обратной связи, т. е. при наличии именно физических, реальных джойстиков [14].

Безусловно на точность восприятия геометрических размеров и форм объектов в виртуальных средах влияет качество отображения визуальной информации человеку. Так проводились эксперименты по изучению разницы в восприятии размеров и форм геометрических объектов в виртуальных средах при использовании различных шлемов виртуальной реальности, доступных сейчас в продаже в мире. Исследователи не обнаружили существенной разницы в восприятии размеров и форм объектов при использовании разных типов шлемов и пришли к выводу, что потребительские гарнитуры виртуальной реальности обеспечивают достаточно высокую степень точности восприятия расстояний, размеров и форм объектов, чтобы их можно было уверенно использо-

вать в будущей экспериментальной науке о зрении и других исследовательских приложениях в области психологии [15].

В других экспериментах исследованы различия в восприятии расстояний в физическом мире и в виртуальных средах. Установлено, что на точность восприятия пространственной информации в виртуальных средах в значительной мере влияет опыт погружения человека в виртуальные среды. При этом, с появлением опыта работы в виртуальных средах зрительный анализатор человека «калибруется» или адаптируется к новым условиям восприятия информации и точность восприятия становится выше. В частности, установлено, что перемещение или «ходьба» по виртуальной среде ускоряют эти процессы адаптации [16].

В нескольких исследованиях отмечается, что абсолютная ошибка восприятия геометрии увеличивается по мере увеличения расстояния от наблюдателя в виртуальной среде [17].

Исследованы и классифицированы факторы, влияющие на восприятие геометрии и глубины при восприятии информации с дисплея (монокулярные факторы) и в виртуальных средах (бинокулярные факторы) [18].

Установлено также, что индивидуальные параметры настройки гарнитур виртуальной реальности, а именно неверная настройка фокусного расстояния, могут в значительной степени влиять на точность восприятия геометрии в виртуальных средах [19].

На восприятие геометрических форм и размеров помимо способа отображения информации человеку также влияет и положение тела оператора в пространстве. Это объясняется тем, что человек при восприятии размеров и форм геометрических объектов ориентируется, по большей части, на визуальную информацию, но, в некоторой степени, и на вестибулярное чувство [20, 21].

В данной работе экспериментально сравнивалась точность восприятия разме-

ров и форм геометрических объектов оператором в условиях восприятия информации в виртуальных средах и при восприятии информации с электронных дисплеев. Данные о различиях в точности восприятия размеров и форм геометрических объектов в различных условиях отображения визуальной информации оператору позволят дать рекомендации по разработке новых симуляторов для операторов лесозаготовительной, строительной техники, водителей автомобильного транспорта.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 98 мужчин добровольцев в возрасте 19–23 лет – студентов учебного заведения, занимающегося профессиональной подготовкой операторов лесозаготовительной техники. Все добровольцы предварительно медицинскими работниками были сгруппированы в три группы отбора по здоровью с учётом индивидуальных особенностей зрения и здоровья опорно-двигательного аппарата и прошли предварительное тестирование на профессиональную пригодность к осуществлению операторской деятельности при поступлении в учебное заведение. При этом все добровольцы не имели явных проблем со здоровьем, которые бы не позволяли им выполнять операторскую деятельность по управлению лесозаготовительной техникой. Все 98 добровольцев были поделены на две эквивалентно сбалансированные группы тестирования (табл. 1).

Таблица 1. Распределение людей с разными группами профессионального отбора по группам тестирования

Table 1. Distribution of people from different vocational selection groups into the testing groups

Группа тестирования	Группа отбора	Количество человек
Виртуальная реальность	I	17
	II	28
	III	4
Графический дисплей	I	18
	II	27
	III	4

Первая группа добровольцев выполняла тестирование точности восприятия размеров и форм геометрических объектов в условиях восприятия зрительной информации с электронного дисплея. Вторая группа добровольцев выполняла аналогичное тестирование точности восприятия размеров и форм геометрических объектов в условиях виртуальной среды.

Техническое обеспечение виртуальной среды было организовано на основе системы виртуальной реальности HTC VIVE 2, включающей шлем виртуальной реальности, базовые станции для отслеживания перемещения оператора в виртуальной среде и специализированного программного обеспечения. Согласно результатам предыдущих исследований, выбор конкретного типа гарнитуры виртуальной реальности не имеет решающего значения с точки зрения точности восприятия геометрических параметров объектов в виртуальных средах. В качестве средств ввода команд управления от человека-оператора в обеих группах использовалось аналогичное (одно и то же) оборудование – джойстики с рукоятками, аналогичными применяемым в лесозаготовительной технике производства Ponsse.

Также использовался идентичный компьютер и программное обеспечение. Отличие тестов состояло только в способе представления зрительной информации человеку-оператору, что необходимо для исключения ошибок измерений, связанных с быстродействием различного оборудования операторского интерфейса, которые могли бы влиять на надёжность результатов тестирования. Использование одного и того же оборудования (джойстиков, компьютера, программного обеспечения) исключает дополнительные погрешности в какой-либо группе тестирования. Такой подход является общепринятым и рекомендуемым для использования при проведении тестирования скорости операторских реакций с использованием компьютерного оборудования [22].

После сбора данных были исключены из анализа участники, имеющие хотя бы один выброс в том или ином тестировании, так как методы анализа очень чувствительны к наличию выбросов в данных. Итого каждая группа тестирования в конечном итоге имела по 49 человек.

В качестве теста использовался разработанный авторами тест, измеряющий точность восприятия размеров и форм геометрических объектов оператором.

Суть разработанного теста заключалась в том, что оператору визуально предъявлялись различные геометрические объекты, имеющие неправильную форму. Оператор, управляя движением прицела в виде зелёного креста перемещением рукоятки джойстика, прицеливался как можно точнее в центр тяжести геометрического объекта и нажимал кнопку готовности, расположенную на джойстике. Центр тяжести на объекте не был никак отмечен. Схематическое изображение теста представлено на рис. 2.

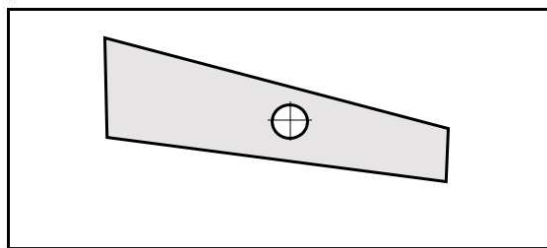


Рис. 2. Схема выполнения теста
Fig. 2. Test execution scheme

При нажатии оператором кнопки готовности запускалось следующее повторение теста, при котором изменялось положение целевого объекта, его размеры и форма. Примеры целевых объектов и изображения с экрана при выполнении некоторых повторений теста оператором представлены на рис. 3.

Таким образом, задача оператора состояла в том, чтобы оценить геометрические размеры и форму предъявленного объекта, визуально определить положение центра тяжести этого объекта, навести

прицел с помощью джойстика как можно точнее в центр тяжести объекта и нажать кнопку готовности.

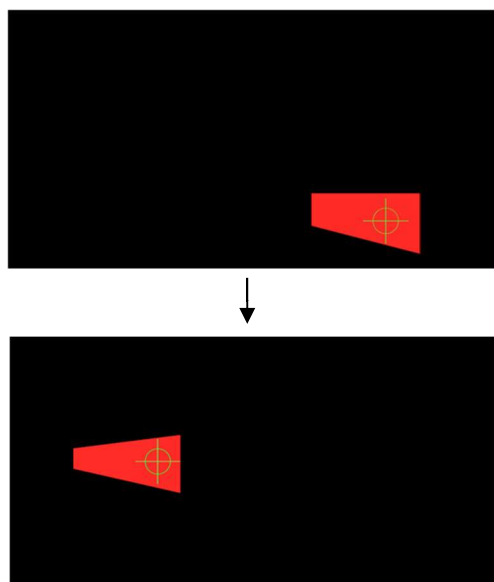


Рис. 3. Изображения с экрана при выполнении повторений теста оператором

Fig. 3. Screen images during test repetitions performed by the operator

Всего оператору предлагалось выполнить 13 повторений теста – три первых повторения для привыкания к тесту и десять последующих повторений для контрольных измерений точности восприятия геометрических размеров и форм объектов оператором.

Тестирование проводилось в один и тот же день недели (понедельник) в одно и то же время, днём в период с 13:00 до 16:00. Учитывая достаточно большой объём тестирования (величины выборки), провести тестирование со всеми добровольцами в один день и примерно в одно и то же время не представлялось возможным. Проведение тестирования в один день со всеми добровольцами требовало значительно большего временного интервала (с раннего утра до позднего вечера), что было невозможно с точки зрения обеспечения надёжности результатов и исключения фактора утомляемости. При этом, логично предположить,

что операторы, выполняющие тест в вечерние часы, имели бы значительно более высокий уровень утомления по сравнению с теми, кто выполнял тестирование в утренние или дневные часы. Таким образом, тестирование выполнялось четыре недели подряд, в один день недели примерно в одно и то же время для всех операторов.

Перед проведением тестирования все операторы были ознакомлены с порядком проведения тестирования, с принципами функционирования технического обеспечения, джойстиков, а также шлема виртуальной реальности.

Для оценки статистически значимой разницы между группами был применён подход bootstrapping [23] с размером выборки в 20 человек. Был использован уровень значимости 5 % для определения того, что распределения в группах по некоторым показателям различны.

Для выявления возможных кластеров в результатах измерений были использованы методы кластерного анализа. Для выявления возможных кластеров были использованы методы понижения размерности t-SNE [24], а также метод машинного обучения без учителя k-means [25]. Для поиска оптимального количества кластеров k-means был использован «метод локтя» [26], в качестве метрики «расстояние» было использовано евклидово представление [27]. «Методом локтя» оценивалась сумма квадратов расстояний каждой точки данных до их центроиды (WCSS). Все расчёты по анализу данных были выполнены с использованием языка программирования python3 и библиотек numpy [28], pandas [29], scipy [30], scikit-learn [31]. Перед использованием алгоритмов данные были стандартизированы. Понижение размерности проходило до двух переменных.

Результаты исследования

В качестве метрик в результатах прохождения тестирования для обеих групп тестирования (группа с VR и группа

с восприятием с электронного дисплея) были использованы:

- 1) среднее отклонение по горизонтальной оси, выраженное в условных единицах расстояния;
- 2) среднее отклонение по вертикальной оси, выраженное в условных единицах расстояния;
- 3) суммарная ошибка позиционирования, выраженная в расстоянии L^1 ;
- 4) среднее время прохождения теста, выраженное в миллисекундах.

Согласно результатам (табл. 2) bootstrap р-значение везде превышает уровень значимости. Таким образом, различий в прохождении тестов для группы VR и группы с восприятием информации с электронного дисплея не отмечено.

В ходе анализа групп VR и с восприятием информации с электронных дисплеев установлено, что алгоритм k-means с «методом локтя» и t-SNE производят оптимальное разбиение группы с восприятием информации с электронных дисплеев на два кластера (рис. 3). Координаты центров кластеров представлены в табл. 3.

Таблица 2. **Bootstrap-анализ прохождения тестов для группы VR и группы с восприятием информации с электронного дисплея**
Table 2. Bootstrap-analysis of test performance for the VR group and the group perceiving information from an electronic display

Метрика	P-value (bootstrap)
Среднее отклонение по горизонтальной оси	0,64
Среднее отклонение по вертикальной оси	0,51
Суммарная ошибка позиционирования	0,53
Среднее время прохождения теста	0,49

Разбиение на два кластера для группы с восприятием информации с электронных дисплеев происходит по успешности прохождения теста (табл. 3). При этом сбор всех участников из группы III в одном кластере с худшим прохождением теста вероятнее всего является случайностью, а не закономерностью. Во-первых, проф. группа III малочисленная, во-вторых, расположение испытуемых в представлении t-SNE имеет граничный характер между кластерами, в-третьих проф. группа III не имеет тенденции к агломерации в группе с восприятием информации в виртуальной среде.

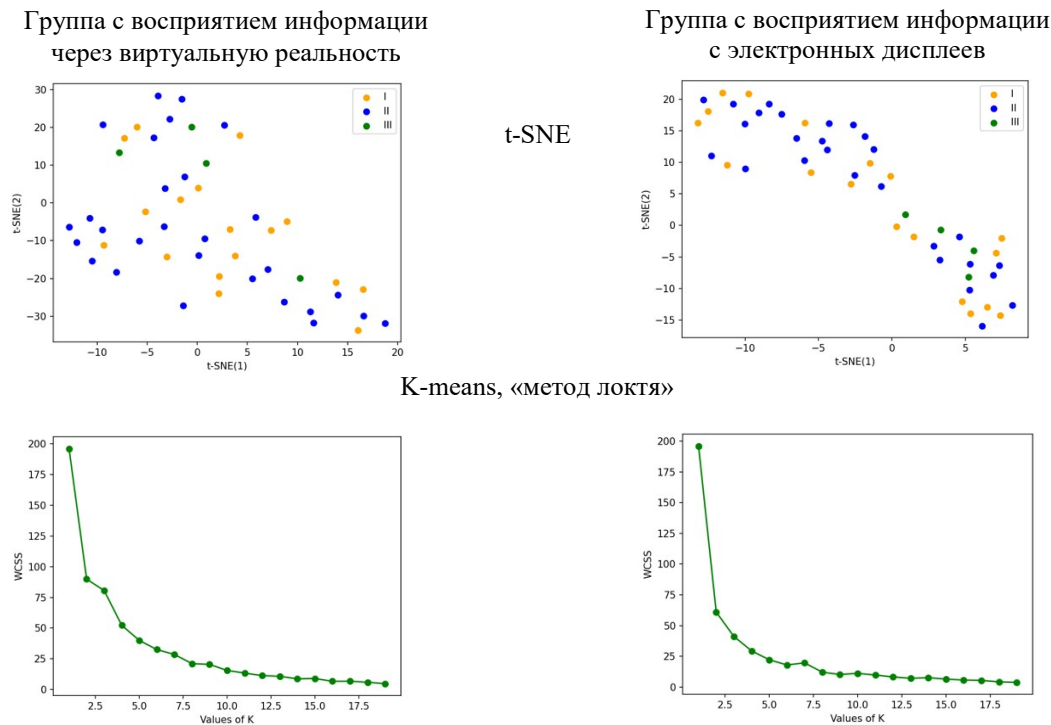


Рис. 3. Результаты кластеризации данных t-SNE и k-means
Fig. 3. Results of t-SNE and K-means data clustering

Таблица 3. Координаты центров кластеров после кластеризации t-SNE группы с восприятием информации с электронных дисплеев

Table 3. Coordinates of cluster centers after t-SNE clustering of the group that perceived information from electronic displays

Номер кластера	Координаты центра кластера			
	среднее отклонение по горизонтальной оси, усл. ед.	среднее отклонение по вертикальной оси, усл. ед.	среднее отклонение, усл. ед.	среднее время прохождения теста, мс
1	0,12	0,09	0,21	1 662,20
2	0,03	0,02	0,05	4 678,65

Обсуждение результатов

В данной работе сравнивалась точность восприятия размеров и форм геометрических объектов операторов в условиях восприятия информации в виртуальных средах и при восприятии информации с электронных дисплеев.

Основной гипотезой, выдвинутой авторами, была гипотеза о том, что точность восприятия размеров и форм геометрических объектов в виртуальных средах будет отличаться от точности восприятия параметров этих же геометрических объектов при восприятии их с электронных дисплеев. Теоретически это было бы объяснимо различными механизмами бинокулярного зрения в виртуальной среде и при восприятии фактически плоских, двумерных объектов на электронном дисплее.

Однако статистически значимых различий в результатах измерения как точности восприятия размеров и форм геометрических объектов, так и скорости этого процесса при различных способах отображения видеoinформации оператору обнаружить не удалось – P-value в обработке результатов Bootstrap как по различным метрикам ошибок позиционирования объектов и джойстиков, так и по времени выполнения задачи везде превышает уровень значимости 5 %. Это означает глубокую корреляцию результатов измерений как времени выполнения задачи, так и ошибок позиционирования, полученных в обеих группах.

Это может означать, что погружение в виртуальные среды не оказывает существенного как негативного, так и позитив-

ного эффекта на точность восприятия геометрических размеров и форм объектов оператором. Однако, следует заметить, что в данном тесте все объекты операторам как в группе с восприятием информации как в виртуальной среде, так и в группе с восприятием информации с электронного дисплея предъявлялись на одинаковом (близком) расстоянии в трёхмерной плоскости поля зрения оператора.

Вариаций по «отдалению» объектов от оператора тестирование не предусматривало, поскольку исследование проводилось в контексте, в первую очередь, операторов лесозаготовительной техники. Операторы лесозаготовительной техники в процессе захвата объектов находятся всегда на относительно близком и постоянном расстоянии до целей. Полагаясь на опыт предыдущих исследований по восприятию расстояний в виртуальных средах, где установлено, что более «далёкие» расстояния в виртуальных средах воспринимаются значительно хуже по сравнению с физическими средами, возможно, существует различие в восприятии геометрических размеров и форм объектов, расположенных на более дальних расстояниях в поле зрения оператора.

Также следует отметить, что в этом исследовании в качестве некоторой обобщающей метрики точности восприятия геометрических размеров и форм объектов оператору предлагалось найти центр тяжести объекта визуально. Такой подход обусловлен также спецификой деятельности оператора лесозаготовительной машины, поскольку задача определения центра

тяжести объектов в ходе выполнения технологической операции погрузки является типичной. Но этот процесс для не опытных операторов может быть затруднительным, поскольку является когнитивно сложным процессом, развитым в основном у опытных операторов и спортсменов.

Авторы допускают, что затруднения с определением центра тяжести объектов также могли повлиять на результаты тестирования. Этим объясняется и обнаруженная кластеризация на два явных кластера в группе с восприятием информации с электронных дисплеев. В результате кластеризации видно, что операторы, входящие в один кластер, выполняли задачу менее точно, но с большей скоростью, а операторы, входящие в другой кластер, наоборот, выполняли задачу с большей точностью, но им требовалось больше времени. Также некоторые операторы отмечали, что им трудно определять центры тяжести визуально и они никогда ранее не сталкивались с такой задачей.

Вероятнее всего, операторы, входящие в кластер с меньшей точностью и более быстро выполняющие тест, в качестве центра тяжести объектов использовали просто центр этих объектов, то есть пересечение диагоналей. Это проще с точки зрения когнитивной нагрузки, такая задача является более понятной оператору, но находить центр тяжести таким образом в реальных задачах погрузки сортиментов (брёвен) является некорректным.

При этом сбор всех участников из группы профессионального отбора III в одном кластере с худшим прохождением теста, вероятнее всего, является случайностью, а не закономерностью. Это объяснимо малочисленностью этой группы, но требует дополнительных исследований.

Новым и особенно интересным результатом является то, что погружение в виртуальную среду и изоляция оператора от окружающей среды (то есть фактически лишение его возможности визуально наблюдать физические джойстики) также

не оказывает ни негативного, ни позитивного влияния на точность позиционирования прицела с помощью джойстиков и на скорость этого позиционирования.

Выводы

В данной работе сравнивалась точность восприятия размеров и форм геометрических объектов операторов в условиях восприятия информации в виртуальных средах и при восприятии информации с электронных дисплеев.

Статистически значимых различий в результатах измерения как точности восприятия размеров и форм геометрических объектов, так и скорости этого процесса при различных способах отображения видеoinформации оператору обнаружить не удалось – P-value в обработке результатов Bootstrap как по различным метрикам ошибок позиционирования объектов и джойстиков, так и по времени выполнения задачи везде превышает уровень значимости 5 %.

Погружение в виртуальные среды не оказывает существенного как негативного, так и позитивного эффекта на точность восприятия геометрических размеров и форм объектов оператором. Это даёт основания полагать, что виртуальные среды вполне можно использовать для обучения операторов подвижных объектов и манипуляторов, а именно для отработки задач наведения рабочих органов на цели и объекты.

Учитывая прочие преимущества виртуальных сред, такие как эффект глубокого погружения и реалистичность симуляции технологических процессов, и результаты, полученные в этом исследовании, можно предполагать, что обучение операторов манипуляторов задачам наведения в виртуальных средах будет иметь преимущества по сравнению с обучением их в симуляторах на основе электронных дисплеев.

Также не обнаружено связи между опытом работы оператора в виртуальных средах или каких-либо иных факторов

и точностью восприятия им информации. Эти данные позволяют применять виртуальные обучающие среды в процессе

обучения операторов без предварительных мер по адаптации операторов к виртуальным средам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Петухов И. В. К вопросу обеспечения надёжности эргатических систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 1. С. 25–30. EDN: NCKUJP
Petukhov I. V. To the Question of Maintenance of Reliability Human-Machine System. *Mechatronics, Automation, Control*. 2011;(1):25–30. EDN: NCKUJP (In Russ.).
2. Nardo M., Forino D., Murino T. The evolution of man-machine interaction: the role of human in Industry 4.0 paradigm. *Production & manufacturing research*. 2020;8(1):20–34. DOI: 10.1080/21693277.2020.1737592
3. Petukhov I., Steshina L. Assessment of vocational aptitude of man-machine systems operators. In: *Proceedings 7th International Conference on Human System Interactions, HIS-2014* (Costa da Caparica, Portugal, June 16-18, 2014). IEEE Publ., 2014:44–48. DOI: 10.1109/HSI.2014.6860446
4. Read G. J. M., Shorrock S., Walker G. H. et al. State of science: evolving perspectives on ‘human error’. *Ergonomics*. 2021;64(9):1091–1114. DOI: 10.1080/00140139.2021.1953615
5. Palander T., Ovaskainen H., Tikkanen L. An adaptive work study method for identifying the human factors that influence the performance of a human-machine system. *Forest Science*. 2012;58(4):377–389. DOI: 10.5849/forsci.11-013
6. Иванов В. В. Факторы, влияющие на работу харвестера // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды XIV Международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 17–20 сентября 2019 года. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2019. С. 53–58. EDN: TWFVWX
Ivanov V. V. Factors, that Can Affect the Operation of the Harvester. In: *Woodworking: technologies, equipment, management of the 21st century: Proceedings of the XIV International Eurasian Symposium* (Ekaterinburg, September 17–20, 2019). Ekaterinburg, Ural State Forest Engineering University; 2019:53–58. EDN: TWFVWX (In Russ.).
7. Tervo K., Palmroth L., Koivo H. Skill evaluation of human operators in partly automated mobile working machines. *IEEE Transactions on automation science and engineering*. 2010;7(1):133–142. DOI: 10.1109/TASE.2009.2025364
8. Petukhov I., Steshina L., Glazyrin A. Application of virtual environments in training of ergatic system operators. *Journal of Applied Engineering Science*. 2018;16(3):398–403. DOI: 10.5937/JAES16-17382
9. Lapointe J. F., Robert J. M. Using VR for Efficient Training of Forestry Machine Operators. *Education and Information Technologies*. 2000;5(4): 237–250. DOI: 10.1023/A:1012045305968
10. Zheng Y., Cheng B., Huang Q. et al. Research on Virtual Driving System of a Forestry Logging Harvester. *Wireless Personal Communications*. 2018;102(2):667–682. DOI: 10.1007/s11277-017-5085-3
11. Pereira Jr J. Development of a Harvester Machine Simulator in Virtual Reality. Master of Science Thesis. Tampere University, Finland, 2019. 70 p. Available from: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-201906192113> [Accessed 10 October 2024]
12. Hartsch F., Schönauer M., Breinig L., et al. Influence of Loading Distance, Loading Angle and Log Orientation on Time Consumption of Forwarder Loading Cycles: A Pilot Case Study. *Forests*. 2022;13(3):384. DOI: 10.3390/f13030384
13. Steshina L., Petukhov I., Tanryerdiev I. et al. Training of high-skilled workers using exercisers and simulators. In: *3rd European Conference on Electrical Engineering and Computer Science, EECS* (Athens, Greece, Dec.28-30, 2019). IEEE Publ., 2019:134–139. DOI: 10.1109/EECS49779.2019.00036
14. Bachman P., Milecki A. Safety Improvement of Industrial Drives Manual Control by Application of Haptic Joystick. In: *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance (ISPEM 2018)*. Burduk A., Chlebus E., Nowakowski T., Tubis A. (eds). Springer International Publishing, 2019:563–573. DOI: 10.1007/978-3-319-97490-3_54
15. Hornsey R. L., Hibbard P. B., Scarfe P. Size and shape constancy in consumer virtual reality. *Behavior research methods*. 2020;52(1):1587–1598. DOI: 10.3758/s13428-019-01336-9
16. Creem-Regehr S. H., Stefanucci J. K., Bodenheimer B. Perceiving distance in virtual reality: theoretical insights from contemporary technologies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2023;378(1869):20210456. DOI: 10.1098/rstb.2021.0456
17. Ping J, Weng D, Liu Y et al. Depth perception in shuffleboard: Depth cues effect on depth perception in virtual and augmented reality system. *Journal of the Society for Information Display*. 2020;28(2): 164–176. DOI: 10.1002/jsid.840
18. Lebreton P., Raake A., Barkowsky M. et al. Measuring perceived depth in natural images and study of its relation with monocular and binocular depth cues. In: *Stereoscopic Displays and Applications XXV*. SPIE Electronic Imaging 2014 (February 2–6, 2014, San Francisco, California, United States).

- Woods A. J., Holliman N. S., Favalora G. E. (eds). SPIE, 2014;9011:82–92. DOI: 10.1117/12.2040055
19. Watt S. J., Akeley K., Ernst M. O. et al. Focus cues affect perceived depth. *Journal of vision*. 2005;5(10):834–862. DOI: 10.1167/5.10.7
20. Kim J. J., McManus M. E., Harris L. R. Body orientation affects the perceived size of objects. *Perception*. 2022;51(1):25–36. DOI: 10.1177/03010066211065673
21. Harris L. R., Mander C. Perceived distance depends on the orientation of both the body and the visual environment. *Journal of vision*. 2014;14(12):17. DOI: 10.1167/14.12.17
22. Holden J., Francisco E., Lensch R. et al. Accuracy of different modalities of reaction time testing: Implications for online cognitive assessment tools. *BioRxiv*. 2019:726364. DOI: 10.1101/726364
23. Efron B. Second thoughts on the bootstrap. *Statistical science*. 2003;18(2):135–140. DOI: 10.1214/ss/1063994968
24. Van der Maaten L., Hinton G. Visualizing data using t-SNE. *Journal of machine learning research*. 2008;9:2579–2605.
25. MacQueen J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: *Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (June 21–July 18, 1965 and December 27, 1965–January 7, 1966, University of California, Berkeley). Le Cam L. M., Neyman J. (eds). University of California Press, 1967;5.1:281–297.
26. Thorndike R. L. Who belongs in the family? *Psychometrika*. 1953;18(4):267–276. DOI: 10.1007/BF02289263
27. Deza M. M., Deza E. Encyclopedia of distances. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg; 2009. 590 p. DOI: 10.1007/978-3-642-00234-2
28. Harris C. R., Millman K. J., van der Walt S. J. et al. Array programming with NumPy. *Nature*. 2020;585:357–362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2
29. McKinney W. Data structures for statistical computing in Python. In: *The 9th annual Scientific Computing with Python conference, SciPy 2010* (June 28–July 3, 2010, Austin, Texas). SciPy, 2010;56–61. DOI: 10.25080/Majora-92bf1922-00a
30. Virtanen P., Gommers R., Oliphant T. E. et al. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature methods*. 2020;17(3):261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2
31. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of machine learning research*. 2011;12:2825–2830.

Статья поступила в редакцию 22.10.2024; одобрена после рецензирования 15.11.2024;
принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторах

СТЕШИИН Илья Сергеевич – аспирант, младший научный сотрудник, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – интеллектуальный анализ данных, нейронные сети. Автор шести научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4241-3798>; SPIN-код: 2965-9368

ПЕТУХОВ Игорь Валерьевич – доктор технических наук, профессор кафедры проектирования и производства ЭВС, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – интеллектуальный анализ, человеко-машинные системы, автоматическое управление. Автор 224 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2365-4857>; SPIN-код: 6009-1846

СТЕШИНА Людмила Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и производства ЭВС, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – интеллектуальный анализ, человеко-машинные системы, автоматическое управление. Автор 136 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1526-991X>; SPIN-код: 3493-0013

ТАНРЫВЕРДИЕВ Илья Оруджевич – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и производства ЭВС, Поволжский государственный технологический университет. Область научных интересов – автоматизация процессов лесозаготовки, автоматическое управление. Автор 64 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2437-6339>; SPIN-код: 4111-0072

Вклад авторов:

Стешин И. С. – выбор методов анализа, проведение кластерного анализа, обработка результатов измерений, визуализация данных, подготовка статьи.

Петухов И. В. – концепция, постановка цели и задач, подготовка и редактирование статьи.

Стешина Л. А. – разработка гипотезы, методики эксперимента.

Танрывердиев И. О. – проведение эксперимента.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article

UDC 630.935.1

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.61>

EDN: WSORUK

Evaluating the Accuracy of Solving the Simplest Sensory-Cognitive Tasks by the Operator of Ergatic Systems

I. S. Steshin, I. V. Petukhov[✉], L. A. Steshina, I. O. Tanryverdiev

Volga State University of Technology,

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

PetuhovIV@volgatech.net[✉]

Abstract. *Introduction.* The use of training complexes and simulators is now considered to be an effective means of preparing operators of complex technological systems. At the same time, there is a considerable divergence in the composition of the technical equipment applied in the training complexes, which raises the question of dependence between training results and technologies used. *The study is aimed* at evaluating the accuracy of solving the simplest sensory-cognitive tasks significant for effective professional activity in conditions of information perception in virtual environments and from electronic displays. The hypothesis was tested about the dependence of the results of solving sensory-cognitive tasks on the modality of information presentation. *The object of the study* is elementary sensory-cognitive tasks based on the assessment of the center of mass of geometric objects. These tasks were chosen as typical ones faced by operators involved in the loading and unloading process. Such a task encompasses a sensory component in terms of geometric shape assessment and a cognitive one. *The methods* for solving the problem are those of cluster analysis including the t-SNE dimensionality reduction technique and the K-means unsupervised machine learning algorithm that allow the identification of patterns in the experiment results. *Results.* The analysis revealed no statistically significant differences in the results of measuring either the accuracy of the perception of geometric object sizes and shapes or the speed of this process when using different modalities of presenting video information to the operator. This indicates that the way the information is presented does not affect the results. *Conclusion.* It has been established that immersion in virtual environments does not have a significant negative or positive effect on the accuracy of the operator's perception of the sizes and shapes of geometric objects. Given the other advantages of virtual environments, it can be assumed that training manipulator operators in guidance tasks in virtual environments will have minor advantages compared to their training them in simulators based on electronic displays, primarily perhaps due to the element of novelty.

Keywords: human-machine interaction; professional training; computer training devices; virtual environment; simulator

Funding: the study was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-19-00568 “Methods and intelligent system for supporting dynamic stability of operators of ergatic systems”, <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>.

For citation: Steshin I. S., Petukhov I. V., Steshina L. A. et al. Evaluating the Accuracy of Solving the Simplest Sensory-Cognitive Tasks by the Operator of Ergatic Systems. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):61–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.61>; EDN: WSORUK

The article was submitted 22.10.2024; approved after reviewing 15.11.2024;
accepted for publication 25.11.2024

Information about the authors

Ilya S. Steshin – postgraduate student, Junior Researcher, Volga State University of Technology. Research interests – data mining, neural networks. Author of six scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4241-3798>; SPIN: 2965-9368

Igor V. Petukhov – Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Chair of Design and Production of Computing Systems, Volga State University of Technology. Research interests – data mining, human-machine systems, automatic control. Author of 224 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2365-4857>; SPIN: 6009-1846

Ludmila A. Steshina – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Design and Production of Computing Systems, Volga State University of Technology. Research interests – data mining, human-machine systems, automatic control. Author of 136 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1526-991X>; SPIN: 3493-0013

Ilya O. Tanryverdiev – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Chair of Design and Production of Computing Systems, Volga State University of Technology. Research interests – automation of logging processes, automatic control. Author of 64 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2437-6339>; SPIN: 4111-0072

Contribution of the authors:

Steshin I. S. – selection of analysis methods, cluster analysis, processing of measurement results, data visualization, article preparation.

Petukhov I. V. – concept, setting goals and objectives, article preparation and editing.

Steshina L. A. – development of hypothesis, experimental methods.

Tanryverdiev I. O. – conducting the experiment.

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/10.25686/2306-2827.2024.4.74>

EDN: LUOTXU

**Прогнозирование радиационной обстановки и внешнего облучения
работников лесного хозяйства при плотности загрязнения почвы
 ^{137}Cs 37–185 кБк/м²**

А. Н. Переволоцкий [✉], Т. В. Переволоцкая

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. По истечении 35 лет после аварии на ЧАЭС ~662 тыс. га лесных насаждений произрастают в Российской Федерации в зонах радиоактивного загрязнения, что требует обеспечения радиационной безопасности при ведении лесного хозяйства. **Цель** исследования – спрогнозировать радиационную обстановку и дозы внешнего облучения работающих в лесных насаждениях с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м². **Объекты и методы.** Объект исследования – условное участковое лесничество площадью 10 000 га в 100 лесных кварталах. Смоделирована плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне от 50 до 180 кБк/м². С 2024 по 2084 гг. выполнены прогнозные расчёты плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , распределение кварталов леса по зонам и подзонам радиоактивного загрязнения, мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения и дозы облучения работающих. **Результаты.** Установлено, что на территории участкового лесничества к 2054 году при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 74 кБк/м² будет находиться 7 700 га. К 2084 ~80 % территории перейдёт к условно незагрязнённой с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 18 до 37 кБк/м². **Выводы.** В лесных насаждениях участкового лесничества прогнозируется снижение межквартального интервала мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения с 95–125 нЗв/ч в 2024 году до 50–60 нЗв/ч в 2054 году и 25–35 нЗв/час в 2084 году. Диапазон дозы внешнего облучения работающих уменьшится с 0,12–0,15 мЗв/г в 2024 году до 0,03–0,04 мЗв/г в 2084 году, что более чем в шесть раз ниже по сравнению с регламентируемой НРБ-99/2010. Рекомендован радиометрический контроль продукции побочного пользования при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне 18–37 кБк/м².

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение; плотность загрязнения; квартал; ^{137}Cs ; зоны радиоактивного загрязнения; гамма-излучение; внешнее облучение; мощность эквивалента амбиентной дозы; работники лесного хозяйства

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

© Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В., 2024

Для цитирования: Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В. Прогнозирование радиационной обстановки и внешнего облучения работников лесного хозяйства при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м² // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4(64). С. 74–82. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.74>; EDN: LUOTXU

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС повлекла за собой широкомасштабное радиоактивное загрязнение лесов на территории бывшего СССР площадью почти 4 млн. га, из которых ~1,2 млн. га находилось на территории Российской Федерации [1]. Несмотря на почти двухкратное уменьшение площади загрязнённых лесов к 2020 году [1], проблема обеспечения радиационной безопасности при осуществлении лесохозяйственной деятельности не теряет своей актуальности. Это связано с повышенными дозами внешнего облучения работающих в лесу, что обусловлено преобладанием ^{137}Cs в поверхностных слоях почвы [2–5]. Поэтому оценка существующих и прогнозных доз внешнего облучения работающих является важной задачей как для обеспечения радиационной безопасности при лесопользовании, так и для снижения социальной напряжённости в обществе, вызванной постоянным проживанием и работой в условиях радиоактивного загрязнения [6]. Существующий уровень внешнего облучения может быть определён на основе индивидуальных термоминесцентных дозиметров, в то время как прогнозирование доз требует применения расчётных методов [4]. Особенно это важно для существующей радиационно-экологической ситуации в зоне с льготным социально-экономическим статусом при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м², поскольку выделение «чернобыльской» фракции внешнего облучения перекрывается флуктуацией естественного радиационного фона и в этом случае расчётные методы позволяют получить более точную оценку внешней дозы [5, 7, 8].

Таким образом, **цель** исследования – прогнозная оценка радиационной обста-

новки и дозы внешнего облучения работников лесного хозяйства при осуществлении производственной деятельности в лесных насаждениях, произрастающих при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 185 кБк/м².

Объекты и методы

Объектом исследования послужила территория условного участкового лесничества, расположенного в зоне с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs от 37 до 185 кБк/м², общей площадью 10 000 га, в котором выделены 100 лесных кварталов. Выбор объекта исследований в указанной зоне радиоактивного загрязнения определён тем, что к ней в настоящее время относится 82 % лесных насаждений на территории Российской Федерации [1]. Соответственно, диапазон плотности загрязнения лесных почв ^{137}Cs от 37 до 185 кБк/м² является наиболее представительным и выполнение прогнозных оценок радиационной обстановки и дозы внешнего облучения в моделируемых условиях позволяет с достаточной точностью спрогнозировать внешнее облучение в реальных участковых лесничествах.

Предмет исследования – динамика радиационной обстановки и дозы внешнего облучения работников лесного хозяйства (мастера леса, лесники, рабочие).

При проведении прогнозных расчётов дозы внешнего облучения приняты допущения.

Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs 100 лесных кварталов объекта исследования смоделирована в диапазоне от 50 до 180 кБк/м² на 2024 год с применением генератора случайных величин согласно логнормальному закону распределения.

Расчёт динамики плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в каждом квартале выполняли с шагом в 10 лет на протяжении

60 лет. На каждом шаге определяли площадь лесных насаждений лесничества в следующих зонах: условно не загрязнённой (с плотностью загрязнения почвы $^{137}\text{Cs} < 18$ и $18\text{--}37$ кБк/м²) и в зоне с льготным социально-экономическим статусом ($37\text{--}185$ кБк/м²), деля её на две подзоны ($37\text{--}74$ и $74\text{--}185$ кБк/м²). Выделение последних обусловлено различиями в ограничениях на заготовку продукции побочного пользования [9].

Предполагали выполнение работ в лесных кварталах на протяжении шести часов без учёта времени на переезд к месту их выполнения и обратно, обед и подготовительно-заключительные работы на протяжении 200 рабочих дней в год. Сверхплановые работы, связанные с тушением лесных пожаров и иными экстремальными ситуациями, не учитывали.

На протяжении одного рабочего дня принимали выполнение работ только в одном лесном квартале, при этом возможно их выполнение в одном и том же квартале на протяжении нескольких рабочих дней.

Выбор квартала, в котором предполагали выполнение работ в конкретный рабочий день, осуществляли с помощью генератора случайных величин, реализующего равномерное распределение от 1 до 100.

Все работники получали одинаковую дозу внешнего облучения при ведении работ в одном квартале на протяжении рабочего дня.

Предполагали, что в течение всех рабочих дней атмосферных осадков не происходило, не учитывали экранирование излучения техникой и снеговым покровом.

Мощность эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения на высоте 1 м над поверхностью почвы в каждом квартале рассчитывали в виде произведения дозового коэффициента $1,28 \cdot 10^{-6}$ (мЗв/ч)/(кБк/м²) [4, 10] на плотность загрязнения почвы ^{137}Cs для года прогнозирования.

Дозу внешнего облучения при работе в лесных кварталах D^T рассчитывали по формуле:

$$D^T = \sum_{i=1}^{200} (6 \cdot A_i^T \cdot DCF), \quad (1)$$

где 6 – продолжительность работы на протяжении рабочего дня, час; A_i^T – плотность загрязнения почвы ^{137}Cs в i -м квартале для года T , кБк/м²; DCF – коэффициент дозовой конверсии, (мЗв/ч)/(кБк/м²) [4].

Дозой внешнего облучения работников, формируемой при проживании и пребывании в различных локациях населённого пункта, пренебрегали.

Для каждого года прогнозирования рассчитывали медиану, 5, 25, 75, 95 % перцентили распределения плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , мощности эквивалента амбиентной дозы и дозы внешнего облучения работающих.

Результаты и их обсуждение

В 2024 году медиана плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в лесных насаждениях составит 86 кБк/м², а межквартильный интервал – от 75 до 100 кБк/м² (рис. 1). Всего лишь в 5 % лесных кварталов плотность загрязнения не превысит 63 кБк/м². Соответственно, почти 2 000 га лесных насаждений будут относиться к подзоне с плотностью загрязнения ^{137}Cs 37–74 кБк/м² и оставшаяся часть – 74–185 кБк/м² (табл. 1).

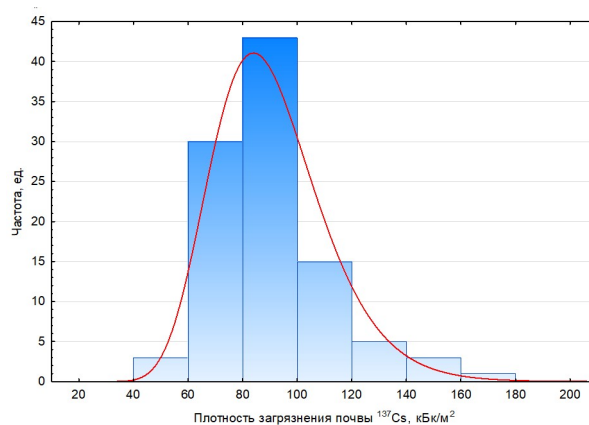


Рис. 1. Плотность загрязнения почвы ^{137}Cs лесных кварталов условного участкового лесничества
Fig. 1. Density of ^{137}Cs contamination of soil in the forest compartments of the conditional district forestry

Таблица 1. Прогнозное распределение плотности загрязнения ^{137}Cs почвы в условном лесничестве
 Table 1. Predicted distribution of the density of soil contamination with ^{137}Cs in the conditional district forestry

Зона радиоактивного загрязнения, диапазон плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , кБк/м ²	Годы						
	2024	2034	2044	2054	2064	2074	2084
Условно «чистая» территория							
<18	0	0	0	0	0	200	1 600
18–37	0	0	200	1 900	6 200	8 600	8 000
Зона с льготным социально-экономическим статусом							
37–74	2 000	6 300	8 600	7 700	3 800	1 200	400
74–185	8 000	3 700	1 200	400	0	0	0
Всего	10 000						

С течением времени будет происходить снижение плотности загрязнения почвы ^{137}Cs с соответствующим перераспределением территории лесничества по подзонам радиоактивного загрязнения. Так, спустя 10 лет основная площадь лесных кварталов (6 300 га) перейдёт в подзону с плотностью загрязнения 37–74 кБк/м², а в 2044 году площадь лесных насаждений в этой подзоне достигнет максимума – 8 600 га. Соответственно, будет уменьшаться площадь лесов при плотности загрязнения почвы 74–185 кБк/м² и к 2034 году она составит 3 700 га, а к 2044 году – 1 200 га, после 2054 года в этой подзоне лесных кварталов уже не останется. Следует отметить, что согласно существующим рекомендациям по ведению лесного хозяйства на радиоактивно загрязнённых территориях, переход лесных насаждений в подзону 37–74 кБк/м² позволит существенно расширить побочное пользование лесом, главным образом, связанное с заготовкой слабо- и средненакапливающих ^{137}Cs грибов, лесных ягод и сена [2, 9].

Наиболее интенсивное перераспределение между загрязнённой и условно «чистой» территорией произойдёт после 2054 года. Так, с 2054 по 2064 год произойдёт двухкратное уменьшение площади лесов при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–74 кБк/м² (с 7 700 до 3 800 га), а в условно «чистой» зоне ожидается увеличение площади лесов почти в три раза (с 1 900 до 6 200 га). В последующие годы сохранится тенденция уменьшения площади лесных насаждений в загрязнённой зоне и увеличения – в категории условно

«чистых» земель, причём в отдалённой перспективе площадь лесных кварталов будет возрастать при плотности загрязнения почвы <18 кБк/м².

Отметим, что в настоящей работе не учитывался коэффициент вариации плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , составляющий на дальнем следе радиоактивных выпадений ЧАЭС ~30 % [2]. Соответственно, при активности ~30 кБк/м² значительная часть квартала (до 1/3) может фактически относиться к зоне с льготным социально-экономическим статусом, а при плотности загрязнения 150 кБк/м² – даже к зоне с правом на отселение. Ещё один аспект связан с большим коэффициентом перехода ^{137}Cs для лесных грибов из группы сильнонакапливающих и аккумуляторов [12]. Соответственно, сочетание этих двух факторов при заготовке вышеуказанных групп грибов на локальных участках с повышенным содержанием ^{137}Cs относительно средних по кварталу может привести к значительному превышению допустимого норматива содержания радионуклида в грибах даже на условно «чистой» территории. Поэтому рекомендуется проведение радиометрического контроля продукции побочного пользования как в подзоне радиоактивного загрязнения с плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs в диапазоне 37–74 кБк/м², так и при меньшей активности радионуклида в почве.

Медиана расчётной мощности эквивалента амбиентной дозы в лесных кварталах составит 111 нЗв/ч при межквартильном интервале от 95 до 125 нЗв/ч, при этом с 95 % вероятностью исследуемый показа-

тель на территории лесничества не превысит 160 нЗв/ч (рис. 2). Диапазон значений мощности дозы можно сравнить с таковым, формируемым от естественных источников ионизирующего излучения на территории Российской Федерации – 44–134 нГр/ч с медианой 90 нГр/ч [11]. Таким образом, вклад гамма-излучения ^{137}Cs в суммарную мощность дозы может превышать 60 % и уверенно фиксироваться дозиметром с сцинтилляционным детектором излучения.

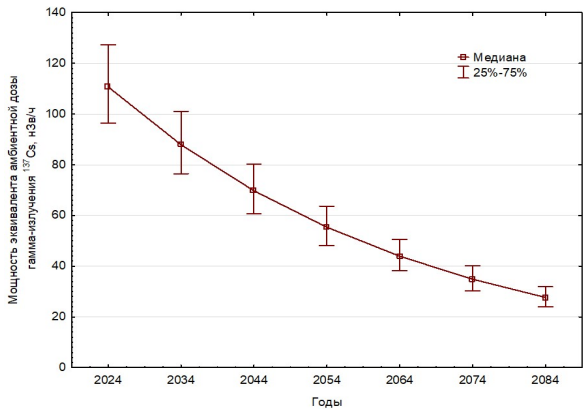


Рис. 2. Динамика мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения в лесных кварталах
Fig.2. Dynamics of the ambient dose equivalent rate of external gamma radiation in the forest compartments

В дальнейшем в лесных насаждениях будет происходить снижение уровня внешнего гамма-излучения. Межквартильный интервал мощности эквивалента амбиентной дозы в 2034 году составит 76–110 нЗв/час, в 2044 – 60–80, а к 2084 году снизится до минимума – менее 30 нЗв/час. При этом основным процессом, определяющим снижение мощности дозы, является радиоактивный распад ^{137}Cs , поскольку миграция радионуклида в глубин-

ные слои в наиболее распространенных свежих и влажных гирготопах выражена очень слабо. В пользу этого факта свидетельствует сопоставимый с периодом полураспада ^{137}Cs экологический период полураспада этих почв – 27–29 лет [2]. Неравномерность мощности эквивалента амбиентной дозы в лесных насаждениях не столь выражена, что объясняется сильным распространением гамма-лучей и перекрытием полей ионизирующего излучения от локальных участков леса с различной плотностью загрязнения почвы ^{137}Cs . Показано [12], что при коэффициенте вариации плотности загрязнения почвы ^{137}Cs ~30 % этот статистический показатель для мощности эквивалента амбиентной дозы не превысит 20 %. Соответственно, можно говорить о более выравненном характере внешнего облучения в лесных насаждениях.

При работе в лесных насаждениях будет происходить уменьшение эффективной дозы облучения работающих с 0,12–0,15 мЗв/год в 2024 году до 0,03–0,04 мЗв/год в 2084 году (табл. 2). Полученные авторами значения дозы внешнего облучения согласуются с результатами исследований Т. А. Марченко с соавторами [13]. Последними экспериментально установлено, что в настоящее время при плотности загрязнения почвы 450 кБк/м² у работающих в течение 1 500 часов/год в лесных насаждениях может быть сформирована доза внешнего облучения 1 мЗв/год. Полученные значения не отличаются более чем на 20 % при приведении величины дозы внешнего облучения к одинаковой плотности загрязнения почвы ^{137}Cs .

Таблица 2. Динамика дозы внешнего облучения работающих в лесных насаждениях в условном участковом лесничестве, мЗв/год
Table 2. Dynamics of the external radiation dose to workers in the forest plantations of the conditional district forestry, mSv per year

Эффективная доза внешнего облучения работающих, мЗв/год	Годы						
	2024	2034	2044	2054	2064	2074	2084
25 % перцентиль	0,120	0,097	0,076	0,060	0,048	0,038	0,030
Медиана	0,135	0,110	0,086	0,068	0,054	0,043	0,034
75 % перцентиль	0,153	0,124	0,098	0,077	0,061	0,048	0,039

Таким образом, при работе в течение 1 200 часов/год в лесных насаждениях, произрастающих в зоне с льготным социально-экономическим статусом, в настоящее время может быть получена доза облучения примерно в шесть раз ниже по сравнению с регламентируемой для населения согласно НРБ-99/2010. В дальнейшем величина эффективной дозы будет только уменьшаться. Определение дозы облучения при проживании в сельском населённом пункте выходит за рамки настоящей статьи. Однако при предварительной оценке надо учитывать, что даже при равной плотности загрязнения почвы лесных насаждений и в населённых пунктах доза облучения вне леса будет ниже. Это объясняется экранированием ионизирующего излучения зданиями и элементами покрытия на дорогах, тротуарах и обочинах, а также равномерным распределением ^{137}Cs на приусадебных участках.

Выводы

1. В 2044 году медиана плотности загрязнения почвы ^{137}Cs в лесных насаждениях составит 86 кБк/м², а межквартильный интервал – от 75 до 100 кБк/м². 2 000 га лесных насаждений будут относиться к подзоне с плотностью загрязнения ^{137}Cs 37–74 кБк/м². К 2054 году в этой подзоне будет сосредоточена наибольшая площадь лесов – 7 700 га, а к 2084 преоб-

ладающая часть лесных насаждений перейдет на условно «чистую» территорию <37 кБк/м².

2. Прогнозируется снижение межквартильного интервала мощности эквивалента амбиентной дозы внешнего гамма-излучения в лесных насаждениях с 95–125 нЗв/ч в 2024 году до 50–60 нЗв/ч в 2054 году и 25–35 нЗв/час в 2084 году. Соответственно, вклад излучения ^{137}Cs из состава аварийных выпадений ЧАЭС в суммарную мощность дозы внешнего гамма-излучения снизится с ~60 до ~20 %.

3. Диапазон дозы внешнего облучения работающих в лесных насаждениях уменьшится с 0,12–0,15 мЗв/г в 2024 году до 0,03–0,04 мЗв/г в 2084 году. Полученные дозовые показатели более чем в шесть раз ниже по сравнению с регламентируемой НРБ-99/2010.

4. В связи с неравномерным характером радиоактивного загрязнения лесных насаждений и большими коэффициентами перехода ^{137}Cs для некоторых видов лесных грибов вероятно превышение допустимого уровня содержания в них радионуклида даже при плотности загрязнения почвы <37 кБк/м². По этой причине рекомендуется проведение радиометрического контроля продукции побочного пользования при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs менее 37 кБк/м².

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Российский национальный доклад: 35 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986-2021 / под общ. ред. Л. А. Большова. М.: ИБРАЭ РАН, 2021. 104 с. EDN: UBYFRY

2. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий: монография / В. С. Анисимов, С. А. Гераскин, И. В. Гешель и др.; под ред. Н. И. Санжаровой и С. В. Фесенко. М.: РАН, 2018. 278 с. EDN: XUBZYT

3. 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.

4. Оценка годовой эффективной дозы внешнего облучения в лесах юго-западных районов Брянской области России: 2015-2021 гг. / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский, А. А. Братилова и др. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 3. С. 58–71. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71; EDN: LCLAQM

5. Радиационная обстановка в молодом сосновом лесу, выросшем после Чернобыльской аварии / В. П. Рамзаев, А. Н. Барковский, К. В. Варфоломеева и др. // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 1. С. 40–51. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-40-51; EDN: KLCPYQ

6. Марченко Т. А., Тазетдинова М. Н. Социально-психологические проблемы граждан, подвергшихся радиационному воздействию вследствие аварии на ЧАЭС // Радиация и риск. 2016.

Т. 25, № 4. С. 100–110. DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-4-100-110; EDN: XEGTTX

7. Григорьев А. И., Панкратов Л. В. Проблемы вычитания фона при индивидуальном дозиметрическом контроле и радиационном контроле на открытой местности // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4. № 4. С. 42–48. EDN: PGNLDN

8. Обеснюк В. Ф. Дозиметрический парадокс вычитания фона и способ его преодоления // АНРИ. 2020. № 1 (100). С. 25–36. DOI: 10.37414/2075-1338-2020-100-1-25-36; EDN: LSQZIH

9. Марадудин И. И., Панфилов А. В., Шубин В. А. Основы прикладной радиоэкологии леса. М.: ВНИИЛМ, 2001. 221 с.

10. Petoussi-Henss N., Satoh D., Endo A. et al. ICRP Publication 144: Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources // Annals of the

ICRP. 2020. Vol. 49, iss. 2. Pp. 11–145. DOI: 10.1177/0146645320906277

11. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. 1. Sources. Annex B. Exposure from natural sources. New York: United Nations, 2000. 654 p.

12. Переволоцкий А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. 255 с.

13. Марченко Т. А., Радин А. И., Раздаиводин А. Н. Оценка мощности амбиентного эквивалента дозы на лесных участках в юго-западных районах Брянской области // Радиация и риск. 2023. Т. 32, № 4. С. 67–78. DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-4-67-78; EDN: AYLHKA

Статья поступила в редакцию 29.07.2024; одобрена после рецензирования 28.08.2024; принята к публикации 25.11.2024

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

Доступность данных и материалов: применены математические методы для подготовки исходных данных, имитирующие радиоактивное загрязнение, данные являются общедоступными.

Вклад авторов:

Переволоцкий А. Н. – разработка концепции статьи и методики выполнения работ, выполнение прогнозных расчётов плотности загрязнения почвы и распределения территории по зонам загрязнения, анализ результатов, написание статьи.

Переволоцкая Т. В. – разработка алгоритма выполнения расчётов, проведение прогнозных расчётов дозы внешнего облучения работников, статистическая обработка данных, написание статьи.

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/10.25686/2306-2827.2024.4.74>

EDN: LUOTXU

Forecasting the Radiation Situation and External Exposure of Forestry Workers at a Soil Pollution Density of ^{137}Cs 37-185 kBq/m²

A. N. Perevolotsky , T. V. Perevolotskaya

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.* Thirty-five years after the Chernobyl accident, approximately 662 thousand hectares of forest plantations in the Russian Federation are growing in the areas affected by radioactive contamination, which requires ensuring radiation safety in forestry operations. *The purpose of the study* is to predict the radiation situation and external radiation doses to workers in forest plantations where the ^{137}Cs contamination density of soil varies within the range of 37–185 kBq/m². *Objects and methods.* The object of the study is a conditional district forestry that has an area of 10,000 hectares and includes 100 forest compartments. The density of soil pollution with ^{137}Cs was modeled in the range from 50 to 180 kBq/m². For the 2024 to 2084 period, forecast calculations of the density of soil pollution with ^{137}Cs were made along with the distribution of forest compartments according to the zones and subzones of radioactive contamination, the ambient dose equivalent rate of external gamma radiation, and the radiation dose to workers. *Results.* It has been established that by 2054, 7,700 hectares will be located on the territory of the district forestry with the ^{137}Cs contamination density of soil varying from 37 to 74 kBq/m². By 2084, around 80 per cent of the territory will have been categorized as conditionally uncontaminated, the density of soil contamination with ^{137}Cs ranging from 18 to 37 kBq/m². *Conclusion.* In the district forestry plantations, the inter-compartment interval of the ambient dose equivalent rate of external gamma radiation is predicted to decrease from 95–125 nSv/h in 2024 to 50–60 nSv per hour in 2054, and to 25–35 nSv per hour in 2084. The range of the external radiation dose to workers will decrease from 0.12–0.15 mSv per year in 2024 to 0.03–0.04 mSv per year in 2084, which is more than six times lower than the national Radiation Safety Standards NRB-99/2010. Radiometric control of by-use products is recommended at the ^{137}Cs contamination density of soil varying within the range of 18–37 kBq/m².

Keywords: radioactive contamination, pollution density, compartment, ^{137}Cs , radioactive contamination zones, gamma radiation, external irradiation, ambient dose equivalent rate, forestry workers

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. Forecasting the Radiation Situation and External Exposure of Forestry Workers at a Soil Pollution Density of ^{137}Cs 37-185 kBq/m². *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):74–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.74>; EDN: LUOTXU

REFERENCES

1. The Russian National Report. 35 years of the Chernobyl accident. Results and prospects of overcoming its consequences in Russia 1986–2021. Bolshov L. A. (Ed.). Moscow, IBRAE RAS; 2021. 104 p. EDN: UBYFPY (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. 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.).
4. Ramzaev V. P., Barkovsky A. N., Bratilova A. A. et al. Assessment of annual effective dose

from external exposure in forests of the south-western districts of the Bryansk region of Russia: 2015–2021. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022; 15(3):58–71. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-3-58-71; EDN: LCLAQM (In Russ.).

5. Ramzaev V. P., Barkovsky A. N., Varfolomeeva K. V. et al. Radiological situation in the young pine forest that grew after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023; 16(1):40–51. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-40-51; EDN: KLCYQ (In Russ.).

6. Marchenko T. A., Tazetdinova M. N. Social and psychological impacts of the accident at the Chernobyl NPP on exposed populations. *Radiation and Risk*. 2016;25(4):100–110. DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-4-100-110; EDN: XEGTTX (In Russ.).

7. Grigorev A. I., Pankratov L. V. Problems of subtraction of the background in the process of the individual radiation control and radiating control on open air. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(4):42–48. EDN: PGNLND (In Russ.).

8. Obesnyuk V. F. Dosimetric paradox of background subtracting and method of its resolution.

ANRI. 2020;1(100):25–36. DOI: 10.37414/2075-1338-2020-100-1-25-36; EDN: LSQZIH (In Russ.).

9. Maradudin I. I., Panfilov A. V., Shubin V. A. Fundamentals of applied radioecology of the forest. Moscow, VNIILM Publ.; 2001. 221 p. (In Russ.).

10. Petoussi-Henss N., Satoh D., Endo A. et al. ICRP Publication 144: Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources. *Annals of the ICRP*. 2020. 49(2):11–145. DOI: 10.1177/0146645320906277

11. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. 1. Sources. Annex B. Exposure from natural sources. New York, United Nations Publ.; 2000. 654 p.

12. Perevolotskiy A. N. Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest biogeocenoses. Gomel, RNIUP ‘Institut Radiologii’ Publ.; 2006. 255 p. (In Russ.).

13. Marchenko T. A., Radin A. I., Razdaivodina A. N. Estimation of ambient dose equivalent rate in forest sites in the south-west of the Bryansk region. *Radiation and Risk*. 2023;32(4):67–78. DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-4-67-78; EDN: AYLHKA (In Russ.).

The article was submitted 29.07.2024; approved after reviewing 28.08.2024; accepted for publication 25.11.2024

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

Availability of data and materials. For the preparation of initial data, mathematical methods were used to simulate radioactive contamination; the data are publicly available.

Contribution of the authors:

Perevolotsky A. N. – development of the concept of the article and the methodology of research work, performing predictive calculations of the soil contamination density and territory distribution by contaminated zones, analyzing the results, writing an article.

Perevolotskaya T. V. – development of an algorithm for performing calculations, carrying out predictive calculations of the dose of external radiation to workers, statistical data processing, writing an article.

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

All authors read and approved the final manuscript

Научная статья

УДК 504.3.054, 167

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.83>

EDN: OJSVSQ

Научно-методологические аспекты картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха

А. В. Семакина

Удмуртский государственный университет,
Российская Федерация, 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1
alsen13@list.ru

Аннотация. *Введение.* Многообразие источников информации о состоянии атмосферного воздуха, её видов, подходов к сбору и картографическому представлению, а также наличие высокого спроса на подобного рода информацию приводят к накоплению разнообразных по степени репрезентативности картографических материалов, отражающих состояние атмосферного воздуха. Релевантность используемой информации и подхода к её картографической визуализации напрямую влияет на качество предоставляемой информации и на эффективность административно-управленческих решений, принимаемых на базе данного рода информации. *Цель* – формирование научно-методологического аппарата картографической визуализации комплексного мониторинга состояния атмосферного воздуха. *Объекты и методы.* Для решения поставленных задач были проведены сбор, систематизация, математическая обработка, анализ и картографическая визуализация данных о состоянии атмосферного воздуха для территорий разного территориального уровня: Российская Федерация, федеральные округа (Приволжский и Уральский ФО), субъекты РФ (республики Удмуртия, Башкирия), город Ижевск. В работе были использованы данные государственного учёта источников загрязнения атмосферного воздуха на территории РФ, материалы государственного мониторинга, данные, полученные в ходе натурных исследований и математического моделирования. *Результаты.* В рамках данного исследования сформулированы временная структура деятельности по созданию карт состояния атмосферного воздуха, критерии и факторы репрезентативности картографических материалов. Временная структура процесса создания карт включает в себя следующие этапы: фаза проектирования, технологическая и рефлексивная фаза. Сформулированы следующие критерии репрезентативности исходных данных и полученного картографического материала: критерий достаточной обоснованности, критерий интересубъективности, критерий сходимости. Репрезентативность данных, используемых в создании карт состояния атмосферного воздуха, в значительной степени определяется следующими факторами: масштаб, используемые математико-статистические подходы к обработке исходных данных и степень первичной интеграции. *Выводы.* Использование сформулированного научно-методологического аппарата создаст возможности для формирования нового кластера карт состояния атмосферного воздуха, характеризующихся высокой степенью достоверности и репрезентативности.

Ключевые слова: репрезентативность карт; состояние атмосферного воздуха; критерии; факторы

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

Для цитирования: Семакина А. В. Научно-методологические аспекты картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 4 (64). С. 83–97. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.83>; EDN: OJSVSQ

Введение

Многообразие источников информации о состоянии атмосферного воздуха, её видов, подходов к сбору и картографическому представлению, а также наличие высокого спроса на подобного рода информацию приводят к накоплению разнообразных по степени репрезентативности картографических материалов, отражающих состояние атмосферного воздуха. Релевантность используемой информации и подхода к её картографической визуализации напрямую влияет на качество предоставляемой информации и на эффективность административно-управленческих решений, принимаемых на базе данного рода информации.

Развитие сферы информационных технологий внесло свои коррективы: можно отметить, с одной стороны, расширение публичности и доступности многих баз данных о состоянии атмосферного воздуха, с другой стороны, развитие веб-картографии [1], как наиболее эффективного инструмента картографической визуализации (высокая скорость создания карт, автоматизация процесса, отсутствие необходимости специальных знаний в области создания карт). Всё это, на фоне высокого спроса на актуальную информацию о состоянии окружающей среды, привело к появлению в Интернете большого количества карт, не отвечающих требованиям репрезентативности в содержательном отношении (например, [2, 3]).

Повышению эффективности любой продуктивной деятельности, направленной на получение объективно (или субъективно) нового результата (в том числе и касающейся области создания карт состояния атмосферного воздуха), способствует применение методологического аппарата (формирующего алгоритм организации деятельности) [4]. В свою очередь, организация деятельности означает создание упорядоченной системы действий с чётко определёнными характеристиками, логической и временной структурой [5]. При-

менительно к картографированию состояния атмосферного воздуха под логической структурой понимается субъект (индивид или группа людей, занимающихся сбором, систематизацией и картографической визуализацией данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха), объект (состояние атмосферного воздуха), предмет (методы сбора, интеграции и картографической интерпретации данных о состоянии атмосферы), формы (картографическое обеспечение научно-исследовательской деятельности, практической природоохранной деятельности, эколого-просветительской деятельности [6]), методы (общенаучные методы, методы интеграции и интерпретации данных, методы картографической визуализации, в т. ч. в виде электронных и онлайн-карт), критерии оценки достоверности исходных данных и полученного результата. Временная структура данного вида деятельности предполагает поэтапную организацию процесса с оценкой её эффективности и качества.

Цель работы – формирование научно-методологического аппарата картографической визуализации комплексного мониторинга состояния атмосферного воздуха.

Задачи:

- ✓ сбор, систематизация, математическая обработка и картографическая визуализация данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха для территориальных единиц разного уровня;

- ✓ обоснование критериев и факторов репрезентативности данных о состоянии атмосферного воздуха;

- ✓ оценка особенностей временной структуры картографической визуализации.

Объекты и методы исследования

Для решения поставленных задач автором были проведены сбор, систематизация, математическая обработка, анализ и картографическая визуализация данных о состоянии атмосферного воздуха для территорий разного территориального уровня: Российская Федерация, федеральные округа (Приволжский и Ураль-

ский ФО), субъекты РФ (республики Удмуртия, Башкирия), город Ижевск [7–9]. В работе были использованы данные государственного учёта источников загрязнения атмосферного воздуха на территории РФ, материалы государственного мониторинга, данные, полученные в ходе натурных исследований и математического моделирования. Исследования были основаны на нормативно-методических документах, утверждённых на государственном уровне, а также на разработках ведущих отечественных и зарубежных учёных в области математического моделирования и картографирования процессов загрязнения атмосферы: Э. Ю. Безуглой, М. Е. Берлянд [10], М. Е. Берлянд, Е. Л. Генрихович, В. И. Оникул [11], Экологический программный комплекс для персональной ЭВМ под ред. А. С. Гаврилова [12], Г. И. Марчука [13], В. А. Петрухина и В. А. Вишенского [14], Т. С. Селегей, И. П. Юрченко [15], В. С. Тикунова [16] и др.

Накопленный в рамках данного исследования значительный объём картографического, аналитического, графического материала представлен на геопортале «Комфортная среда» [17], созданном под руководством автора. В качестве геоинформационного инструмента, реализующего задачу web-визуализации электронных карт, был использован модуль qgis2web программного продукта Qgis. На основании имеющихся картографических материалов были сформулированы следующие уровни территориальной детализации картографического онлайн-сервиса загрязнения атмосферного воздуха: город, субъект РФ, федеральный округ, Российская Федерация.

На уровне города (в части химического загрязнения атмосферного воздуха) была отображена следующего рода информация:

1. Текстовое пояснение и видеоматериал о методологии получения исходных данных, факторах загрязнения атмосфер-

ного воздуха, основные закономерности загрязнения атмосферного воздуха данного населённого пункта.

2. Карты среднегодовых поингредиентных концентраций основных поллютантов – способом изолиний с послышной окраской (изобразительные средства – цвет и текстовое пояснение, появляющееся при наведении на объект).

3. Карта среднегодовых значений комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА) с разными подходами к пространственной интерпретации данных: по микрорайонам, по единицам кадастрового деления – способом изолиний (изобразительные средства – цвет и текстовое пояснение, появляющееся при наведении на объект). В качестве примера можно привести карту среднегодовых значений КИЗА на территории г. Ижевска, полученных в ходе натурных исследований (рис.1).

4. Карта объёмов эмиссии загрязняющих веществ (ЗВ) по промышленным зонам, характеризующих агрегатное состояние и класс опасности выбросов.

5. Динамические карты загрязнения атмосферного воздуха в течение суток для отдельного участка населённого пункта.

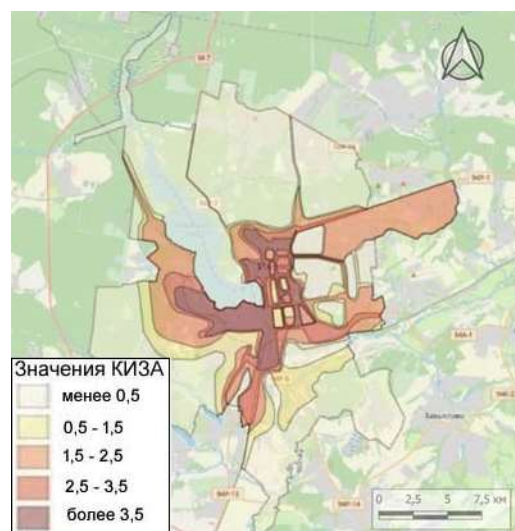


Рис. 1. Карта среднегодовых значений КИЗА на территории г. Ижевска, полученных в ходе натурных исследований в 2022 году
Fig. 1. Map of average annual values of the complex index of atmospheric air pollution (CAPI) on the territory of the city of Izhevsk, obtained during field studies in 2022

Динамическая карта концентрации диоксида азота, представленная в разделе «Ижевск. Атмосферный воздух», является методологической апробацией подхода, реализующего автоматизированную систему создания онлайн-карт загрязнения атмосферы и опирающегося на методы машинного зрения и математического моделирования. Анализ полученных значений расчётных концентраций диоксида азота вблизи ул. Удмуртской в будний день (12.12.2022) показал высокую сходимость с результатами натурных измерений [9]. Необходимо отметить, что, несмотря на относительно ограниченную зону влияния автодорог как факторов загрязнения атмосферы (на расстоянии более 50 м выбросы от автодороги не приводят к формированию концентраций, превышающих санитарно-гигиенические нормативы), для многих городов основной вклад в суммарные выбросы приходится на выбросы от автотранспорта. В связи с тенденцией повсеместного увеличения автопарка городов можно прогнозировать рост акту-

альности указанного подхода к мониторингу состояния атмосферного воздуха вблизи автодорог.

На уровне субъекта РФ, федерального округа и территории РФ в целом онлайн-сервис содержит следующую информацию о состоянии атмосферного воздуха:

1. Карты среднегодовых значений поингредиентных (маркерных для техногенной деятельности) показателей загрязнения атмосферы (изобразительное средство – цвет).

2. Карта среднегодовых значений КИЗА – способом изолиний с послойной окраской.

3. Карта объёмов выбросов по отдельным регионам картографируемой территории – способом картодиаграмм (изобразительное средство – цвет).

В качестве примера можно привести карты расчётных значений КИЗА на территории РФ (рис. 2), на территории Приволжского и Уральского ФО (рис. 3, 4), на территории Удмуртской Республики (рис. 5).

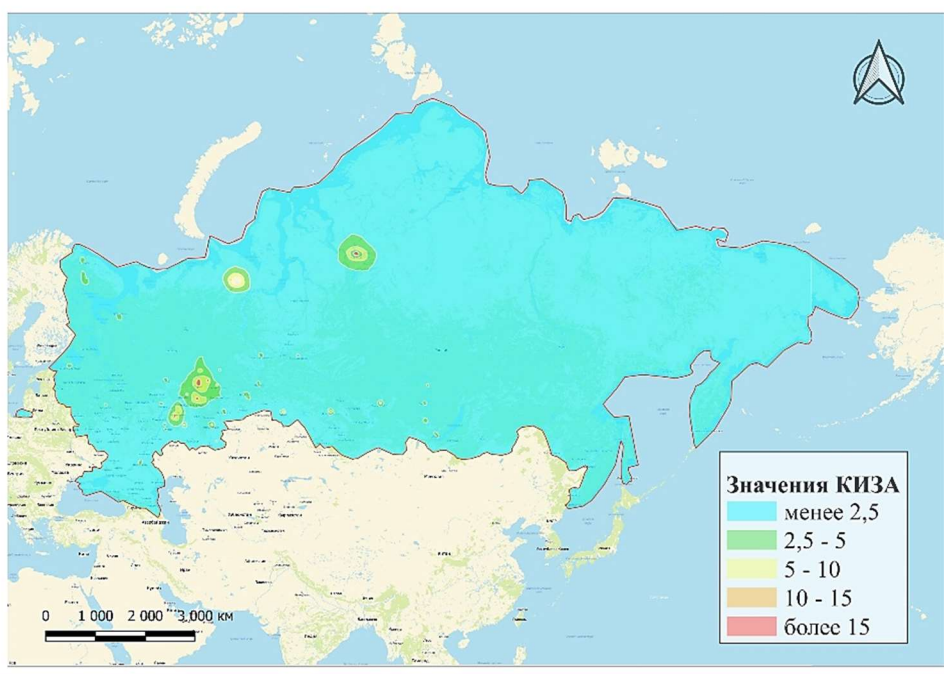


Рис. 2. Среднегодовые значения КИЗА на территории РФ, сформированные выбросами от стационарных источников

Fig. 2. Average annual CAPI values on the territory of the Russian Federation due to emissions from stationary sources

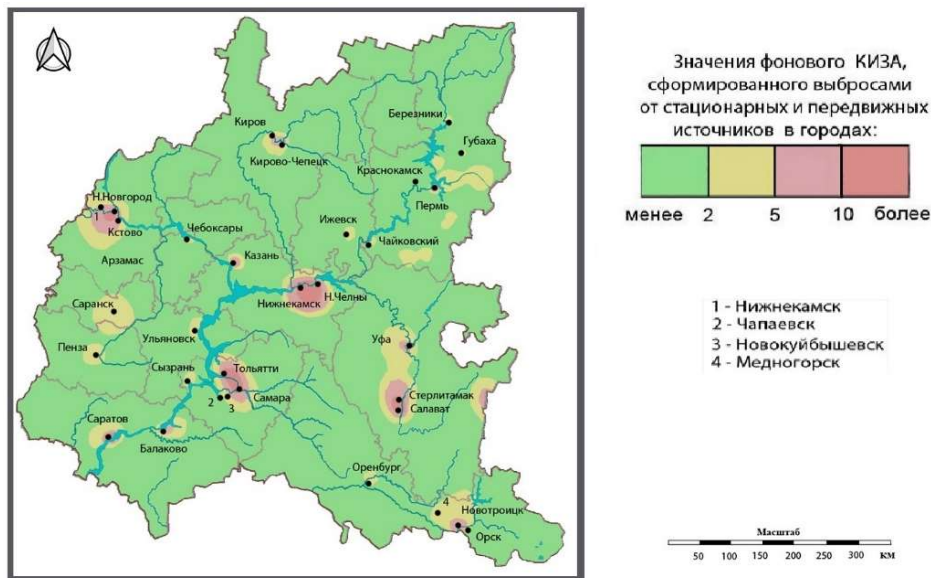


Рис. 3. Среднегодовые значения КИЗА на территории Приволжского ФО, сформированные выбросами от стационарных источников

Fig. 3. Average annual CAPI values on the territory of the Volga Federal District due to emissions from stationary sources

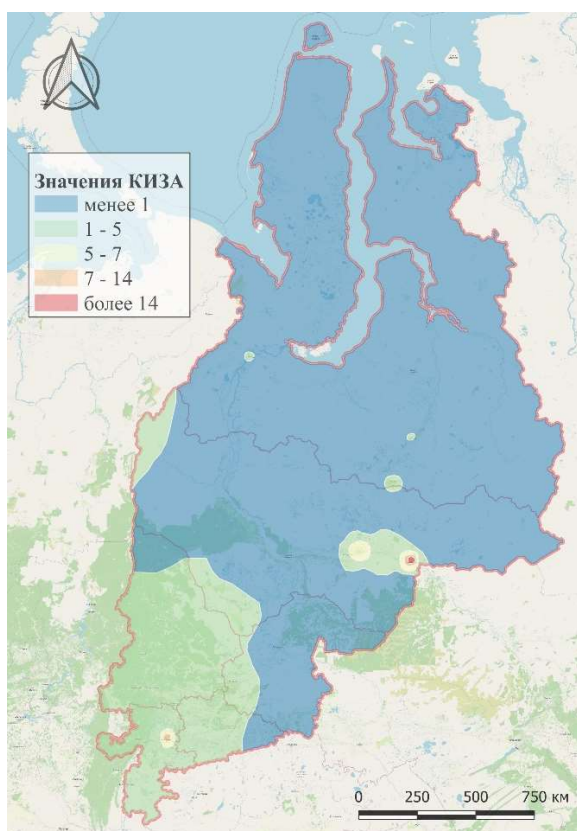


Рис. 4. Среднегодовые значения КИЗА на территории Уральского ФО, сформированные выбросами от стационарных источников

Fig. 4. Average annual CAPI values of the Ural Federal District due to emissions from stationary sources

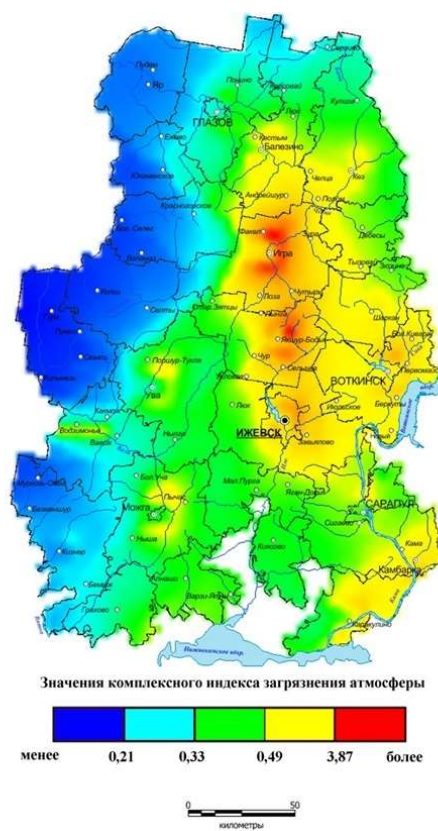


Рис. 5. Среднегодовые значения комплексного индекса загрязнения атмосферы на территории Удмуртской Республики

Fig. 5. Average annual CAPI values on the territory of the Udmurt Republic

Результаты и их обсуждение

Поэтапный процесс осуществления деятельности по картографической визуализации данных, характеризующих состояние атмосферного воздуха (или временная структура деятельности), можно разделить на следующие компоненты:

1. Фаза проектирования, на которой осуществляется сбор, систематизация исходных данных, оценка репрезентативности собранных данных, их интеграция и интерпретация.

2. Технологическая фаза – собственно процесс создания карт (в том числе бумажных, электронных, динамических и онлайн-карт), механизмы их создания, отображения, доведения до потребителя.

3. Рефлексивная фаза, на которой происходит анализ полученных результатов, выделение территорий с наихудшими (с точки зрения загрязнения атмосферного воздуха) условиями, верификация и корректировка результата, прогноз и выработка системы мероприятий, направленных на улучшение качества атмосферного воздуха.

Фаза проектирования. С методологической точки зрения, наименее проработанными являются задачи, рассматриваемые на фазе проектирования. В то же время, качественный подход к реализации указанной фазы позволяет избежать явных и скрытых ошибок в полученном картографическом материале, характеризующем состояние атмосферного воздуха. В связи с многообразием источников исходной информации, используемой при оценке и картографической визуализации состояния атмосферного воздуха, актуальным становится вопрос определения степени достоверности и типичности используемых данных.

Поскольку любая информация о состоянии окружающей среды (в том числе и состоянии атмосферного воздуха) объективно беднее существующей реальности, постольку существует необходимость достижения репрезентативности (или объективной истинности) получаемых дан-

ных. К минимальному набору признаков научно достоверного знания, выделяемых в философии, относятся истинность, интерессубъективность и системность [5]. Применительно к картографической визуализации можно предложить следующие критерии репрезентативности используемых данных:

1. Критерий достаточной обоснованности (или истинности), который предполагает методологическую репрезентативность используемых данных о состоянии атмосферного воздуха (например, репрезентативность используемой выборки; использование методик расчёта, подтверждённых длительными эмпирическими исследованиями; достаточное для пространственной интерпретации количество пунктов отбора или постов наблюдения).

2. Критерий интерессубъективности, который предполагает воспроизводимость получаемых данных для другой территории. Согласно общеэкологическому закону физико-химического единства живого вещества Вернадского [18], критерии и оценочные показатели состояния атмосферного воздуха, используемые для одной территории, могут быть использованы и для остальных территорий. Примером несоответствия критерию интерессубъективности является используемый за рубежом интегральный показатель AQI [19]. При расчёте данного показателя большой вклад в итоговые значения вносит такая группа ЗВ, как взвешенные вещества (без учёта этиологии и химического состава примесей), за счёт чего одинаково высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха можно наблюдать в центре промышленно развитого города (например, Лондон) и в пределах неосвоенных территорий (например, центральная часть пустыни Сахара или Гималаи), в то время как реальный риск здоровью населения, создаваемый данными уровнями загрязнения, в значительной степени различается [20]. Поскольку критерий интерессубъективности конкретизируется требованием воспроизводимости науч-

ного знания, то есть одинаковостью результатов при одинаковых условиях эксперимента, он же может быть использован и в качестве критерия выявления факторов загрязнения атмосферного воздуха, ранее не учтённых в исследовании.

3. Критерий сходимости предполагает, в первую очередь, совпадение в крайних значениях имеющихся данных с другими источниками информации о состоянии атмосферного воздуха. Можно рассматривать критерий сходимости и более широко – как соответствие полученных данных другим областям знания: научного, обыденного, художественного. Так, полученные (расчётным путём или в ходе натурных исследований) высокие значения пылевой нагрузки в пределах жилой застройки говорят о широком использовании печного отопления, а экстремально высокие значения формальдегида, полученные на территории биосферного заповедника, сигнализируют о неисправности измерительного прибора или ошибке в расчётах.

Примером могут служить и некоторые данные государственного мониторинга, используемые в рамках исследования данных, характеризующих уровень загрязнения атмосферного воздуха, по результатам государственной сети мониторинга. Так, в Ульяновской области посты наблюдения за загрязнением атмосферы (ПНЗ) работают в пяти городах и трёх поселках городского типа. При этом три города Ульяновской области характеризуются значениями КИЗА более 14,0 или значениями концентраций одного из контролируемых поллютантов более 10 ПДК, два города и три поселка городского типа характеризуются значениями КИЗА более 7 [15]. Характеризуя источники антропогенного поступления ЗВ в атмосферный воздух, можно отметить невысокие объёмы выбросов ЗВ в целом по региону (валовые выбросы составляют 53,8 тыс. т/год, а удельные выбросы – 0,8 т/км² в год) и отсутствие зна-

чимых источников в указанных населённых пунктах [21]. В свою очередь, в пределах такого крупного промышленного центра, как Санкт-Петербург (суммарные выбросы составляют 200,9 тыс.т/год, а удельные выбросы – 130,1 т/км² в год), в целом значения КИЗА характеризуются низкими значениями [21, 22]. В данном случае, фактором, оказывающим влияние на формируемые приоритетные списки городов с высокими уровнями загрязнения, является не столько факт в среднем высоких концентраций поллютантов на территории населённого пункта, сколько специфическое расположение ПНЗ, отражающее в конкретном случае либо нетипичные экстремально высокие значения концентраций (формируемые в непосредственной близости местного источника, такого как автодорога), либо нетипичные низкие значения концентраций (формируемые в ветровой тени либо на значительном удалении от значимых источников выброса).

Необходимо отметить, что репрезентативными можно считать данные, отвечающие всем трём критериям истинности. Так, например, существуют различные подходы к оценке состояния атмосферного воздуха, выдвигающие различные требования к количеству пространственной и временной выборки (биоиндикационный метод, измерение концентраций ЗВ в атмосфере, оценка среднегодовых объёмов эмиссии), что позволяет по-разному интерпретировать критерий достаточной обоснованности. Реализация только критерия интересубъективности на практике может отражать лишь всеобщее заблуждение. Например, в части реализации системы государственного мониторинга за состоянием атмосферного воздуха, традиционно (по аналогии с метеорологическими исследованиями) измерения проводятся в 7:00, 13:00, 19:00. На практике это означает контроль за состоянием атмосферы до «часа пик» на автодорогах и начала работы основных производств, в обеденный перерыв, после «часа пик»

и окончания работ на основных производствах. Реализация только критерия сходимости, обособленно от других, обуславливает лишь «научообразность» собранных или полученных данных. Так, например, в практике создания государственных докладов о состоянии окружающей среды отмечается тенденция формирования от года к году практически полностью идентичного аналитического раздела.

Репрезентативность данных, используемых в создании карт состояния атмосферного воздуха, в значительной степени определяется следующими факторами:

1. Масштаб является базовым фактором генерализации данных. Особое значение он приобретает при создании карт на бумажных носителях. В свою очередь, широкое развитие ГИС-технологий [23] приводит к тому, что в некоторых случаях (на интерактивных картах) возможен почти полный отказ от генерализации либо переход к «ступенчатой» генерализации (эффекту пирамиды). При выделении отдельных ступеней обработки и представлении данных целесообразно опираться на единицы административного деления и характерные типы природопользования. Так, на примере г. Ижевска рекомендуется выделение внутри городской территории следующих типов природопользования: транспортного, промышленного, селитебного (в том числе сектора многоэтажной застройки и индивидуального жилищного строительства). Для региона (на примере Удмуртии) можно предложить следующее внутреннее деление по типам природопользования: территория городской застройки, промышленная зона, зона влияния крупных междугородних автодорог и магистралей, территория крупных месторождений, зона влияния газокompрессорных станций. На уровне Российской Федерации при выделении характерных типов природопользования необходимо опираться на следующие факторы: плотность населения, наличие крупных городских агломе-

раций, физико-географическое районирование территории [8, 9].

2. Математико-статистические подходы. Рекомендации по использованию различных математико-статистических подходов в значительной степени вариabельны в зависимости от типа данных. Так, например, для снижения влияния на итоговый результат измерения флуктуаций значений, вызванных местными атмосферными вихрями, целесообразно использовать линейное усреднение ряда полученных данных, а при выборе ступеней шкалы в процессе пространственной интерполяции уровней загрязнения атмосферного воздуха целесообразно опираться на медианные и квантильные значения [24].

Отдельно заслуживают рассмотрения подходы к определению удельных показателей. Поскольку экологические проблемы неотделимы от территорий, на которых они проявляются, постольку целесообразным является расчёт удельных показателей объёмов воздействия на единицу площади. Примером неудачного применения удельных показателей стало использование показателя удельных выбросов парниковых газов (тыс.т/чел.) при определении степени ответственности стран за вклад в глобальные изменения климата [25]. Таким образом, удельные выбросы таких густонаселённых стран (мировых лидеров по выбросам диоксида углерода), как Китай и Индия, оказались ниже, чем России.

Поскольку большинство статистических данных публикуется уже первично интегрированными во временном отношении, наибольший интерес представляет временная интеграция при обработке и систематизации данных, полученных в ходе натурных измерений. Здесь целесообразен отказ от формального подхода к выделению временных интервалов (например, среднесуточные или среднегодовые концентрации) и переход к неформальным временным интервалам, характеризующимся разными уровнями загрязнения атмосферного воздуха (например,

период «час пик» вблизи автодорог, в период НМУ). В то же время, существуют сложности санитарно-гигиенической интерпретации полученных значений в связи с формальным подходом временной интеграции в санитарно-гигиеническом нормировании (ПДК максимально разовая, ПДК среднесуточная, ПДК среднегодовая).

3. Степень первичной интеграции. Выделяются две категории данных: первично интегрированные (например, данные об объёмах выбросов), единичные данные (разовое измерение). При этом можно отметить, что репрезентативность единичных данных будет повышаться при их временной, межингредиентной и пространственной интеграции, что позволит перейти от отображения характеристик конкретной ситуации к общим, типичным закономерностям. С другой стороны, первично интегрированные статистические данные будут тем репрезентативнее, чем меньше степень осреднения (например, характерно снижение информативности данных об объёмах выбросов по мере повышения осреднения от уровня предприятий до уровня региона и страны). Во многом это связано с использованием в процессе интеграции традиционных показателей среднего, а не медианного значения.

Математическое моделирование предполагает первичную интеграцию и аппроксимацию процессов рассеяния, что, с одной стороны, делает этот процесс технически более простым, с другой стороны, формирует лишь обобщённую картину состояния атмосферного воздуха. Степень репрезентативности полученных в результате расчёта данных будет определяться степенью близости моделируемых и реальных условий.

Таким образом, можно отметить разноречивость влияния факторов репрезентативности на достоверность исходных данных о состоянии атмосферного воздуха. Сложность и многообразие их влияния является основной причиной формирования некорректных картографических

материалов, характеризующих состояние атмосферного воздуха.

Технологическая фаза. В общем случае вопросами, изучающими законы построения и функционирования знаковых систем, занимается семиотика. Семиотика является одним из оснований методологии, поскольку человеческая деятельность, человеческое общение делают необходимым выработку многочисленных систем знаков, с помощью которых люди могли бы передавать друг другу разнообразную информацию и тем самым организовывать свою деятельность. Для того чтобы содержание того или иного сообщения, которое один человек может передать другому, было понято получателем, необходим такой способ трансляции, который позволил бы получателю раскрыть смысл сообщения. Это возможно в том случае, если сообщение выражается в знаках, несущих доверенное им значение, и если передающий и получающий информацию одинаково понимают связь между значением и знаком.

При выборе способов и средств картографического изображения состояния атмосферного воздуха большую роль играют такие факторы, как особенности исходных данных и картографируемой территории, наглядность и общедоступность используемых способов и средств, назначение и масштаб картографического материала.

Особенности исходных данных оказывают влияние на выбор способов и средств картографического изображения посредством уровня первичной пространственной интеграции. Так, данные об объёмах выбросов, предоставляемые официальными источниками, часто носят обобщённый характер по единицам административно-территориального деления, что делает возможным использование при картографировании воздействия на атмосферный воздух только способа картограмм и картодиаграмм. При наличии не интегрированных в пространственном

отношении данных об объёмах выбросов (по предприятиям, населённым пунктам) возможно применение способа значков (в т. ч. структурных значков), способа локализованных диаграмм (в т. ч. с характеристикой объёмов удельных и приведённых выбросов). При характеристике уровня загрязнения атмосферы и условий рассеяния в связи со значительной степенью континуальности её дифференциации рекомендуется применение способа изолиний. При дефиците пространственной выборки данных допускается использование способа значков и качественного фона.

Подходы к выбору изобразительных средств (наглядность и общедоступность используемых способов и средств) являются универсальными и не отличаются от аналогичных подходов в других разделах тематического картографирования.

Особенности картографируемой территории и масштаб оказывают влияние на подходы к степени генерализации тематического и общегеографического содержания. Так, для территории Красноярского края ценз при отборе картографируемых источников выбросов предприятий (или населённых пунктов) будет менее строгим, чем для территории Московской области или территории РФ в целом. При уменьшении масштаба картографического изображения возможен переход от количественной характеристики к качественной интерпретации типов структур выбросов (переход от способа локализованных диаграмм к качественному фону). Необходимо отметить, что с появлением и развитием электронных и интерактивных карт влияние данных факторов существенно снизилось в связи с возможностью послойной детализации карт («эффект пирамиды»).

Назначение картографического материала оказывает влияние на детальность, качество и однозначность интерпретации пользователем получаемой карты. Так, карты концентраций поллютантов в атмосферном воздухе, создаваемые в рамках

написания природоохранных проектов (например, санитарно-защитных зон, нормативов допустимых выбросов) будут отличаться высокой информативностью, однозначностью интерпретации, но также будут носить закрытый для общего пользования характер, часто обладать избыточной для обычного пользователя информацией (например, место расположения и номер источника выбросов согласно данным инвентаризации источников выбросов на предприятии). Качество карт, создаваемых для общего пользования, во многом зависит от имеющейся исходной информации и целей картографирования. В некоторых случаях имеют место факты профанации и использования карт состояния атмосферы для манипулирования общественным мнением (например, [26]).

С развитием компьютерных технологий подавляющее большинство карт состояния атмосферного воздуха создаётся с применением многообразных ГИС-продуктов (например, MapInfo, Qgis, ArcGIS и т. д.) Развиваются активно и отечественные продукты, формирующие картографический материал о состоянии атмосферного воздуха (например, «Циклон» [27], «Интеграл-эколог» [28] и т. д.). Большое распространение получили онлайн ГИС-ресурсы, такие как «Яндекс-карты», «Google-карты», тоже предоставляющие инструменты по созданию картографического материала. В то же время, функциональные возможности и, как следствие, качество создаваемых карт в значительной степени зависят от назначения программного продукта (является ли создание карт основным или вспомогательным инструментом).

Рефлексивная фаза в рамках данной работы понимается в контексте оценки содержания и качества полученного картографического результата. Термин «оценка» предполагает под собой установление уровня качества и может рассматриваться с двух позиций:

1. Оценка исследователем качества, наглядности, репрезентативности созданных им карт. Такой подход подразумевает оценку качества картографического материала, сравнение полученных значений с данными из других источников (картографических, литературных, статистических). В ходе верификации возможна доработка картографического материала по аналогии с циклом Деминга [29]. В ходе оценки качества полученного материала можно опираться на рассмотренные ранее критерии репрезентативности данных: критерий достаточной методологической обоснованности полученных данных; критерий интересубъективности (при оценке корректности используемых показателей); критерий сходимости (при оценке достоверности, типичности полученных данных в сравнении с данными из других источников, в том числе картографическими материалами, полученными в рамках аналогичных исследований для других территорий или за предыдущий период). Так, в ходе картографической интерпретации результатов математического моделирования загрязнения атмосферного воздуха для территорий различных уровней (РФ, федеральные округа, республики Башкирия и Удмуртия) в общем виде отмечалась сходимость результатов между собой и с данными натурных измерений (полученных в ходе государственного мониторинга состояния атмосферы). Расхождения в полученных картографических материалах были связаны главным образом с неизбежной генерализацией, а также методологическими различиями в получении первичных и расчётных данных (использование различного перечня ЗВ в расчёте интегрального показателя загрязнённости атмосферы, размещение постов мониторинга только в пределах городов и посёлков городского типа).

2. Оценка содержания карт как результата научного исследования. При таком подходе важным является установление пространственных связей и особенностей

загрязнения атмосферного воздуха, формирование прогнозов развития ситуации, оценка рисков здоровью населения. Так, в ходе картографической интерпретации результатов математического моделирования загрязнения атмосферного воздуха РФ были выделены следующие ареалы загрязнения: Норильский, Центрально-Уральский, Поволжский, Печоро-Воркутинский. При повышении пространственной детализации (на уровне федеральных округов) были выделены следующие ареалы загрязнения: Нижнекамский, Самарский, Центрально-Башкирский (ПФО); Нижнетагильский, Челябинский, Магнитогорский (УрФО). Выявление крупнейших ареалов загрязнения, часто формируемых в результате влияния нескольких крупных городов-источников выбросов, в дальнейшем может служить основой для формирования рекомендаций при разработке целевых мероприятий по улучшению качества атмосферного воздуха (в том числе при реализации федерального проекта «Чистый воздух»).

В рамках оценки содержания карт с применением критерия интересубъективности можно выявить влияние не учитываемых или недооценённых ранее факторов. Так, анализируя карту КИЗА г. Ижевска (полученную по материалам натурных измерений), можно отметить значимое влияние орографических особенностей местности (понижение долины реки Подборенка) и преобладающих среднегодовых направлений ветра (южного и юго-западного) на формирование зон высоких концентраций поллютантов, поступающих в атмосферный воздух от высоких источников центральной промышленной зоны. Значимое влияние данного фактора, в сочетании с ростом загруженности центральных автодорог города и интенсивной уплотнительной жилой застройкой, может стать фактором роста заболеваемости населения (особенно заболеваний дыхательной системы) в центральной и северо-восточной частях города. Исследования

по оценке влияния состояния атмосферного воздуха на здоровье населения (в т. ч. детского) для города проводились, начиная с середины 90-х гг. XX века. Прогнозы пространственного распределения значений показателей заболеваемости характеризовались высокой степенью сходимости [30].

Заключение

В ходе проведенного исследования были сформулированы подходы к оценке факторов и критериев репрезентативности картографического материала. Рассмотрены общие вопросы подходов к картографической интерпретации результатов мониторинга состояния атмосферного воздуха в контексте сформулированного научно-

методологического аппарата. Использование научно-методологического аппарата, позволяющего систематизировать существующие подходы к получению, анализу и картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха, будет способствовать повышению качества, репрезентативности и содержательности карт состояния атмосферного воздуха, создаст возможности для формирования нового кластера карт состояния атмосферного воздуха, характеризующихся высокой степенью достоверности и репрезентативности и используемых для информационного обеспечения населения, органов исполнительной власти и административного управления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зеленко О. В., Валеева Л. Р., Климанов С. Г. Обзор современных Web-технологий // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 2. С. 354–356. EDN: TJLTVP
2. Онлайн-карта «Эковизор». URL: <http://online.russiangureens.ru> (дата обращения: 19.07.2024).
3. AirViro (web based system for Air Quality Management). URL: <https://www.airviro.com/airviro/> (дата обращения: 29.07.2024).
4. Каган М. С. Человеческая деятельность. (Опыт системного анализа). М.: Политиздат, 1974. 328 с.
5. Философский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 839 с.
6. Стурман В. И. Экологическое картографирование. Ижевск.: Удмуртский университет, 2000. 152 с.
7. Семакина А. В., Платунова Г. Р., Мансуров А. Р. Состояние атмосферного воздуха на территории Республики Башкортостан // Вестник Удмуртского университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2020. Т. 30, № 3. С. 278–284. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-278-284; EDN: LVIMIP
8. Габдуллин В. М., Семакина А. В., Моделирование загрязнения атмосферы над территорией Приволжского федерального округа // Вестник Удмуртского государственного университета. Сер.: Биология. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 3–11. EDN: MRMQIT
9. Формирование онлайн-карт загрязнения атмосферного воздуха г. Ижевска, формируемого выбросами передвижных источников / А. В. Семакина, А. А. Коробейникова, Л. Н. Петухова и др. // Географический вестник. 2023. № 2 (65). С. 105–121. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-2-105-121; EDN: QJFBU
10. Безуглая Э. Ю., Берлянд М. Е. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 328 с.
11. Берлянд М. Е. Генрихович Е. Л., Оникул В. И. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха из низких и холодных источников // Метеорология и гидрология. 1990. № 5. С. 5–17.
12. Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ. Теоретические основы и руководство пользователя ЭПК "Zone" / А. С. Гаврилов, Г. И. Воронов, А. П. Щербо и др., под ред. А. С. Гаврилова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 166 с. EDN: IDBQZP
13. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 319 с.
14. Petrukhin V. A., Vishensky V. A. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements // Changing Composition of the Troposphere: Extended Abstracts of Papers Presented at the WMO Technical Conference on the Monitoring and Assessment of Changing Composition of the Troposphere, Sofia, October 23–27, 1989. Special Environmental Report No. 17. WMO: Geneva, 1989. Pp. 83–86.
15. Селегей Т. С., Юрченко И. П. Потенциал рассеивающей способности атмосферы // География и природные ресурсы. 1990. № 2. С. 132–137.
16. Тикунов В. С. Моделирование в картографии. М.: Издательство МГУ, 1997. 405 с.
17. Комфортная среда. URL: <https://komfortsreda.udsu.ru/> (дата обращения: 19.07.2024).
18. Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.
19. AQI Air Quality Index: Real-time Air Pollution Level. URL: <https://www.aqi.in/> (дата обращения: 03.07.2024).

20. World Air Map. URL: <https://air.plumelabs.com/en/> (дата обращения: 08.07.2024).
21. О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ им. М. В. Ломоносова, 2020. 1000 с. URL: <https://2019.ecology-gosdoklad.ru/report/17/146/148/> (дата обращения: 27.07.2024).
22. Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. URL: <https://www.infoeco.ru/> (дата обращения: 29.07.2024).
23. Ваньшева С. Е., Шмидтгаль Р. Р., Афанасьев С. А. Обзор геоинформационных систем // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Междуреченск, 03–04 апреля 2019 года / под ред. Т. Н. Гвоздковой. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2019. С. 108.1–108.8. EDN: CRLZDJ
24. Бородачёв С. М. Методы математической статистики. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 129 с.
25. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата / Ратифицирован Федеральным законом РФ от 4 ноября 2004 года N 128-ФЗ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901880645> (дата обращения: 23.07.2024).
26. AIR Civic Monitoring System. URL: <https://aircms.online/#/> (дата обращения: 29.07.2024).
27. Геоинформационная система Циклон. URL: <https://cyclonegis.ru/> (дата обращения: 29.07.2024).
28. ГК «Интеграл». URL: <https://integral.ru> (дата обращения: 31.07.2024).
29. Репин В. В., Елиферов В. Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов: монография. М.: РИА «Стандарты и качество», 2008. 408 с. EDN: QRDINX
30. Малькова И. Л., Семакина А. В. Социально-гигиенический мониторинг состояния атмосферного воздуха г. Ижевска: монография. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2018. 122 с. EDN: UOPAYQ

Статья поступила в редакцию 20.08.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024;
принята к публикации 25.11.2024

Информация об авторе

СЕМАКИНА Алсу Валерьевна – кандидат географических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Удмуртский государственный университет. Область научных интересов – экологическое картографирование, математическое моделирование, загрязнение атмосферного воздуха. Автор 58 научных публикаций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8986-0047>; SPIN-код: 1462-6105

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

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

Scientific article

UDC 504.3.054, 167

<https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.85>

EDN: OJSVSQ

Scientific and Methodological Aspects of the Cartographic Visualization of Data on the State of Atmospheric Air**A. V. Semakina**

Udmurt State University,

1, Universitetskaya str., Izhevsk, 426034, Russian Federation

alsen13@list.ru

Abstract. *Introduction.* The wide variety of information sources on the state of atmospheric air along with the diversity of the information types, approaches to its collection and cartographic representation, as well as the high demand for such data lead to the accumulation of cartographic materials which, varying in the degrees of representativeness, reflect the state of atmospheric air. The relevance of the information used and the approach to its cartographic visualization directly affects the quality of the information provided and the effectiveness of administrative and managerial decisions made on the basis of this type of information. *The study is aimed* at the formation of the scientific and methodological apparatus for the cartographic visualization of the integrated monitoring of the state of atmospheric air. *Objects and methods.* To achieve the research objectives, the study involved the collection, systematization, mathematical processing, analysis, and cartographic visualization of data on the state of atmospheric air on the territories of different levels including the Russian Federation, its Federal Districts (the Volga Federal District and the Ural Federal District) and constituent entities (the Udmurt Republic and the Republic of Bashkortostan), and the city of Izhevsk. The research work used the data of the state accounting of sources of atmospheric air pollution in the Russian Federation, state monitoring materials, as well as the data obtained during field studies and mathematical modeling. *Results.* Within the framework of this study, the time structure of activities aimed at creating the maps of the state of atmospheric air, as well as the criteria and factors of the representativeness of cartographic materials have been defined. The time structure of the map creation process includes the following stages: the design phase, the technological and the reflective ones. The following criteria for the representativeness of the source data and the resulting cartographic material have been formulated: the criterion of sufficient validity, the criterion of intersubjectivity, and the criterion of convergence. The representativeness of data used in creating maps of the state of atmospheric air is largely determined by the following factors: the scale, the mathematical and statistical approaches utilized to process the initial data, and the primary integration degree. *Conclusion.* The use of the defined scientific and methodological apparatus will create opportunities for the formation of a new cluster of maps of the state of atmospheric air. These maps will be characterized by a high degree of reliability and representativeness.

Keywords: representativeness of maps; state of the atmospheric air; criteria; factors**Funding :** this study was not supported by any external sources of funding.

For citation: Semakina A. V. Scientific and Methodological Aspects of the Cartographic Visualization of Data on the State of Atmospheric Air. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.* 2024;(4):83–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2024.4.83>; EDN: OJSVSQ

REFERENCES

1. Zelenko O. V., Valeeva L. R., Klimanov S. G. Review of modern Web technologies. *Herald of Technological University.* 2015;18(2):354–356. EDN: TJLTVP (In Russ.).
2. Ecovisor. Online environmental map. Available from: <http://online.russiangureens.ru> [Accessed 19 July 2024]. (In Russ.).
3. AirViro. Web based system for air quality management. Available from: <https://www.airviro.com/airviro/> [Accessed 29 July 2024].
4. Kagan M. S. Human activity. Experience in systems analysis. Moscow, Politizdat; 1974. 328 p. (In Russ.).
5. Philosophical encyclopedic dictionary. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya Publ.; 1983. 839 p. (In Russ.).
6. Sturman V. I. Ecological mapping. Izhevsk: Udmurt University Publ.; 2000. 152 p. (In Russ.).
7. Semakina A. V., Platunova G. R., Mansurov A. R. Atmospheric air condition in the territory of the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of Udmurt University. Series. Biology. Earth Sciences.* 2020; 30(3):278–284. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-3-278-284; EDN: LVIMIP (In Russ.).
8. Gabdullin V. M., Semakina A. V. Modeling of atmospheric pollution for the territory of Privolzhski Federal District. *Bulletin of Udmurt University. Series*

Biology. Earth Sciences. 2010;(2):3–11. EDN: MRMQIT (In Russ.).

9. Semakina A. V., Korobeynikova A. A., Petukhova L. N. et al. Formation of online maps of Izhevsk atmospheric air pollution generated by emissions from mobile sources. *Geographical Bulletin*. 2023; (2(65)):105–121. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-2-105-121; EDN: QJJFBU (In Russ.).

10. Bezuglaya E. Yu., Berlyand M. E. Climatic characteristics of the conditions for the distribution of impurities in the atmosphere. A reference manual. Leningrad, Hydrometeoizdat; 1983. 328 p. (In Russ.).

11. Berlyand M. E., Genikhovich E. L., Onikul V. I. Modeling of air pollution due to emissions from low and cold sources. *Meteorology and Hydrology*. 1990; (5):5–17. (In Russ.).

12. Gavrilov A. S., Voronov G. I., Shcherbo A. P. et al. Ecological software package for personal computer. Theoretical basis and user manual of ecological package "Zone". Gavrilov A. S. (Ed.). St. Petersburg, Hydrometeoizdat; 1992. 166 p. EDN: IDBQZP (In Russ.).

13. Marchuk G. I. Mathematical modeling in environmental problems. Moscow, Nauka; 1982. 319 p. (In Russ.).

14. Petrukhin V. A., Vishensky V. A. Modelling and evolution of Eurasian Tropospheric background pollution based on the data bank of multi-year measurements. In: *Changing Composition of the Troposphere. Extended abstracts of papers presented at the WMO Technical Conference on the Monitoring and Assessment of Changing Composition of the Troposphere* (Sofia, October 23-27, 1989). Special Environmental Rep. No. 17. Geneva, WMO; 1989: 83–86.

15. Selegey T. S., Yurchenko I. P. The potential of the scattering ability of atmosphere. *Geography and Natural Resources*. 1990;(2):132–137. (In Russ.).

16. Tikunov V. S. Modeling in cartography. Moscow, Publishing House of Moscow State University; 1997. 405 p. (In Russ.).

17. A comfortable environment. Available from: <https://komfortsreda.udsu.ru/> [Accessed 19 July 2024]. (In Russ.).

18. Reimers N. F. Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses). Moscow: Journal "Young Russia"; 1994. 367 p. (In Russ.).

19. AQI air quality index: real-time air pollution level. Available from: <https://www.aqi.in/> [Accessed 19 July 2024].

20. World Air Map. Available from: <https://air.plumelabs.com/en/> [Accessed 08 July 2024].

21. On the state and protection of the environment in the Russian Federation in 2019. State report of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation. Moscow, Minprirody of Russia, Lomonosov Moscow State University; 2020. 1000 p. Available from: <https://2019.ecology-gosdoklad.ru/report/17/146/148/> [Accessed 27 July 2024]. (In Russ.).

22. Characteristics of the level of atmospheric air pollution according to the data of the state observation network and the automated atmospheric air monitoring system of St. Petersburg. Available from: <https://www.infoeco.ru/> [Accessed 29 July 2024]. (In Russ.).

23. Vansheva S. E., Schmidtgal R. R., Afanasyev S. A. Overview of geographic information systems. In: *Current trends and innovations in science and production. Collection of materials of the 8th International Scientific and Practical Conference* (Mezhdurechensk, April 3-4, 2019). Gvozdkova T. N. (Ed.). Kemerovo, T. F. Gorbachev State Technical University; 2019:108.1–108.7. EDN: CRLZDJ (In Russ.).

24. Borodachev S. M. Methods of mathematical statistics: a textbook. Yekaterinburg, UrFU Publ.; 2012. 129 p. (In Russ.).

25. The Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ratified by Federal Law No. 128 dated November 4, 2004. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/901880645> [Accessed 23 July 2024]. (In Russ.).

26. AIR Civic Monitoring System. Available from: <https://aircms.online/#/> [Accessed 29 July 2024].

27. Tsiklon [The Cyclone]. Geoinformation system. Available from: <https://cyclonegis.ru/> [Accessed 29 July 2024]. (In Russ.).

28. GK Integral [Integral Group of Companies]. Available from: <https://integral.ru> [Accessed 31 July 2024]. (In Russ.).

29. Repin V. V., Eliferov V. G. Eliferov V. G. Process approach to management. Modeling of business processes. Monograph. Moscow, RIA "Standards and Quality"; 2008. 408 p. (In Russ.).

30. Malkova I. L., Semakina A. V. Socio-hygienic monitoring of the state of atmospheric air in Izhevsk. Monograph. Izhevsk, Udmurt University Publishing House; 2018. 122 p. (In Russ.).

The article was submitted 20.08.2024; approved after reviewing 22.11.2024; accepted for publication 25.11.2024

Information about the author

Alsu V. Semakina – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Environmental Management of the Udmurt State University. Research interests – environmental mapping, mathematical modeling, and atmospheric air pollution. Author of 58 scientific publications. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8986-0047>; SPIN: 1462-6105

Availability of materials: The data sets analyzed during the study are publicly available.

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

All authors read and approved the final manuscript.

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ DATES. EVENTS. COMMENTS

Персоналии
УДК 630*378

К 70-летию учёного, изобретателя и педагога Царёва Евгения Михайловича

П. Ф. Войтко

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

12 ноября 2024 года исполнилось 70 лет Царёву Евгению Михайловичу – доктору технических наук, профессору кафедры лесопромышленных и химических технологий Поволжского государственного технологического университета. Он является Почётным работником высшего профессионального образования Российской Федерации, Заслуженным деятелем науки Республики Марий Эл, лауреатом Государственной премии в области промышленного производства Республики Марий Эл, ветераном труда и ярким представителем движения рационализаторов и изобретателей ПГТУ и Республики Марий Эл.

Е. М. Царёв родился в семье рабочих в городе Алатырь Чувашской АССР, который славится своими талантливыми людьми: А. Н. Крылов – кораблестроитель и математик, академик АН СССР; К. П. Горшенин – первый генеральный прокурор СССР; А. И. Нефёдов – российский и советский скульптор; А. И. Судаев – конструктор-оружейник и многие другие.

В 1970 году Евгений Михайлович с отличием окончил восьмилетнюю школу № 4, а затем в 1974 году с красным дипломом – Алатырский лесотехнический техникум. После службы в рядах ВДВ Советской армии, в сентябре 1976 года, он поступил в Марийский политехнический институт им. М. Горького на специальность «Машины и механизмы лесной промышленности и лесного хозяйства». Выбор этой специальности был сделан по совету преподавателей техникума, которые в своё время



окончили Поволжский лесотехнический институт.

С 1976 года жизнь Евгения Михайловича Царёва была неразрывно связана с Марийским политехническим институтом (МПИ) и лесной отраслью. В стенах этого учебного заведения старейшие и заслуженные учёные и педагоги, словно передавая эстафету, вдохновляли молодое поколение на научные поиски и творческую активность, щедро делились своими знаниями и педагогическими

достижениями.

Евгений Царёв был замечен заведующим кафедрой водного транспорта и гидравлики МарПИ профессором Ю. Я. Дмитриевым как талантливый студент и добросовестный исполнитель хозяйственных тем кафедры. В числе его научных достижений – анализ производственно-хозяйственной деятельности рейда приплава Волжского лесоперевалочного комбината за 1980 год, лабораторные исследования процесса гидравлической выгрузки лесоматериалов в сплотовых единицах, конструирование и расчёт стационарного гидроподъёмника для сортиментных и хлыстовых сплотовых единиц, изготовление опытно-промышленного образца гидравлического лесоподъёмника и экспериментальные исследования его работы. Также он разработал гидравлический лесоподъёмник для выгрузки лесоматериалов из воды на берег.

После окончания института молодой специалист Е. М. Царёв был оставлен на кафедре водного транспорта и гидравлики для продол-

жения начатых исследований. Одновременно он занимал должность заведующего лабораторией (1981–1984 гг.). Именно в этот период Евгений Михайлович увлёкся изобретательской деятельностью, создавая новые устройства: лесозаготовительную машину, глубинный затвор и гидравлический лесоподъёмник для выгрузки пучков брёвен с воды на рейдах приплава лесопромышленных предприятий.

В 1984–1987 гг. Евгений Михайлович обучался в аспирантуре кафедры ВТЛиГ под руководством профессора Ю. Я. Дмитриева. После завершения обучения он работал младшим научным сотрудником на кафедре (1987–1989 гг.). По заказам лесосплавных предприятий ВПО «Пермьлеспром» он проводил паспортизацию плотбищ и лесных складов на реках Вашки, Мезень и Вишера с увязкой геодезических и гидрологических факторов для гарантированного съёма плотов из круглых лесоматериалов в период весеннего половодья. Затем он разрабатывал методы и средства, обеспечивающие предотвращение поступления плавающих на водохранилище лесоматериалов к Саяно-Шушенской ГЭС.

С июня 1989 года Е. М. Царёв работал на кафедре технологии и оборудования лесопромышленных производств (ТОЛП), ныне кафедре лесопромышленных и химических технологий (ЛиХТ): ассистентом, старшим преподавателем (1991–1997 гг.), доцентом (1997–2007 гг.) и профессором (с 2007 г. по настоящее время). Обладая глубокой теоретической подготовкой и совмещая преподавательскую деятельность с исследовательской, в апреле 1997 года Е. М. Царёв защитил в Марийском государственном техническом университете кандидатскую диссертацию на тему: «Гидравлические средства перемещения и транспортировки лесоматериалов при их заготовке на прибрежных лесных полосах в условиях малых рек». Решением ВАК в 1997 году ему была присвоена учёная степень кандидата технических наук, а в 1999 году – учёное звание доцента по кафедре ТОЛП.

Круг научных интересов Е. М. Царёва значительно расширился: совершенствование технологии лесозаготовительного производства на лесопромышленных предприятиях Республики Марий Эл; решение вопросов инженерной экологии и защиты водных ресурсов при сплаве лесоматериалов; создание новых устройств для образования поверхностного потока; гидравлические ускорители потока во-

ды для лесосплава и сортировки брёвен на воде; лесозадерживающая запань; плавающая лесозаготовительная машина; разработка способа освоения участков лесного фонда.

Другим важным аспектом деятельности Евгения Михайловича являлась педагогическая работа на кафедре ТОЛП лесопромышленного факультета. За 13-летний период он прошёл путь от ассистента (1986 г.) до доцента (1999 г.) Марийского государственного технического университета. На кафедре ТОЛП он читал дисциплины «Основы технического творчества», «Технология и оборудование лесосечных работ» и «Технология и оборудование лесоскладских работ». Для качественного проведения учебного процесса Е. М. Царёв написал и издал учебные пособия: по курсовому проектированию «Технология и машины лесосечных и лесоскладских работ» (1995 г.); справочные материалы «Технология и оборудование лесопромышленных производств» (1999 г.) совместно с Ю. А. Ширниным, С. Б. Якимовичем и А. Н. Чемодановым; «Технология и оборудование лесопромышленных производств» (2001 г.) совместно с Ю. А. Ширниным, А. Н. Чемодановым, Г. П. Захаренко и А. Г. Поздеевым.

В период с сентября 1997 года по декабрь 2002 года Евгений Михайлович Царёв занимал должность заместителя декана лесопромышленного факультета и возглавлял государственную аттестационную комиссию по аттестации студентов других вузов. Кроме того, он был членом Учёного совета и председателем методической комиссии факультета.

С 2001 по 2004 год Евгений Михайлович проходил обучение в очной докторантуре при Марийском государственном техническом университете по специальности 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства». Его наставниками были выдающиеся учёные: Ю. Я. Дмитриев, А. Г. Поздеев, П. М. Мазуркин и В. Г. Самойленко, которые сыграли важную роль в становлении Евгения Михайловича как учёного.

Основными направлениями профессиональной научной деятельности Е. М. Царёва стали: разработка технических средств для защиты гидротехнических сооружений от плавающих аварийных лесоматериалов в условиях крупных водохранилищ, что было подтверждено девятью патентами на изобретения; создание технологических схем сбора отходов лесозаготовок на прибрежных полосах водоёмов;

охрана окружающей среды на водных объектах, что нашло отражение в его монографии «Совершенствование сбора отходов лесозаготовок на водохранилищах», опубликованной в 2005 году в МарГТУ.

В июне 2006 года Евгений Михайлович Царёв защитил докторскую диссертацию «Совершенствование сбора древесных отходов от лесозаготовок на водохранилищах» на заседании диссертационного совета Д 212.115.02 при МарГТУ с присвоением учёной степени доктора технических наук.

За период с 1981 по 2010 год Евгений Михайлович активно занимался изобретательской деятельностью, опубликовав 11 авторских свидетельств и 70 патентов в различных областях науки и техники. Среди его изобретений: устройство для создания поверхностного потока (1988); четыре гидравлических ускорителя для лесосплава; устройство для сортировки брёвен на воде; мультимедиабаза данных руководителя, проектировщика и технолога ЛПП; два способа освоения участков лесного фонда; пять лесозадерживающих запаней и многие другие.

Научные исследования Е. М. Царёва востребованы лесопромышленными предприятиями лесного комплекса России, многие из них внедрены в производство и учебный процесс. Его достижения отмечены наградами различного уровня:

- Звание «Заслуженный деятель науки Республики Марий Эл»;
- Лауреат государственной премии Республики Марий Эл;
- Почётная грамота Правительства Республики Марий Эл за подготовку кадров для лесной отрасли;
- Медаль А. Нобеля от Президиума Российской академии естественных наук;
- Медаль В. И. Вернадского от Президиума РАЕН;
- Золотая медаль Никола Тесла Ассоциации изобретателей;
- Юбилейная медаль Московского общества изобретателей и рационализаторов.

Переход высшей школы России на многоуровневое образование (бакалавриат, специалитет, магистратура) потребовал от профессорско-преподавательского состава кафедры ТОЛП МарГТУ максимального напряжения усилий, знаний и умений по организации учебного процесса направлений подготовки бакалавров 35.03.02 и магистров 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих

производств». Евгений Михайлович активно участвовал в разработке учебных планов, создании материально-технической базы кафедры и её филиалов на лесопромышленных предприятиях Республики Марий Эл и Кировской области. Под его руководством было издано 12 учебных пособий и учебно-методических изданий по читаемым дисциплинам.

Справочные материалы, которые Е. М. Царёв подготовил в соавторстве с другими учёными в виде четырёх книг, широко применяются на лесозаготовительных предприятиях Республики Марий Эл и Российской Федерации. Они были отмечены дипломом III Общероссийского конкурса учебных изданий «Университетская книга – 2006». Одна из книг – «Дереворежущие инструменты» – была признана книгой года Республики Марий Эл 2006 года в номинации «Лучшее учебное издание» за серию справочных изданий по деревообработке.

В период с 2011 по 2024 год профессор Е. М. Царёв значительно активизировал свою научную и изобретательскую деятельность. Совместно с аспирантами, соискателями и студентами Института леса и природопользования, которые обучаются по направлениям подготовки бакалавров 35.03.02 и магистров 35.04.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств», он опубликовал 159 патентов на изобретения Российской Федерации, созданных по заказам лесопромышленных предприятий Приволжского федерального округа. Широта интересов и тематики по патентной деятельности юбиляра может быть видна из небольшого списка только из некоторых изобретений: устройства для химического ухода за лесом; пожарные грунтометры; машины для рубок ухода за лесом; способ разработки лесосек, поражённых низовыми пожарами, с обеспечением естественного возобновления сосны; устройство для измельчения древесины при рубках ухода в молодняках.

Евгений Михайлович Царёв – талантливый педагог, способный увлечь студентов творческим поиском и доступно направить аспирантов и соискателей на пути к решению научных задач. Его вклад в подготовку и развитие научных и инженерных кадров поистине неocenим.

Многочисленные изменения в федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования побудили Евгения Михайловича пересмотреть учебные планы направлений подготовки бакалавров 35.03.02 и магистров 35.04.02 «Технология лесозаготовитель-

ных и деревоперерабатывающих производств». Профессор Е. М. Царёв согласовывал перечень учебных дисциплин с руководителями лесопромышленных предприятий Приволжского федерального округа, учитывая актуальные проблемы технологических процессов в данной отрасли.

По читаемым дисциплинам на кафедре технологии и оборудования лесопромышленных производств (ТОЛП) Евгений Михайлович подготовил и опубликовал 11 учебных пособий в редакционно-издательском центре (РИЦ) ПГТУ и «Инфра-Инженерия» в Вологде.

За более чем 40-летнюю карьеру в вузе Евгений Михайлович Царёв внёс огромный вклад в подготовку квалифицированных специалистов для лесного комплекса Приволжского федерального округа и Пермского края. Он подготовил более 200 высококвалифицированных специалистов по специальностям «Лесоинженерное дело» и «Машины и механизмы лесной промышленности и лесного хозяйства», а также по направлению подготовки бакалавров и магистров «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Под его научным руководством в Марийском государственном техническом университете были успешно защищены две кандидатские диссертации: М. Н. Волдаева «Обоснование конструкции и параметров гравитационных торцевыравнивателей пачек брёвен», А. С. Сергеева «Повышение устойчивости земляного полотна лесовозных автомобильных дорог на косогорах (на примере Пермского края)».

Профессор Е. М. Царёв является членом диссертационных советов в Поволжском государственном технологическом университете и Казанском государственном технологическом университете.

Он также входит в состав Учёного совета Института леса и природопользования, научно-технического совета и методической комиссии ПГТУ, является уполномоченным представителем ФГУ «Росаккредитация» и членом экспертной комиссии программ «Участник молодёжного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) и «Старт», Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Евгений Михайлович осуществляет научное руководство аспирантами ПГТУ и соискателями других организаций по специальности 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства».

За свою карьеру он опубликовал более 440 научных работ, среди которых более 240 авторских свидетельств и патентов Российской Федерации, одна монография, 36 научных статей из перечня ВАК, 13 публикаций Scopus и 36 учебных пособий, в том числе два с грифом Минобразования Российской Федерации и 12 с грифом УМО по высшему лесоинженерному образованию.

Профессор Е. М. Царёв – не только известный учёный, педагог и изобретатель, но и талантливый поэт. За четыре пандемических года (2019–2023) он выпустил шесть сборников стихов в РИЦ ПГТУ:

«Не торопись, листая книгу жизни» (2019); «Здесь с детства всё до глубины знакомо» (2020); «Благое слово душу лечит» (2021); «Нам хочется туда, где жизнь брала начало» (2021); «Живу тобой, мой край любимый» (2021); «Время жизни течёт как река» (2023).

Под впечатлением от продолжительной осени уходящего високосного 2024 года он пишет:

Деревья сбросили листву.
Одни лишь зеленеют ели.
И днём, и ночью дождик льёт,
Как грязь и лужи надели!
Рябит свинцовая вода
В её холодной колыбели.
Порывы ветра рвут листву,
Изрядно руки задубели.
Всё небо тучи затянули.
За ними солнце отдыхает.
Вот только осень никогда
Сухой и тёплой не бывает.

Сегодня Евгений Михайлович Царёв находится в расцвете сил, и главным вдохновителем его таланта является многочисленная семья: любимая жена Ирина Николаевна, талантливые сыновья и невестки – Иван и Диана, Павел и Гузаль.

А его неутомимые внуки Алексей, Дмитрий, Амир и Лиза помогают ему развивать изобретательские и поэтические идеи.

Коллективы Института леса и природопользования и кафедры лесопромышленных и химических технологий сердечно поздравляют Евгения Михайловича Царёва с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, благополучия, творческих успехов и неиссякаемой энергии. Пусть его талантливые ученики достойно продолжают дело Изобретателя и Поэта – быть в науке и жизни честными, порядочными и ответственными.

УДК 630*378

85 лет Ботаническому саду-институту ПГТУ: от истоков создания к современным вызовам и новым перспективам

Л. А. Тимурғалиева

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

В апреле 1939 года в Йошкар-Оле произошло знаменательное событие – был основан Ботанический сад-институт Поволжского лесотехнического института имени М. Горького. Этот молодой вуз, основанный в июле 1932 года, стал центром подготовки квалифицированных специалистов для лесохозяйственной отрасли СССР [1]. Выпускники института могли быть направлены в любую точку нашей огромной страны, и каждый из них должен был обладать глубокими знаниями о лесообразующих породах, вне зависимости от климатических условий и разнообразия флоры различных географических регионов.

Проект будущего Дендрария был разработан и.о. доцента Б.М. Алимбеком, который привнёс в него свой богатый опыт, полученный в Раифском дендрарии, Липецкой лесостепной опытно-селекционной станции и Свердловском дендрарии. Б.М. Алимбек также был назначен заведующим Дендрарием, а общее руководство осуществлял заведующий кафедрой лесоводства и дендрологии ПЛТИ профессор М.В. Колпиков. Проект был одобрен 28 апреля 1939 года Советом лесохозяй-

ственного факультета, который в то время возглавлял доцент М.Д. Данилов (рис. 1).

Постановление Совета народных комиссаров Марийской АССР (№ 437-8) придало организации дендрологического сада и питомников всесоюзное значение как культурного центра, ставящего своей задачей систематическую постановку научных и учебно-показательных опытов для обогащения лесов Марийской АССР. Главлесоохране было разрешено передать Поволжскому лесотехническому институту территорию площадью 75,87 га.

В 1939 году для будущего Дендрария был отведён участок, который, по оценкам лесоводов того времени, представлял собой древостой, состоящий из лиственного леса и елово-пихтовой редины. Специалисты предполагали, что это позволит значительно сократить время, необходимое для создания учебной дендрологической базы для студентов. Параллельно начались работы по поиску и внедрению посадочного материала интродуцентов: семена и саженцы древесных растений завозились из разных уголков нашей страны [2].

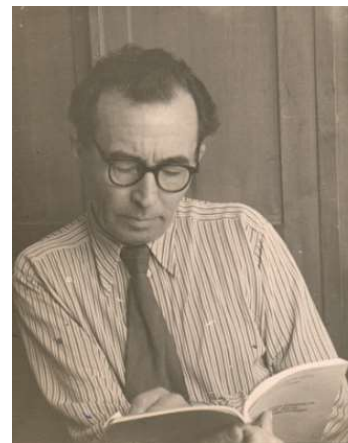
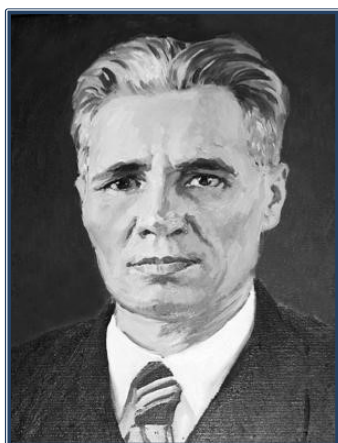


Рис. 1. Учёные, стоявшие у истоков организации Дендрария (слева направо): М. Д. Данилов, М. В. Колпиков, Б. М. Алимбек

Впоследствии, в 1972 году, в сборнике трудов ПЛТИ (№ 59), Б.М. Алимбек писал: «...ещё весной 1939 г. был заложен питомник, где посеяно 85 видов и посажено 27 видов экзотов. Осенью 1939 г. было завезено 211 семян и 215 саженцев, подготовлены посадочные места под мичуринские сорта плодовых. Весной 1940 г. было освоено 5,8 га, в том числе: 1,09 га питомника, 1,0 га плантации ив (21 вид) и тополей (25 видов), опытные культуры экзотов – 1,9 га, плодовый сад – 1,8 га и др. Летом была произведена вертикальная съёмка участка, инструментальная разбивка коллекционного отдела на подотделы, поставлен домик для охранника. Осенью завезено около 4 500 саженцев, в том числе культурные сорта роз, винограда, 20 сортов георгин и т.д., и общее число накопленных растений достигло 400 названий» [3].

В годы Великой Отечественной войны Дендрарий переключился на выращивание картофеля и овощей для столовой института, принимая при этом все возможные меры для сохранения накопленного фонда растений. Только с весны 1945 года работы Дендрария начали возвращаться в привычное русло, но из-за сложностей с финансированием его развитие осуществлялось крайне медленно. Однако, несмотря на это, производились посадки экзотов в коллекционном и других отделах, был заложен селекционный питомник, формировались коллекции травянистых декоративных растений, были построены оранжерея, одноэтажный каменный дом и создана изгородь. Учёные-лесоводы в послевоенное время работали, не покладая рук, строя, как и весь народ страны-победителя, светлое будущее для новых поколений.

Постепенно поле деятельности специалистов Дендрария стало расширяться. В 1962 году были запущены в эксплуатацию три секции оранжереи общей площадью 320 м². Из столичных ботанических садов было привезено 454 наименования растений, которые стали основой коллекции тропических и субтропических видов растений. Многие из них произрастают в Ботаническом саду-институте до сих пор. В весенний период того же года был разработан проект и начато создание новой экспозиции, посвящённой систематике растительного мира. Из запланированных 600 видов растений к концу года было успешно интродуцировано 364.

В 1968 году Дендросад был принят в состав Совета ботанических садов Урала и Поволжья, а 10 сентября 1974 года Постановлением Совета министров Марийской АССР № 604 территория Дендросада была объявлена республиканским памятником природы.

В феврале 1976 года на заседании кафедры лесоводства и дендрологии было одобрено первое изменение структуры насаждений Дендросада. В результате реорганизации произошло объединение парковой зоны и фитоценотического отдела, уменьшена площадь маточного отдела, а также принято решение о прекращении содержания участка плодового сада. В это время были запроектированы участки под коллекции древесных кустарников и травянистых многолетников, а для разработки рекомендаций по расширению коллекционного фонда Дендрария в 1980 году были приглашены московские специалисты из Главного ботанического сада АН СССР – Г.Н. Шапенкова и Э.И. Якушина. Только через сорок лет после основания сада был поставлен вопрос о разработке генерального плана территории с учётом сложившихся коллекций и экспозиций, с размещением зданий и сооружений, дорог, инженерной инфраструктуры и введением элементов благоустройства.

В 1984 году благодаря самоотверженной работе Любови Ивановны Котовой, руководителя Дендрария, и Василия Александровича Бочкарева, директора учебно-опытного лесхоза, были введены в эксплуатацию новый административно-лабораторный корпус, проложены водопровод и канализация, появилась асфальтированная дорога. Кроме того, значительно увеличилась площадь парникового хозяйства: впервые были созданы обогреваемые парники для вегетативного размножения растений, а также стационарная поливная система и здания хозяйственного назначения.

Деятельность Дендрария стремительно развивалась, и уже к 1989 году его коллекционные фонды насчитывали около 3 000 наименований растений, представляющих флору пяти континентов планеты. Дендрарий включал не только древесную флору, но и обладал обширной коллекцией травянистых растений, что стало основным аргументом для ходатайства о присвоении ему статуса Ботанического сада.

24 октября 1989 года по предложению М.М. Котова решением выездного заседания Совета ботанических садов Урала и Повол-

жя, Научно-методического совета Госкомобразования СССР по специальности 31.12 – «Лесное и садово-парковое хозяйство», при поддержке ректора МарПИ Г.С. Ощепкова, Дендросад был переименован в Ботанический сад Марийского политехнического института.

С течением времени росла необходимость не только в специалистах-лесоводах, но и в инженерах-озеленителях, которые могли бы создавать комфортную городскую среду и поддерживать эстетику и экологию урбанизированных территорий на высоком уровне. Поэтому возникла необходимость в подготовке инженеров-озеленителей по специальности «Садово-парковое и ландшафтное строительство», которая началась в 1991 году и ведётся по настоящее время уже по направлению «Ландшафтная архитектура». В связи с этим «новоиспечённый» Ботанический сад приобрёл статус учебной базы не только для инженеров в области лесного хозяйства и лесоводства, но и для ландшафтных архитекторов.

Успех и развитие любого дела, проекта, учреждения, организации зависит прежде всего от людей, которые с особым трудолюбием посвящали себя работе. Ботанический сад в этом вопросе – не исключение. В его становлении и развитии участвовало не одно поколение работников, специалистов и учёных, которые внесли значительный вклад в создание этого уникального пространства для изучения флоры нашей планеты.

В год 85-летия Ботанического сада особенно хочется вспомнить и почтить память тех, кто стоял у истоков его создания и способствовал его развитию.

По счастливой случайности каждый юбилей сада совпадает с юбилейными датами значимых для этой территории людей: в 2024 году исполнилось 120 лет со дня рождения Б.М. Алимбека, 95 лет со дня рождения В.И. Пчелина и 85 лет – М.М. Котову. Эти выдающиеся деятели науки являлись в разные годы существования сада его научными руководителями.

Бари Мухаммед-Шахович Алимбек успешно руководил Дендрарием, оставаясь до 1976 года его бессменным научным руководителем. На протяжении всей своей жизни он демонстрировал яркий талант педагога и организатора учебного процесса. Именно по его проекту в 1939 году закладывался дендрарий, который в настоящий момент превратился в

Ботанический сад-институт ПГТУ. В 1944 году он был утверждён в звании доцента кафедры лесоводства и дендрологии. Более трёх лет (1959–1962 гг.) он работал в должности декана лесохозяйственного факультета и более пяти лет (1966–1971 гг.) – заведующим кафедрой лесоводства и дендрологии. Будучи избранным в 1951 году председателем Марийского республиканского отделения Всероссийского общества охраны природы, Б.М. Алимбек многое сделал для сохранения природных богатств Марийского края, написав книгу по охране природы Республики Марий Эл [4].

В настоящий момент Ботанический сад-институт также является членом Всероссийского общества охраны природы в Республике Марий Эл. Свидетельство о вступлении было вручено 14 октября 2022 года в торжественной обстановке на территории сада у барельефов Б.М. Алимбека и М.М. Котова. Дата вступления, отмеченная в свидетельстве о членстве, оказалась весьма символичной. Именно в этот день в нашей стране отмечается День заповедного дела.

Жизнь Виктора Ильича Пчелина с 1948 года неразрывно связана с Поволжским лесотехническим институтом (ПЛТИ) и лесной отраслью (рис. 2). Важным аспектом деятельности Виктора Ильича Пчелина являлась педагогическая работа: он прошёл путь от ассистента (1956–1963 гг.) до профессора (1991–2008 гг.) Поволжского государственного технологического университета. Ведущий преподаватель дисциплин «Лесоведение», «Дендрология», «Дендрофлора и леса мира», «Древоводство», руководитель аспирантуры, член диссертационного Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций и Учитель с большой буквы!

С 1976 по 1983 годы в жизни Виктора Ильича Пчелина произошло важное событие – он занимал должность научного руководителя дендрологического сада МарПИ, ныне известного как Ботанический сад-институт ПГТУ. Под его руководством были разработаны проекты коллекционного дендрологического отдела, Популетума, Фрутицетума, Сирингария и других экспозиций. Кроме того, совершенствовалась методика наблюдений и научных отчётов, коллекции активно пополнялись, и многие растения были использованы в озеленении города Йошкар-Олы и других населённых пунктов.



Рис. 2. Пчелин Виктор Ильич

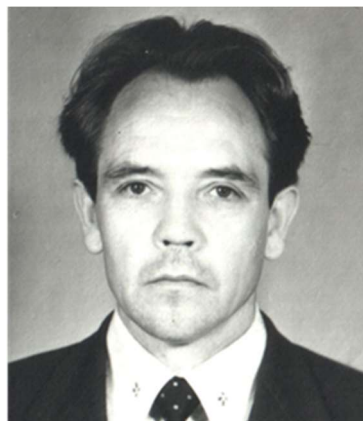


Рис. 3. Котов Михаил Михайлович



Рис. 4. Котова Любовь Ивановна

За время работы в качестве научного руководителя дендрологического сада Виктор Ильич собрал значительную коллекцию экзотических растений, многие из которых прошли длительную адаптацию и акклиматизацию к погодным условиям Среднего Поволжья. Теперь они успешно выращиваются как в Республике Марий Эл, так и в соседних регионах.

Виктор Ильич Пчелин продолжает активно взаимодействовать с Ботаническим садом, осознавая его ключевую роль в подготовке специалистов лесного профиля и, в особенности, в садово-парковом строительстве.

В апреле 1939 года был основан Дендрарий, ставший впоследствии Ботаническим садом-институтом ПГТУ. В том же году, в ноябре, родился выдающийся учёный-лесовод Михаил Михайлович Котов (рис. 3), чьё имя навсегда связано с этой территорией. Он внёс неоценимый вклад в развитие Ботанического сада и лесную науку.

Под руководством Михаила Михайловича в 1990 году было проведено лесоустройство, разработан генеральный план функционального зонирования и проекты новых коллекций и экспозиций. Также возобновилось ежегодное издание «Делектуса».

Когда в 1989 году благодаря усилиям Михаила Михайловича сад получил статус Ботанического, были сформированы семь новых лабораторий: дендрологии, цветоводства, тропических и субтропических растений, лекарственных, редких и исчезающих растений, генетики, селекции и семеноводства, внедрения, а также цех по изготовлению художественных изделий из лозы. В 2005 году была создана учебно-исследовательская лаборатория недревесных ресурсов и плантационного

выращивания лекарственных растений, а в 2006 году – передана лесобиологическая лаборатория.

Михаил Михайлович обладал глубокой теоретической подготовкой и широкой эрудицией, а также огромной работоспособностью, трудолюбием и внутренней дисциплиной. Он подготовил множество специалистов, которые до сих пор с теплотой и благодарностью вспоминают своего Наставника.

В разные годы многие люди внесли свой вклад в развитие Ботанического сада. Особую роль в его функционировании и развитии сыграла Любовь Ивановна Котова (рис. 4), которая работала в саду с 1965 года. Сначала она 10 лет трудилась дендрологом, а затем 38 лет – директором. В 2012 году Любовь Ивановна была награждена медалью ордена «За заслуги перед Марий Эл».

Огромный вклад в формирование коллекций и экспозиций сада внесли В.А. Крейер, Е.В. Васильев, А.Н. Автономов, Г.В. Мартынкина, А.В. Лисовская, Т.Г. Ефремова, М.И. Рябинин, Н.В. Шевченко и С.М. Лазарева.

4 июня 2008 года приказом ректора Романова Евгения Михайловича № 133-П на базе Ботанического сада был создан Ботанический сад-институт. Коллекции сада продолжали увеличиваться, проводились научные, образовательные и просветительские мероприятия. Появились новые экспозиции: участок коллекции дикоплодовых растений и партер с элементами топиарного искусства.

Ботанический сад-институт начал осуществлять научно-техническую работу по сохранению видового разнообразия редких и исчезающих растений на территории Республики Марий Эл. За период с 2013 по 2023 год

в природные популяции было возвращено 15 видов редких растений.

В эти годы проводились активные исследования, направленные на разработку научных основ интродукции растений в Республике Марий Эл и прилегающих регионах. Эти исследования включали методы оценки перспективности интродуцируемых видов растений с учётом их феноритмики, жизнеспособности и количественной оценки степени акклиматизации, а также анализа ряда физиологических, морфологических, декоративных и хозяйственных характеристик.

По инициативе и при поддержке ректора университета, профессора Е.М. Романова, в 2012–2014 годах при Ботаническом саду-институте были организованы Азяковский лесной декоративный питомник и тепличный комплекс. Было приобретено оборудование, машины и механизмы для выращивания сеянцев и саженцев с открытой и закрытой корневыми системами. Питомническое хозяйство увеличило выпуск и реализацию посадочного материала травянистых декоративных однолетних и многолетних растений, а также саженцев деревьев и кустарников для озеленения и лесовосстановления. В эти же годы удалось замкнуть контур данной особо охраняемой территории добротным забором.

В 2018 году Ботанический сад-институт ФГБОУ ВО «Поволжский государственный

технологический университет» стал особо охраняемой природной территорией федерального значения категории «дендрологические парки и ботанические сады». Важным вектором работы сада стало сохранение биологического разнообразия нашей планеты.

В настоящее время коллекции Ботанического сада-института ПГТУ насчитывают более 6 000 видов травянистых и древесных растений, а его площадь составляет 73,5 га [7].

Основная цель деятельности Ботанического сада-института ПГТУ заключается в создании, формировании и сохранении коллекций и экспозиций живых растений, гербарных образцов, банка семян, генетического материала растений *in vitro* и других ботанических объектов, имеющих важное научное, учебное, просветительское, профориентационное, хозяйственное и культурное значение. На базе сада разработаны модель и методика экологического образования, обеспечивающие непрерывность и стабильность этого процесса.

Кроме того, важной задачей сада является обобщение и систематизация многолетнего опыта в области интродукции, ботаники, экологии и селекции. Весь массив знаний, работ и результатов исследований нескольких поколений учёных должен быть успешно интегрирован в современную науку и отвечать на вызовы, стоящие перед ней.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Данилов М. Советский инженер: [о ПЛТИ] // Ревиз коммунист. 1941. 13 мая.
2. Колтиков М. В. Организация дендрологического сада лесотехнического института // Марийская правда. 1939. 18 августа.
3. Алимбек Б. М. Из истории дендрариума Марийского политехнического института им. М. Горького // Сб. тр. МПИ им. М. Горького. Йошкар-Ола: МПИ, 1972. № 59, вып. 3. С. 229–240.
4. Высшая лесная школа Поволжья: библиографический указатель трудов ученых факультета лесного хозяйства и экологии МарГТУ. Ч. 1 / сост. Г. П. Лаврова, О. В. Попова, А. А. Эскаева, Э. С. Емешова; предисл. Л. К. Яшиной. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. 296 с.
5. Серебрякова Н. Е., Тимургалеева Л. А. К 95-летию выдающегося учёного лесной науки и педагога Виктора Ильича Пчелина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2024. № 2 (62). С. 98–103. EDN: OXXXJV
6. Котов Михаил Михайлович / сост. Г. П. Лаврова, С. М. Лазарева. Материалы к биобиблиографии учёных. Серия «Ученые МарГТУ», вып. 19. Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. 71 с. EDN: QLAFIJ
7. Ботанический сад-институт ПГТУ: история, коллекции, исследования: монография / С. М. Лазарева, С. В. Мухаметова, Л. В. Сухарева и др. Йошкар-Ола: Стринг, 2014. 107 с. EDN: THIBKJ

УКАЗАТЕЛЬ МАТЕРИАЛОВ,
ОПУБЛИКОВАННЫХ
В ЖУРНАЛЕ В 2024 ГОДУ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Демаков Ю. П., Шейкина О. В., Шаратов Е. С., Королев А. С.** Использование параметров размерной структуры древостоев для оценки их текущего состояния и перспектив развития
- Дергунов Д. М., Воробьев О. Н., Курбанов Э. А., Лежнин С. А., Губаев А. В.** Оценка алгоритма «Случайный лес» машинного обучения для классификации фитомассы лесов
- Гудовских Ю. В., Езошина Т. Л., Бушуева Ю. О., Лугинина Е. А., Сорокина А. А.** Динамика демографической структуры и типов ценопопуляций *Cypripedium calceolus* L. в южнотаёжной подзоне
- Зонтиков Д. Н., Малахова К. В., Березина О. О.** Влияние макроэлементного состава среды WPM и регуляторов роста на морфогенез вегетативных и генеративных тканей сортовых форм голубики
- Костин П. И., Быковский М. А.** Новая технология отвода лесосек с применением беспилотных авиационных аппаратов и радиомаяков
- Котынова М. Ю., Ханявин А. И., Бессчётнова Н. Н., Бессчётнов В. П.** Пигментный состав хвои декоративных форм и сортов туи западной (*Thuja occidentalis*) в условиях Нижегородской области
- Мухаметова С. В.** Показатели качества плодов фундука (*Corylus*)
- Мухаметова С. В., Скочилова Е. А.** Параметры плодов жимолости и содержание в них аскорбиновой кислоты и дубильных веществ
- Мухомтов Д. И., Окач М. А., Майоров Н. Д.** Обеззараживание субстратов при выращивании сеянцев древесных пород в контейнерах
- Нуреев Н. Б.** Классификационное положение почв, развитых на пермских красноцветных отложениях под лесными насаждениями в условиях Республики Марий Эл
- Плюха Н. И., Усольцев В. А., Цепордей И. С.** Моделирование доли коры в фитомассе ветвей сосны обыкновенной в степной зоне
- Тагирова О. В., Иванов Р. С., Кулагин А. Ю.** Сезонная динамика содержания хлорофиллов в листьях берёзы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях промышленного загрязнения
- Тимаков А. А., Сергеев Р. В., Романов Е. М., Хусаинова А. Р., Краснов В. Г.** Введение в культуру in vitro зелёных неодревесневших черенков дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) разных возрастных групп
- Усольцев В. А., Плюха Н. И., Цепордей И. С.** Региональные особенности содержания сухого вещества во фракциях фитомассы деревьев сосны обыкновенной

LIST OF MATERIALS
PUBLISHED
IN THE JOURNAL IN 2024

FORESTRY

- Demakov Yu. P., Sheikina O. V., Sharapov E. S., Korolev A. S.** Using the Size Structure Parameters of Stands to Assess Their Current State and Development Prospects
- Dergunov D. M., Vorobev O. N., Kurbanov E. A., Lezhnin S. A., Gubaev A. V.** Estimation of the Random Forest Machine Learning Algorithm for Classification of Forest Phytomass
- Gudovskikh Yu. V., Egoshina T. L., Bushueva Yu. V., Luginina E. A., Sorokina A. A.** Dynamics of the Demographic Structure and Types of *Cypripedium Calceolus* L. Cenopopulations in the Southern Taiga Subzone
- Zontikov D. N., Malakhova K. V., Berezina O. O.** Influence of the Macroelement Composition of the WPM Medium and Growth Regulators on the Morphogenesis of Vegetative and Generative Tissues of Varietal Forms of *Vaccinium Angustifolium* Ait
- Kostin P. I., Bykovsky M. A.** A New Technology of Coupe Demarcation Using Unmanned Aerial Vehicles and Radiobeacons
- Kotynova M. Y., Khanyavin A. I., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P.** Pigment Composition of the Needles of Decorative Forms and Varieties of Western Thuja (*Thuja Occidentalis*) in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region
- Mukhametova S. V.** Quality Indicators of Hazelnut (*Corylus*) Fruits
- Mukhametova S. V., Skochilova E. A.** Parameters of Honeysuckle Fruits and the Content of Ascorbic Acid and Tannins in them
- Mukhortov D. I., Okach M. A., Mayorov N. D.** Disinfection of Substrates for Growing Containerized Tree Seedlings
- 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
- Plyukha N. I., Usoltsev V. A., Tsepordey I. S.** Modeling the Share of the bark in the Phytomass of Branches of Scots Pine in the Steppe Zone
- 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
- Timakov A. A., Sergeev R. V., Romanov E. M., Khusainova A. R., Krasnov V. G.** In vitro Culture Initiation of Green Cuttings of English Oak (*Quercus Robur* L.) of Different Age Groups
- Usoltsev V. A., Plyukha N. I., Tsepordey I. S.** Regional Peculiarities of Dry Matter Content in the Phytomass Fractions of Scots Pine Trees

Черных В. Л., Поваров Е. Д., Фёдоров С. В., Черных Л. В., Черных Д. В., Фомин А. С. Государственная инвентаризация лесов в Российской Федерации: изменчивость и точность определения запаса древесины

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

Асташевский М. С., Асташевская А. А., Быковский М. А. Программа по оптимизации схем раскря древесины хлыста породы сосна на пиловочные брёвна

Бурмистрова О. Н., Кручинин И. Н., Клевеко В. И. Оценка напряжённо-деформированного состояния дорожной одежды лесных дорог, усиленной геосинтетическими оболочками

Краснова В. Ф., Краснов В. Г., Шарапов Е. С., Петухов И. В., Анисимов П. Н. Физико-механические свойства древесно-цементных композитов на основе отходов оцилиндровки брёвен

Стешин И. С., Петухов И. В., Стешина Л. А., Танрывердиев И. О. Оценка точности решения простейших сенсорно-когнитивных задач оператором эргатических систем

Царёв Е. М., Рукомойников К. П., Анисимов И. С., Анисимов Н. С., Макаров В. Е., Анисимов П. Н. Модернизация технического оснащения участков отделения слоя бересты от луба

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

Ширнин Ю. А., Ширнин А. Ю., Денисов С. А., Петухов И. В., Анисимов П. Н. Обоснование технологии лесосечных работ в горельниках с содействием естественному восстановлению сосны

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

Ван И., Курбанов Э. А., Ша Д., Воробьёв О. Н., Ван Д., Держунов Д. М. Оценка экологического состояния лесных экосистем коридора Хэси с использованием временных рядов индекса RSEI

Переволоцкий А. Н., Переволоцкая Т. В. Прогнозирование радиационной обстановки и внешнего облучения работников лесного хозяйства при плотности загрязнения почвы ^{137}Cs 37–185 кБк/м²

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

Семакина А. В. Научно-методологические аспекты картографической визуализации данных о состоянии атмосферного воздуха

Тобо Б., Али В., Кармока Р., Махмуд А. Оценка таксационных показателей пихты киликийской в заповеднике «Пихта и Кедр» в Сирии

Chernykh V. L., Povarov E. D., Fedorov S. V., Chernykh L. V., Chernykh D. V., Fomin A. S. State Forest Inventory in the Russian Federation: Variability and Accuracy of the Growing Stock Estimation

FORESTRY TECHNOLOGIES AND MACHINES

Astashevsky M. C., Astashevskaya A. A., Bykovsky M. A. A Program for Optimizing the Patterns of Cutting Pine Tree Length Stems into Sawlogs

Burmistrova O. N., Kruchinin I. N., Kleveko V. I. Assessment of the Stress-Strain State of the Forest Road Pavement Reinforced with Geosynthetic Shells

Krasnova V. F., Krasnov V. G., Sharapov E. S., Petukhov I. V., Anisimov P. N. Physical and Mechanical Properties of Wood-Cement Composites Based on Log Rounding Waste

Steshin I. S., Petukhov I. V., Steshina L. A., Tanryverdiev I. O. Evaluating the Accuracy of Solving the Simplest Sensory-Cognitive Tasks by the Operator of Ergatic Systems

Tsarev E. M., Rukomojnikov K. P., Anisimov I. S., Anisimov N. S., Makarov V. E., Anisimov P. N. Modernizing Technical Equipment for Sections Separating Outer Birch Bark from Bast

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

Shirnin Yu. A., Shirnin A. Yu., Denisov S. A., Petukhov I. V., Anisimov P. N. Justification of the Technology of Logging Operations Promoting the Natural Regeneration of Pine in Burnt Areas

PROBLEMS IN ECOLOGY AND RATIONAL NATURE MANAGMENT. BIOTECHNOLOGIES

Wang Y., Kurbanov E. A., Sha J., Vorobyov O. N., Wang J., Dergunov D. M. Assessing the Ecological Health of Hexi Corridor's Forest Ecosystem Using RSEI Time Series

Perevolotsky A. N., Perevolotskaya T. V. Forecasting the Radiation Situation and External Exposure of Forestry Workers at a Soil Pollution Density of ^{137}Cs 37-185 kBq/m²

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

Semakina A. V. Scientific and Methodological Aspects of the Cartographic Visualization of Data on the State of Atmospheric Air

Tobo B., Ali W., Karmoka R., Mahmoud A. Estimation of Kiliki fir dendrometry variables in the Shuh and Cedars Reserve of Syria

Холопцев А. В. Изменения повторяемости сухих гроз при современном потеплении климата на примере некоторых районов Якутии и Красноярского края

2

ДАТЫ. СОБЫТИЯ. КОММЕНТАРИИ

Войтко П. Ф. К 70-летию учёного, изобретателя и педагога Царёва Евгения Михайловича

4

Рекомендации парламентских слушаний по теме «Лесное семеноводство как основа интенсификации воспроизводства лесов».

1

Серебрякова Н. Е., Тимурғалиева Л. А. К 95-летию выдающегося учёного лесной науки и педагога Виктора Ильича Пчелина

2

Тимурғалиева Л. А. 85 лет Ботаническому саду-институту ПГТУ: от истоков создания к современным вызовам и новым перспективам

4

Kholoptsev A. V. Changes in the Recurrence of Dry Thunderstorms under Modern Climate Warming on the Example of Some Regions of Yakutia and Krasnoyarsk Krai

DATES. EVENTS. COMMENTS

Voitko P. Ph. To the 70th anniversary of the scientist, inventor and teacher Evgeny M. Tsarev

Recommendations of the Parliamentary Hearings on the theme "Forest seed production as a basis for the intensification of forest regeneration"

Serebryakova N. E., Timurgalieva L. A. To the 95th anniversary of the outstanding forest scientist and educator Victor Ilyich Pchelin

Timurgalieva L. A. The Botanical Garden-Institute of Volga State University of Technology turns 85 years old: from the origins to modern challenges and new perspectives

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 ПГТУ: <http://journals.volgatech.net/?journal=forest>

Подписка на журнал осуществляется по интернет-каталогу «Пресса России» (подписной индекс 42920, тематический указатель Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов).