

ISSN 0536-1036

DOI: 10.37482/0536-1036

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

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

6/378

2020

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ISSN 0536-1036

DOI: 10.37482/0536-1036

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY
NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

Lesnoy Zhurnal

(Russian Forestry Journal)

Scientific peer-reviewed journal

Established in 1833
Issued as part of the
“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958
Published 6 times a year

6/378

2020

PUBLISHER: NORTHERN (ARCTIC)
FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

EDITORIAL BOARD:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Л.В. Ветчинникова, А.Ф. Титов. О границах ареала карельской березы.....	9
А.В. Дунаев, С.В. Калугина, Е.Н. Дунаева, А.С. Коротких, А.Ю. Курской, М.А. Польшина. Жизнеспособность дубовых древостоев юго-запада Среднерусской возвышенности, пораженных <i>Polyporaceae</i>	22
М.М. Улитин, В.П. Бессчетнов. Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>) при интродукции в Нижегородской области.....	33
В.Ф. Ковязин, К.П. Виноградов, А.А. Киценко, Е.А. Васильева. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев...	42
В.А. Чадаева, Р.Х. Пшегусов. Семенное возобновление самшита колхидского (<i>Vixus colchica</i> Rojark.) в условиях эпифитотии самшитников.....	55
Н.А. Дружинин, Ф.Н. Дружинин, Д.М. Корякина, С.В. Цыплев, О.В. Чухина. Результаты и оценка многолетней интродукции на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района.....	74
В.В. Танюкевич, А.С. Рулев, В.В. Бородычев, С.В. Тюрин, Д.В. Хмелева, А.А. Кваша. Продуктивность и природоохранная роль полезащитных лесонасаждений <i>Robinia pseudoacacia</i> L. Прикубанской равнины.....	88
О.С. Залывская, Н.А. Бабиц. Оценка декоративности насаждений.....	98
О.В. Грибачева, А.И. Чернодубов. Изменчивость высоты дуба черешчатого (<i>Quercus robur</i> L.) и клена остролистного (<i>Acer platanoides</i> L.) в полезащитной полосе.....	111
С.Б. Селянина, В.Г. Татаринцева, И.Н. Зубов, Н.А. Кутакова, Т.И. Пономарева. Пигментный состав <i>Sphagnum fuscum</i> заболоченных территорий в условиях техногенного воздействия.....	120

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

М.А. Пискунов. Особенности российского рынка лесозаготовительной техники	132
К.П. Рукомойников, В.О. Купцова, Т.В. Сергеева. Математическая модель расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» при выполнении лесохозяйственных работ.....	148

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Н.Н. Синицын, Н.В. Телин. Математическое моделирование процесса сушки древесной коры.....	159
В.И. Мелехов, И.И. Соловьев, Т.В. Тюрикова, Н.В. Пономарева. Повышение устойчивости дереворежущих пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне.....	172

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Н.В. Черная, Н.И. Богданович, С.В. Карпова, О.А. Мисюров.* Применение карбамидоформальдегидного олигомера для улучшения качества бумажно-картонной продукции..... 182

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- О.В. Скуднева, С.В. Коптев, С.В. Иванцов.* Навигационно-пилотажная система беспилотного летательного аппарата для мониторинга лесных пожаров... 194
- Указатель статей за 2020 г..... 204
-



CONTENTS

FORESTRY

<i>L.V. Vetchinnikova, A.F. Titov.</i> Update on the Boundaries of the Curly Birch Range.....	9
<i>A.V. Dunaev, S.V. Kalugina, E.N. Dunaeva, A.S. Korotkih, A.Yu. Kurskoy, M.A. Polshina.</i> Oak Stands Affected by <i>Polyporaceae</i> and Their Viability in the South-West of the Central Russian Upland.....	22
<i>M.M. Ulitin, V.P. Besschetnov.</i> Comparative Assessment of Valuation Indicators of Siberian Larch (<i>Larix sibirica</i>) Forest Plantations when Introduction into the Nizhny Novgorod Region.....	33
<i>V.F. Kovyazin, K.P. Vinogradov, A.A. Kitcenko, E.A. Vasilyeva.</i> Airborne Laser Scanning for Clarification of the Valuation Indicators of Forest Stands.....	42
<i>V.A. Chadaeva, R.H. Pshegusov.</i> Seed Regeneration of <i>Buxus colchica</i> Pojark. under the Conditions of Epiphytotics of Boxwood Forests.....	55
<i>N.A. Druzhinin, F.N. Druzhinin, D.M. Koryakina, S.V. Tsypilev, O.V. Chukhina.</i> Results and Assessment of Long-Term Introduction to Specially Protected Natural Areas of the South Taiga Zone.....	74
<i>V.V. Tanyukevich, A.S. Rulev, V.V. Borodychev, S.V. Tyurin, D.V. Khmeleva, A.A. Kvasha.</i> Productivity and Environmental Role of Forest Shelterbelts of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. of the Kuban Lowland.....	88
<i>O.S. Zalyvskaya, N.A. Babich.</i> Assessment of Plantations Ornamentality.....	98
<i>O.V. Gribacheva, A.I. Chernodubov.</i> Distribution of English Oak (<i>Quercus robur</i> L.) and Norway Maple (<i>Acer platanoides</i> L.) with Height in a Shelterbelt.....	111
<i>S.B. Selyanina, V.G. Tatarintseva, I.N. Zubov, N.A. Kutakova, T.I. Ponomareva.</i> Pigment Composition of <i>Sphagnum fuscum</i> of Wetlands under Anthropogenic Impact.....	120

LOGGING TECHNOLOGIES

<i>M.A. Piskunov.</i> Features of the Harvesting and Logging Equipment Market in Russia	132
<i>K.P. Rukomojnikov, V.O. Kuptcova, T.V. Sergeeva.</i> A Mathematical Model of Fuel Consumption for the Forwarder Amkodor-2682 When Performing Forestry Operations.....	148

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>N.N. Sinitsyn, N.V. Telin.</i> Mathematical Modeling of the Bark Drying Process.....	159
<i>V.I. Melekhov, I.I. Solovov, T.V. Tyurikova, N.V. Ponomareva.</i> Improving the Stability of Wood-Cutting Saws by Thermoplastic Action on the Distribution of Residual Stresses in the Blade.....	172

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- N.V. Chornaya, N.I. Bogdanovich, S.V. Karpova, O.A. Misyurov.* Application of Urea-Formaldehyde Oligomer for Quality Improvement of Paper and Cardboard Products..... 182

BRIEF SUMMARIES AND EXPERIENCE EXCHANGE

- O.V. Skudneva, S.V. Koptev, S.V. Ivantsov.* Navigation and Piloting System of Unmanned Aerial Vehicle for Forest Fire Monitoring..... 194
- Index of Articles Published in the Russian Forestry Journal in 2020..... 204
-



УДК 582.632.1:581.52

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-9-21

О ГРАНИЦАХ АРЕАЛА КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ

Л.В. Ветчинникова¹, д-р биол. наук, доц., гл. науч. сотр.; ResearcherID: [J-5665-2018](https://orcid.org/0000-0003-2091-905X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-905X>

А.Ф. Титов^{2,3}, чл.-кор. РАН, д-р биол. наук, проф., гл. науч. сотр.;

ResearcherID: [A-6705-2014](https://orcid.org/0000-0001-6880-2411), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-2411>

¹Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: vetchin@krc.karelia.ru

²Институт биологии Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910

³Отдел комплексных научных исследований Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: titov@krc.karelia.ru

В статье приводятся сведения об использовании наиболее известных принципов, применяемых при картировании мест нахождения природных популяций карельской березы *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti – одного из самых интересных представителей лесной дендрофлоры. На основании обобщения и анализа накопленных за последние почти 100 лет литературных данных, а также собственных натурных исследований, выполненных в последние десятилетия практически на всей территории естественного произрастания карельской березы, сделан вывод, что границы ее ареала, выделенные в середине прошлого века и по сути с тех пор не пересматривавшиеся, не отражают современную ситуацию. Указаны основные факторы и причины, определяющие необходимость их пересмотра. При этом для установления местоположения границ ареала предлагается использовать популяционный подход, а в качестве ключевого звена – величину критической численности природных популяций, ниже которой их длительное существование становится невозможным. В рамках такого подхода границы ареала зависят от границ локальных популяций (а не местоположения отдельных деревьев или небольших групп деревьев), численность которых не должна быть ниже критической величины, предположительно составляющей для карельской березы порядка 100–500 деревьев. Представлена картосхема ареала карельской березы, границы которого определены с помощью указанного подхода. Особое внимание уделяется вопросу установления величины минимальной численности популяций, необходимой для сохранения их генетического разнообразия. Рассмотрены преимущества использования популяционного подхода для определения границ ареала карельской березы с обязательным учетом ее биологических особенностей, который, по мнению авторов, позволяет более точно фиксировать местоположение границ ареала; отражает естественную историю формирования таксона (хотя еще не получившего официально статус самостоятельного вида) и его ареала; без серьезных затруднений может быть скорректирован (например, в зависимости от масштабов реинтродукции) и окажется полезным при выработке стратегии природоохранных и других мероприятий, направленных на сохранение и воспроизводство этого уникального представителя лесной дендрофлоры.

Для цитирования: Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. О границах ареала карельской березы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 9–21. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-9-21

Финансирование: Осуществлялось из средств федерального бюджета в рамках выполнения государственного задания ФИЦ КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН, Институт биологии КарНЦ РАН и Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН).

Ключевые слова: карельская береза *Betula pendula* Roth. var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, ареал, численность популяций, северо-западная часть континентальной Европы.

Род *Betula* L. имеет обширный ареал в Северном полушарии, главным образом в умеренной и холодной частях Евразии и Северной Америки, и характеризуется значительным разнообразием. На северо-западе континентальной Европы наиболее часто встречаются береза повислая (*Betula pendula* Roth.), береза пушистая (*B. pubescens* Ehrh.) и береза карликовая (*B. nana* L.). Но одним из самых интересных представителей аборигенной дендрофлоры этого макрорегиона является карельская береза (*Betula pendula* Roth. var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti). Она не только появилась на данной территории, но и здесь сформировался ее ареал. Синэкологический оптимум карельской березы по сравнению с березой повислой и березой пушистой [22] отличается, прежде всего ее отношением к световому фактору (к уровню освещенности) [4, 8, 9, 24, 41]. Особенно важно, что карельская береза обладает оригинальной высокоценной узорчатой текстурой древесины и особыми физико-механическими свойствами, чем на протяжении не менее 500 лет привлекает к себе повышенное внимание людей. Очевидно, что биологические особенности и полиморфизм карельской березы позволили ей закрепиться на данной территории, природно-климатические условия которой способствовали не только ее появлению, но и сохранению [5]. Однако в настоящее время она считается редким растением на Земле. Более того, в соответствии с Красной книгой Российской Федерации и Красным списком МСОП (Международного союза охраны природы), или IUCN (International Union for Conservation of Nature) она отнесена к категории 2(EN), т. е. к числу исчезающих (Endangered), находящихся в опасном состоянии видов [12, 13]. При изучении редких видов растений важное значение имеет установление их ареалов в географическом пространстве, поскольку все основные эколого-биологические свойства конкретных видов, как правило, определяются центром их происхождения, климатом и характером почвенных условий на основной территории их распространения. Поэтому анализ и картография ареала редких и исчезающих видов – это важная составляющая в общей системе охраны.

Обобщенные данные об ареале карельской березы появились в 50–60-х гг. прошлого века первоначально в работах ученых из стран Северной и Центральной Европы: Швеции [38], Чехии [34, 45] и Германии [44] (рис. 1, А–Г). Восточная часть ареала в них была представлена в соответствии с описаниями советского ученого-лесоведа Н.О. Соколова [24] – первооткрывателя карельской березы в России. В более поздних работах многие авторы, включая российских [9, 31, 32, 42], приводят картосхему ее ареала, опубликованную ранее Е. Вацлавом [45] (рис. 1, Г).

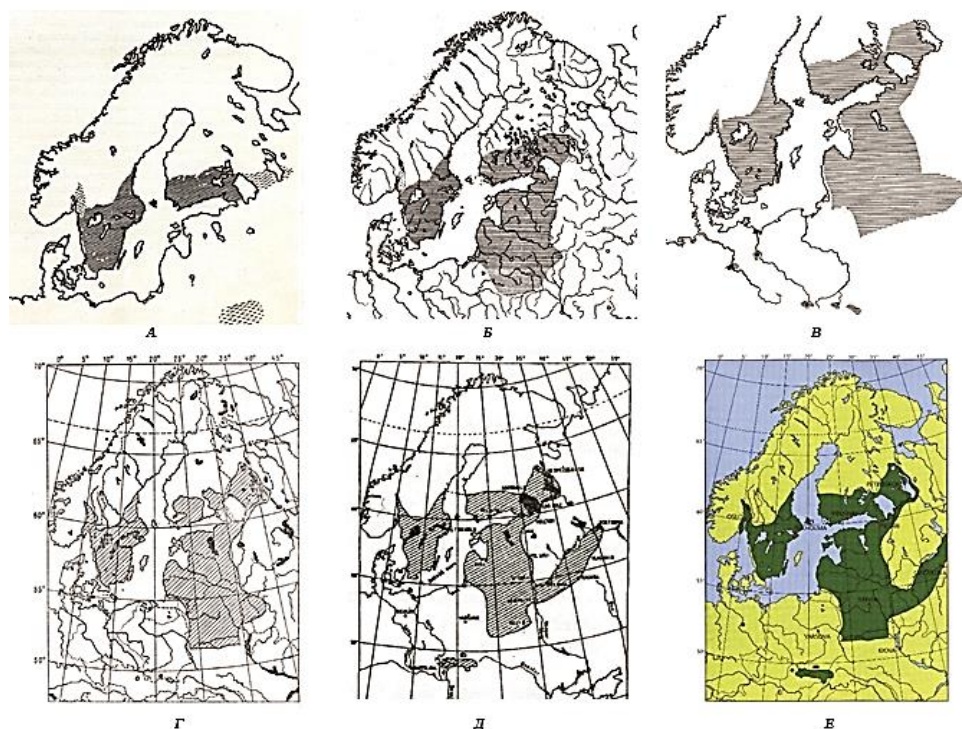


Рис. 1. Ареал карельской березы: *A* – по Lindquist, 1954 г.; *Б* – по Hejtmánek, 1957 г.; *Б* – по Scholz, 1963 г.; *Г* – по Václav, 1963 г.; *Д* – по Pagan, Paganová, 1994 г.; *Е* – по: Kosonen et al., 2004 г.; Hagqvist, Mikkola, 2008 г.

Fig. 1. The range of curly birch: *A* – according to Lindquist, 1954; *Б* – according to Hejtmánek, 1957; *Б* – according to Scholz, 1963; *Г* – according to Václav, 1963; *Д* – according to Pagan and Paganová, 1994; *Е* – according to Kosonen et al., 2004; Hagqvist and Mikkola, 2008

На одной из первых картосхем, предложенной в 1954 г., карельская береза была отмечена только в Швеции и Финляндии, предположительно на границе с Норвегией, в России (Республика Карелия) и Беларуси. Вероятность ее произрастания на территории других стран оставалась на тот момент под вопросом (рис. 1, *A*). В течение следующего десятилетия ареал карельской березы был расширен за счет добавления территорий, соответствующих современным Эстонии, Латвии, Литве, Чехии и Словакии (рис. 1, *Б–Г*) [34, 44, 45]. Отдельные деревья были обнаружены в Германии. В 90-е годы некоторые уточнения в местоположение границ ареала карельской березы были внесены словацкими учеными (в результате включения ряда территорий в России, в частности находящихся в Смоленской, Костромской, Владимирской и Калужской областях, на основании русскоязычных публикаций) [40], а в 2000-е – финскими [33, 37] (рис. 1, *Д, Е*).

Первоначально для изображения ареала карельской березы большинство исследователей использовали так называемый оконтуренный метод, внутри которого штриховкой отражали частоту встречаемости: «часто – относительно часто – редко» (рис. 2, *A*). Позднее стали применять точечный метод с нанесением на картосхему конкретных мест произрастания карельской березы с цифровыми обозначениями количества деревьев [8, 21] (рис. 2, *Б, В*). В отдельных случаях точечный ареал был оконтурен [40] (рис. 2, *Г*).

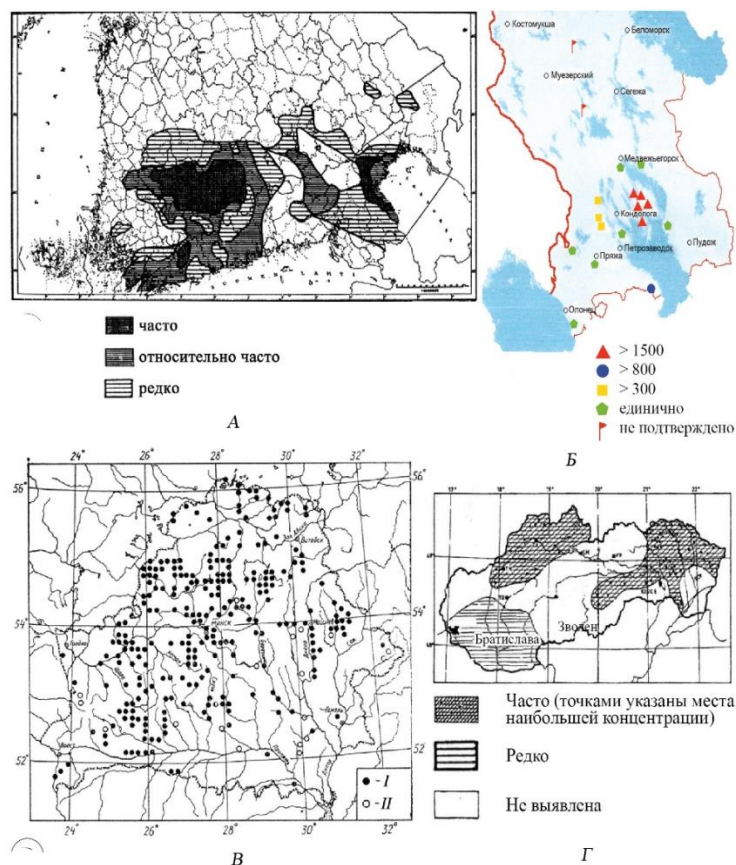


Рис. 2. Разные методы изображения ареала карельской березы в его северной (А, В) и южной (В, Г) частях: А – оконтуренный, внутри которого штриховкой отображена информация о частоте встречаемости карельской березы в Финляндии (по Heikinheimo, 1933 г. цитирование по Hagqvist, Mikkola, 2008 г.); В – точечный метод с нанесением конкретных мест произрастания и с цифровыми обозначениями количества деревьев в России (по Ветчинниковой и др., 2013 г.); В – то же в Республике Беларусь (по Побирushко, 1992 г., где I – по данным автора; II – по литературным источникам); Г – точечный ареал оконтурен в Словакии (по Pagan, Paganová, 1994 г.)

Fig. 2. Different methods of depicting the curly birch range in its northern (A, B) and southern (B, Г) parts: А – contoured, inside which information on the frequency of the birch occurrence in Finland is shown by hatching (according to Heikinheimo, 1933: cited by Hagqvist and Mikkola, 2008); В – point contact method with inserting the specific habitats and designations of the number of trees in Russia (according to Vetchinnikova et al., 2013); В – the same in the Republic of Belarus (according to Pobirushko, 1992; where I – according to the author's data; II – according to literature references); Г – point range was contoured in Slovakia (according to Pagan and Paganová, 1994)

В целом сведения об ареале карельской березы, опубликованные в разные годы прошлого века, основаны, как правило, на разных источниках, в которых указаны далеко не все показатели, необходимые для его полной характеристики.

Специальные исследования, отражающие динамику пространственного распределения карельской березы и факторы, регулирующие ее численность в ареале, до сих пор не проводились.

За истекшие десятилетия после выхода публикаций об ареале карельской березы нам, благодаря целому ряду международных экспедиций (в Данию, Швецию, Финляндию, Латвию, Литву, Польшу, Германию, Беларусь), удалось заметно расширить географию натурных исследований карельской березы в границах ее ареала. Было также продолжено изучение состояния ее ресурсов в Республике Карелия (на территории ее наибольшего распространения в России), Ленинградской и Смоленской областях. Это позволило собрать значительный фактический материал, дающий возможность с большей точностью оценивать состояние ресурсов карельской березы практически на всем протяжении ее ареала, а также прийти к заключению, что его границы, выделенные ранее, не соответствуют современному положению дел и, следовательно, требуют пересмотра, необходимость которого определяется следующими факторами и причинами:

1. Для карельской березы характерны дизъюнктивный ареал и нестабильность его границ не только в отдельных странах, но и на всей территории ее распространения. Необходимо учитывать, что в пределах выделенных территорий карельская береза растет не повсеместно, а фрагментированно, и имеет конкретную локализацию.

2. За последние десятилетия наблюдается резкое уменьшение общего количества деревьев карельской березы вплоть до полного исчезновения в отдельных странах и регионах. Прежде всего на это повлиял антропогенный фактор: массовые и выборочные рубки деревьев (зачастую неконтролируемые), нарушение (и даже исчезновение) характерных мест обитания (например, вследствие урбанизации), некоторые агротехнические мероприятия (такие как обработка территорий ядохимикатами), а также зарастание открытых мест лесными породами с более высокой по сравнению с карельской березой конкурентоспособностью.

3. Произошло резкое снижение эффективной численности популяций карельской березы, которая в отдельных регионах приблизилась к критической.

4. В настоящее время в природных популяциях карельской березы преобладают деревья, по возрастной структуре соответствующие средней и поздней генеративной стадии развития.

5. У карельской березы практически повсеместно отсутствует жизнеспособный подрост, что свидетельствует о нарушении стабильности популяций.

6. В небольших и/или фрагментированных популяциях, которые характерны для карельской березы, наблюдается ограничение в количестве опылителей, что влечет за собой несвойственные ей самоопыление и/или интрогрессию.

Указанные выше факторы и причины привели к существенному сокращению общей площади, занимаемой карельской березой, и в значительной степени повлияли на продолжительность жизни ее отдельных локальных популяций. Отсюда закономерно вытекает вывод о сокращении ее ареала и изменении его границ. Кроме того, становится очевидным и то, что устойчивое существование

карельской березы, которая находится во многих частях ареала на грани исчезновения, и соответственно ее географический ареал может поддерживаться только за счет ее локальных популяций, причем если они достаточно крупные. Именно поэтому в данной работе рассматривается вопрос о минимальной численности популяции, а для выявления границ ареала карельской березы использован популяционный подход, учитывающий вместе с тем особые биологические характеристики и специфику размножения этого уникального представителя лесной дендрофлоры [7].

Как нам представляется, ключевым звеном при установлении границ популяций может выступать величина их критической численности, ниже которой их длительное существование становится невозможным. К сожалению, точных данных о критических величинах численности популяций в литературе нет, а приводимые значения варьируют в широких пределах. Обычно при определении критической численности учитывают не все особи, а только те, которые активно участвуют в процессе воспроизводства и составляют так называемую эффективную численность популяций. Поскольку в популяции часть особей может находиться в пре- или постгенеративной стадии развития, то эффективная численность, как правило, значительно меньше общей. У карельской березы, как показали исследования последних десятилетий, большинство деревьев в природных популяциях, особенно в северной части ее ареала, являются спелыми или даже перестойными, т. е. находятся на поздней генеративной и даже постгенеративной стадии развития [6]. Добавим к этому, что эффективная численность популяций может резко снижаться под влиянием тех или иных неблагоприятных факторов и приближаться к критической [1–3, 25–27, 29]. Опасным отрицательным последствием для перекрестноопыляемых видов становятся в данном случае близкородственные скрещивания (инбридинг). Популяция при этом становится все более гомозиготной. С увеличением же гомозиготности даже на 10 % общая репродуктивная способность популяции может снизиться на 25 % [25]. К тому же в малых по численности популяциях существует достаточно высокая вероятность случайной утери редких аллелей, которые в новом поколении могут отсутствовать уже у половины деревьев [3, 20]. На основании экспериментальных исследований с животными М. Сулей [25] пришел к заключению, что допустимая степень инбридинга в популяции не должна превышать 1 %. Это соответствует размерам генетически эффективной численности популяции, представленной 50 особями. Исходя из этого Я. Франклин [26] определил реальную (общую) величину популяции, обеспечивающую ее надежное выживание, – не менее 500 индивидуумов.

Отдельные работы, касающиеся минимальной численности популяций, имеются также и в ботанической литературе. Так, Сейболд (Seybold, 1980 г. [15]) на основании статистической обработки данных по 4451 местообитанию травянистых растений предложил выделять 5 типов популяций по количеству в них особей: I – 1; II – 2–5; III – 6–20; IV – 21–100; V – более 100. При этом большинство изученных популяций соответствовали III и V типам. Другую градацию предложили Урбанска и Ландольт [47]. По их мнению, «наиболее мелкие популяции» должны включать примерно 15 особей; «маленькие» – не более 40; «средние» – от 41 до 70; «крупные» – от 71 до 100; «очень большие» – более 100. Понятно, что подобное разделение популяций на те или иные группы носит условный характер, а общая численность популяции для разных

видов будет заметно различаться в зависимости от их биологических особенностей. Например, З.Х. Шигапов [28] показал, что для воспроизводства генетических ресурсов сосны обыкновенной на лесосеменных плантациях достаточно использовать 150 генотипов, чтобы сохранить почти 93 % от общего числа выявленных аллелей. При возрастании числа деревьев до 200 шт. аллельное разнообразие увеличивалось всего на 2 аллеля, в дальнейшем появление одного нового аллельного варианта обнаруживалось только через каждые 50 дополнительных деревьев.

По мнению Коски (Koski, 1995 г. [30]), сохранение всех возможных аллелей разных генов у березы возможно в популяции, включающей 500 деревьев. При этом для сохранения популяций, равнозначных природным, он рекомендует отбирать десятки (не уточняя сколько именно) плюсовых клонов из разных локальных популяций. По данным Веллингса с соавт. [46], в Финляндии количество клонов на одной семенной плантации (находящейся внутри пленочной теплицы) варьирует от 33 до 50, изредка насчитывая только два клона. В Германии семенные плантации березы включают не менее 30 деревьев, а в крупногабаритных теплицах, как правило, – 100 различных генотипов [36].

Однако для экспериментального нахождения эффективной численности популяций у лиственных древесных пород существуют определенные трудности. В частности, двойное оплодотворение, характерное для них, и отсутствие гаплоидной ткани в семенах (в отличие от хвойных пород, где имеется гаплоидный эндосперм) затрудняют изучение системы скрещивания и не позволяют разделить материнский и отцовский вклад в генотип потомка [3, 19]. Поэтому популяционно-генетические работы, как правило, ограничиваются только анализом генетического разнообразия и установлением уровня инбридинга.

Наблюдения за популяциями карельской березы, которые ведутся в Республике Карелия с определенной периодичностью на протяжении почти 100 лет, также указывают на важность сохранения относительно большой численности ее популяций. Низкая численность вида, как известно, почти всегда свидетельствует о его уязвимости. На примере природной популяции, расположенной в Медвежьегорском районе Республики Карелия (ботанический заказник «Анисимовщина»), с большой долей уверенности можно говорить о том, что при численности деревьев в 2–3 тыс. популяция существует стабильно на протяжении длительного времени [8].

Следует отметить, что особенностью карельской березы является ее низкая конкурентоспособность по сравнению с другими быстрорастущими лесными породами, вследствие которой к 30–40 годам при возрастании плотности древостоя она начинает уступать в развитии другим деревьям и, как правило, постепенно полностью выпадает из насаждения. По этой причине долгое время считалось, что предельный возраст карельской березы составляет не более 50–60 лет [10, 39]. Обследование природных популяций, проведенное нами в последние годы, показало, что на всей территории ареала карельской березы встречаются деревья, возраст которых 100 лет и более. Это означает, что ее цикл развития не является столь коротким, как считалось ранее. Можно предположить, что в условиях слабого влияния конкурентных отношений численность популяций карельской березы в 100–500 особей вполне способна обеспечить ее выживание и сохранность в течение нескольких поколений.

Но в случае более сильного влияния конкурентных отношений потребуется существенно бо́льшая численность популяции, возможно, от 1 тыс. деревьев и более.

Необходимо также иметь в виду, что конкретные места нахождения локальных популяций карельской березы зачастую значительно удалены друг от друга, а обмен пыльцой не происходит или затруднен не только между растениями разных популяций, но даже в пределах одной популяции, поскольку рядом растущие деревья являются преградой на пути ее распространения. Более того, жизнеспособность пыльцы у березы, как и у большинства видов древесных, резко падает с увеличением времени и дальности расстояния. Также далеко не все семена березы достигают подходящих для их развития микроклиматических условий, а их всхожесть заметно ослабевает уже на следующий год. Добавим, что из-за низкой эффективной численности у карельской березы наблюдается ограничение и в количестве опылителей. Кроме того, при ее совместном произрастании с березой повислой, березой пушистой или другими видами березы между ними возможна гибридизация (несмотря на тетраплоидность березы пушистой), но при устранении обычно существующей фенологической изоляции, что периодически происходит в отдельные годы [5]. Подтверждением этого служат, к примеру, результаты изучения гибридного потомства [35], а также степени генетической дифференциации разных видов березы, полученные с помощью молекулярно-генетических методов [16, 43, 48].

Из совокупности представленных выше данных и соображений вытекает, на наш взгляд, вполне очевидный вывод о том, что ареал карельской березы, границы которого были описаны еще в прошлом столетии, к настоящему времени не соответствует реальному положению дел, поскольку он является фрагментированным, а не сплошным, а также не отражает произошедшее за последние 50–70 лет значительное сокращение численности карельской березы и занимаемой ею территории.

Стоит отметить, что в отдельных странах Северной Европы, например в Швеции и Дании, в настоящее время активизировались работы по воспроизводству ресурсов карельской березы. Масштабная реинтродукция осуществлена в Финляндии: согласно статистике, с 1984 г. общая площадь искусственных насаждений карельской березы достигла более 5 тыс. га [33]. Выращивается большое количество сеянцев местного происхождения, которые используются в качестве посадочного материала, в том числе поставляемого на экспорт. Однако искусственные насаждения (включая лесные культуры, плантации), как правило, создаются за счет посадочного материала, полученного от ограниченного числа деревьев, что неизбежно ведет к снижению генетического полиморфизма и, как следствие, к уменьшению их устойчивости [11, 17, 28].

Исходя из всего вышеизложенного, мы полагаем, что при определении границ ареала карельской березы наиболее корректным является популяционный подход. В соответствии с ним линия границ будет объединять не отдельные географические точки, где были обнаружены единичные деревья (или небольшие группы деревьев) карельской березы, а места нахождения ее локальных популяций, количество деревьев в которых составляет не менее 100–500 шт. Вполне естественно, что границы ареала карельской березы в этом случае

существенно изменятся, а его площадь сократится. Хотя понятно, что если на территории, где ранее произрастала карельская береза, будет осуществлена достаточно масштабная ее реинтродукция с помощью посадочного материала местного происхождения, то такую территорию необходимо «возвращать» в границы ее ареала (рис. 3). Когда же посадочный материал имеет неместное происхождение, растения вновь созданных насаждений следует считать интродуцентами без включения занимаемой ими территории в естественный ареал. К ним, например, можно отнести территории Латвии и Украины, где в 70-е гг. XX в. активно велись работы по созданию культур карельской березы из семян карельского происхождения [14, 18, 23].

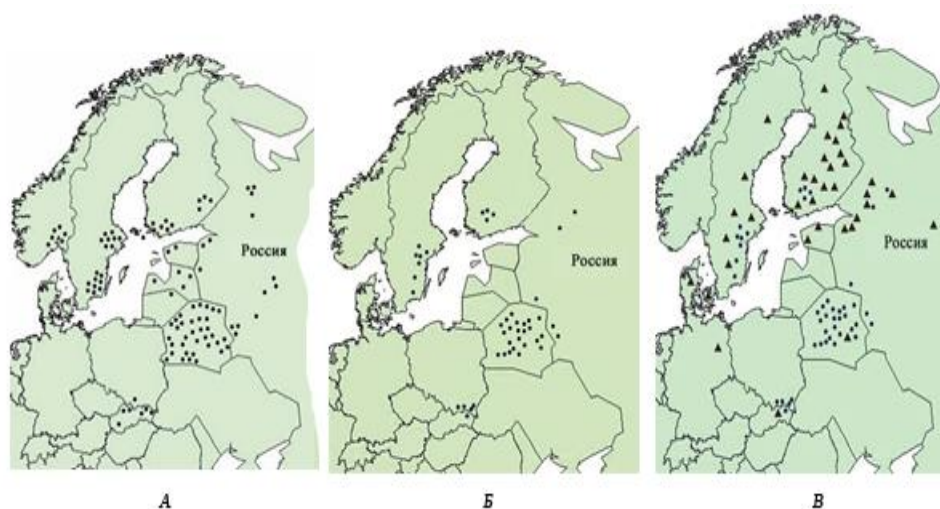


Рис. 3. Ареал карельской березы (места произрастания обозначены точками): *A* – описанный в XX в.; *Б* – по состоянию на начало XXI в.; *В* – с учетом реинтродукции и создания искусственных насаждений (обозначены треугольниками)

Fig. 3. The range of curly birch (habitats are dotted): *A* – described in the 20th century; *Б* – as on the beginning of the 21st century; *В* – taking into account reintroduction and creation of artificial plantations (indicated by triangles)

На наш взгляд, предложенный подход к определению местонахождения границ ареала карельской березы, основанный на популяционном подходе и учете ее биологических особенностей:

наиболее точно соответствует реальному положению дел;

отражает естественную эволюционную историю формирования таксона (хотя пока и не признанного официально в качестве самостоятельного вида) и его ареала;

без серьезных затруднений может быть скорректирован в зависимости, например, от масштабов проводимой реинтродукции или иных событий;

окажется полезным при выборе стратегии природоохранных и других мероприятий, направленных на сохранение и воспроизводство этого уникального представителя лесной дендрофлоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алтухов Ю.П. Генетика популяций и сохранение биоразнообразия // Соросовский образовательный журнал. 1995. № 1. С. 32–43. [Altukhov Yu.P. Population Genetics and Biodiversity Conservation. *Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal* [Soros Educational Journal], 1995, no. 1, pp. 32–43].
2. Алтухов Ю.П. Генетические процессы в популяциях. М.: Академкнига, 2003. 431 с. [Altukhov Yu.P. *Genetic Processes in Populations*. Moscow, Akademkniga Publ., 2003. 431 p.].
3. Алтухов Ю.П., Салменкова Е.А., Курбатова О.Л., Политов Д.В., Евсюков А.Н., Жукова О.В., Захаров И.А., Моисеева И.Г., Столповский Ю.А., Пухальский В.А., Поморцев А.А., Упельник В.П., Калабушкин Б.А. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях / под ред. Ю.П. Алтухова. М.: Наука, 2004. 620 с. [Altukhov Yu.P., Salmenkova E.A., Kurbatova O.L., Politov D.V., Evsyukov A.N., Zhukova O.V., Zakharov I.A., Moiseyeva I.G., Stolpovskiy Yu.A., Pukhal'skiy V.A., Pomortsev A.A., Upelniyev V.P., Kalabushkin B.A. *Dynamics of Population Gene Pools under Anthropogenic Pressures*. Ed. By Yu.P. Altukhov. Moscow, Nauka Publ., 2004. 620 p.].
4. Ветчинникова Л.В. Карельская береза и другие редкие представители рода *Betula* L. М.: Наука, 2005. 269 с. [Vetchinnikova L.V. *Karelian Birch and Other Rare Representatives of the Genus Betula* L. Moscow, Nauka Publ., 2005. 269 p.].
5. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Происхождение карельской березы: эколого-генетическая гипотеза // Экол. генетика. 2016. Т. 14, № 2. С. 3–18. [Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Genesis of the Karelian Birch. An Ecogenetic Hypothesis. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological Genetics], 2017, vol. 14, no. 2, pp. 3–18]. DOI: [10.17816/ecogen1423-18](https://doi.org/10.17816/ecogen1423-18)
6. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Карельская береза в заказниках Республики Карелия: история, современное состояние и проблемы // Ботан. журн. 2018. Т. 103, № 2. С. 256–265. [Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Karelian Birch in Sanctuaries in the Republic of Karelia: History, Current State, Problems. *Botanicheskii Zhurnal*, 2018, vol. 103, no. 2, pp. 256–265]. DOI: [10.1134/S0006813618020096](https://doi.org/10.1134/S0006813618020096)
7. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Карельская береза – уникальный биологический объект // Успехи современной биологии. 2019. Т. 139, № 5. С. 419–433. [Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Karelian Birch – a Unique Biological Object. *Uspеhi sovremennoj biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2020, vol. 139, no. 5, pp. 419–433. DOI: [10.1134/S0042132419050107](https://doi.org/10.1134/S0042132419050107)
8. Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф., Кузнецова Т.Ю. Карельская береза: биологические особенности, динамика ресурсов и воспроизводство. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 312 с. [Vetchinnikova L., Titov A., Kuznetsova T. *Curly Birch: Biological Characteristics, Resource Dynamics, and Reproduction*. Petrozavodsk, KarRC RAS Publ., 2013. 312 p.].
9. Евдокимов А.П. Биология и культура карельской березы. Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. 228 с. [Evdokimov A.P. *Biology and Crop of Curly Birch*. Leningrad, LSU Publ., 1989. 228 p.].
10. Ермаков В.И. Механизмы адаптации березы к условиям Севера. Л.: Наука, 1986. 144 с. [Ermakov V.I. *Mechanisms of Birch Adaptation to the Conditions of the North*. Leningrad, Nauka Publ., 1986. 144 p.].
11. Ильинов А.А., Раевский Б.В. Сравнительная оценка генетического разнообразия естественных популяций и клоновых плантаций сосны обыкновенной и ели финской в Карелии // Экол. генетика. 2015. Т. 13, № 4. С. 55–67. [Ilinov A.A., Raevsky B.V. Genetic Diversity Comparative Evaluation of *Pinus sylvestris* L. and *Picea x fennica* (Regel) Kom. Native Populations and Clonal Seed Orchards in Russian Karelia. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological Genetics], 2015, vol. 13, no. 4, pp. 55–67]. DOI: [10.17816/ecogen13455-67](https://doi.org/10.17816/ecogen13455-67)
12. Красная книга Владимирской области. Владимир: Транзит-ИКС, 2010. 399 с. [The Red Book of the Vladimir Region. Vladimir, Tranzit-IKS Publ., 2010. 399 p.].

13. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с. [*The Red Book of the Republic of Karelia*. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 2007. 368 p.].
14. Литвак П.В. Карельская береза (*Betula verrucosa* var. *carelica* Soc.) в Украинському поліссі // Укр. ботан. журн. 1968. Т. 25, № 1. С. 103–106. [Litvak P.V. Curly Birch (*Betula verrucosa* var. *carelica* Soc.) in Ukrainian Polesia. *Український ботанічний журнал* [Ukrainian Botanical Journal], 1968, vol. 25, no. 1, pp. 103–106].
15. Марков М.В. Популяционная биология растений. М.; Т-во науч. изд. КМК, 2012. 387 с. [Markov M.V. *Population Biology of Plants*. Moscow, KMK Publ., 2012. 387 p.].
16. Матвеева Т.В., Машикина О.С., Исаков Ю.Н., Лутова Л.А. Молекулярная паспортизация клонов карельской березы при помощи ПЦР с полуслучайными праймерами // Экол. генетика. 2008. Т. 6, № 3. С. 18–23. [Matveeva T.V., Mashkina O.S., Isakov Y.N., Lutova L.A. Molecular Passportization of Clones of Karelian Birch Using PCR with Semi-Specific Primers. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological Genetics], 2008, vol. 6, no. 3, pp. 18–23]. DOI: [10.17816/ecogen6318-23](https://doi.org/10.17816/ecogen6318-23)
17. Милютин Л.И. Генетико-эволюционные основы устойчивости лесных экосистем // Лесоведение. 2003. № 1. С. 16–20. [Milyutin L.I. Genetic and Evolutionary Bases of Forest System Stability. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2003, no. 1, pp. 16–20].
18. Молотков П.И. Проявление признаков «кареловости» у березы при выращивании ее в районе г. Харькова // Лесоводство и агролесомелиорация. 1984. Вып. 69. С. 21–23. [Molotkov P.I. Development of Nature Wood Patterns in Curly Birch When Growing It in the Vicinity of Kharkov. *Lesovodstvo i agrolesomelioratsiya*, 1984, iss. 69, pp. 21–23].
19. Падутов В.Е. Генетические ресурсы сосны и ели в Беларуси. Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2001. 144 с. [Padutov V.E. *Genetic Resources of Pine and Spruce in Belarus*. Gomel, IL NAS Belarus, 2001. 144 p.].
20. Падутов В.Е., Хотылева Л.В., Баранов О.Ю., Ивановская С.И. Генетические эффекты трансформации лесных экосистем // Экол. генетика. 2008. Т. 6, № 1. С. 3–11. [Padutov V.E., Khotyleva L.V., Baranov O.Yu., Ivanovskaya S.I. Genetic Effects of Transformation of Forest Ecosystems. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological Genetics], 2008, vol. 6, no. 1, pp. 3–11]. DOI: [10.17816/ecogen613-11](https://doi.org/10.17816/ecogen613-11)
21. Побирущко В.Ф. Распространение и изменчивость березы карельской в Беларуси // Ботаника: сб. науч. тр. Минск: Навука і тэхніка, 1992. Вып. 31. С. 31–39. [Pobirushko V.F. Distribution and Variability of Karelian Birch in Belarus. *Botany: Collection of Academic Papers*. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1992, iss. 31, pp. 31–39].
22. Попов С.Ю. Ценоотическое распределение и экологические предпочтения *Betula pendula* и *Betula pubescens* в Центральной России // Журн. общей биологии. 2017. Т. 78, № 2. С. 61–73. [Popov S.Yu. Coenotic Distribution and Ecological Preferences of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Central Russia. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2017, vol. 78, no. 2, pp. 61–73].
23. Сакс К.А., Бандер В.Л. Опыт по выращиванию карельской березы в Латвийской ССР // Лесная генетика, селекция и семеноводство. Петрозаводск: Карелия, 1970. С. 294–300. [Saks K.A., Bander V.L. Experience in Curly Birch Growing in the Latvian SSR. *Forest Genetics, Selection, and Seed-Breeding*. Petrozavodsk, Kareliya. Publ., 1970. С. 294–300].
24. Соколов Н.О. Карельская береза. Петрозаводск: Гос. изд-во Кар.-Фин. ССР, Сортавал. кн. тип., 1950. 116 с. [Sokolov N.O. *Curly Birch*. Petrozavodsk, Gosudarstvennoye izdatelstvo Karelo-Finskoy SSR, 1950. 116 p.].
25. Сулей М. Пороги для выживания: поддержание приспособленности и эволюционного потенциала // Биология охраны природы / под ред. М. Сулея, Б. Уилкокса. М.: Мир, 1983. С. 177–196. [Soulé M.E. Thresholds for Survival: Maintaining Fitness and Evolutionary Potential. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Translated into Russian. Ed. by M.E. Soulé, B.M. Wilcox. Moscow, Mir Publ., 1983, pp. 177–196].
26. Франклин Я. Эволюционные изменения в небольших популяциях // Биология охраны природы / под ред. М. Сулея, Б. Уилкокса. М.: Мир, 1983. С. 160–174. [Franklin I.R. Evolutionary Changes in Small Populations. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Translated into Russian. Ed. by M.E. Soulé, B.M. Wilcox. Moscow, Mir Publ., 1983, pp. 160–174].

27. Хедрик Ф. Генетика популяций. М.: Техносфера, 2003. 588 с. [Hedrick P.W. *Genetics of Populations*. Translated into Russian. Moscow, Technosfera Publ., 2003. 588 p.].
28. Шуганов З.Х. Внутривидовая изменчивость и дифференциация видов семейства *Pinaceae* на Урале: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Пермь, 2005. 47 с. [Shiganov Z.Kh. *Intraspecific Variability and Differentiation of Species of the Pinaceae Family in the Urals*: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs. Perm, 2005. 47 p.].
29. Яблоков А.В. Популяционная биология. М.: Высш. шк., 1987. 303 с. [Yablokov A.V. *Population Biology*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987, 303 p.].
30. Consensus Document on the Biology of European White Birch (*Betula pendula* Roth). *Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology*, No. 28. Paris, OECD, 2003. 46 p.
31. Emanuelsson J. *The Natural Distribution and Variation of Curly Birch (Betula pendula* Roth var. *carelica* (Merk.) Sok.) in Sweden: Examensarbete i ämnet skogsskötsel. Umeå, Institutionen för skogsskötsel sveriges lantbruksuniversitet, 1999. 54 p.
32. Etholén K. Kokemuksia visakoivun kasvatuksesta lapissa [Experimental Growing of Curly Birch in Finnish Lapland]. *Silva Fennica*, 1978, vol. 12, no. 4, pp. 264–274. DOI: [10.14214/sf.a14865](https://doi.org/10.14214/sf.a14865)
33. Hagqvist R., Mikkola A. *Visakoivun kasvatus ja käyttö*. Metsäkustannus Oy, 2008. 168 s.
34. Hejtmánek J. *Betula pendula* var. *carelica* Sokolov v Československu. *Preslia*, 1957, vol. 29, pp. 264–268.
35. Isidorov V.A., Marcin S., Vetchinnikova L. Inheritance of Specific Secondary Volatile Metabolites in Buds of White Birch *Betula pendula* and *Betula pubescens* Hybrids. *Trees*, 2019, vol. 33, iss. 5, pp. 1329–1344. DOI: [10.1007/s00468-019-01861-2](https://doi.org/10.1007/s00468-019-01861-2)
36. Kleinschmit J. Konsequenzen aus Birkenzüchtung für die forstliche Praxis. *Forst und Holz*, 2002, Jg. 57, Nr. 15/16, S. 470–475.
37. Kosonen M., Leikola M., Hagqvist R., Mikkola A., Väitalo H. *Visakoivu* [Curly Birch]. Metsälehti Kustannus, 2004. 208 p.
38. Lindquist B. *Forstgenetik in der schwedischen Waldbaupraxis*. Radebene und Berlin, Neumann Verlag, 1954. 156 S.
39. Mikkela H. *Guide to the Montell Trail in the Punkaharju Experimental Area*. Helsinki, Finnish Forest Research Institute, 1992. 27 p.
40. Pagan J., Paganová V. *Breza biela svalcovita (Betula alba* L. var. *carelica* Merk.) na Slovensku [Curly Birch in Slovakia]. Zvolen, Technická univerzita, 1994. 75 s.
41. Paganová V. Analysis of Inheritance and Growth of Curly Birch Progenies from Controlled Hybridisation and Possibilities of their Utilisation for Timber Production in Agricultural Landscape. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 2004, vol. 40, no. 2, pp. 51–62. DOI: [10.17221/3700-CJGPB](https://doi.org/10.17221/3700-CJGPB)
42. Saarnio R. Viljeltyjen visakoivikoiden laatu ja kehitys Etelä-Suomessa [The Quality and Development of Cultivated Curly-Birch (*Betula verrucosa* f. *carelica* Sok.) Stands in Southern Finland], *Folia Forestalia*, 1976, no. 263, pp. 1–28.
43. Schenk M.F., Thienpont C.-N., Koopman W.J.M., Gilissen L.J.W.J., Smulders M.J.M. Phylogenetic Relationships in *Betula* (Betulaceae) Based on AFLP Markers. *Tree Genetics and Genomes*, 2008, vol. 4, pp. 911–924. DOI: [10.1007/s11295-008-0162-0](https://doi.org/10.1007/s11295-008-0162-0)
44. Scholz E. Das Verbreitungsgebiet der Braunmaserbirke. *Archiv für Forstwesen*, 1963, Bd. 12, Nr. 12, S. 1243–1253.
45. Václav E. Rozšíření, stanovištní podmínky a růst svalcovité břízy (karelské) v Evropě. *Sborník lesnické fakulty VŠZ v Praze*, 1963, no. 6, s. 217–237.
46. Velling V.P., Viherä-Aarnio A., Rautanen J. Züchtung und Anbau von Birke in Finland – eine Erfolgsstory? *Forst und Holz*, 2002, Jg. 57, Nr. 15/16, S. 459–465.
47. Urbanska K., Landolt E. Biologische Kenn wer von Pflanzenarten. *Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel* [Bulletin of the Geobotanical Institute of Swiss Federal Institute of Technology, Stiftung Rübel], 1990, Bd. 56, S. 61–77.

48. Wang N., McAllister H.A., Bartlett P.R., Buggs R.J.A. Molecular Phylogeny and Genome Size Evolution of the Genus *Betula* (Betulaceae). *Annals of Botany*, 2016, vol. 117, iss. 6, pp. 1023–1035. DOI: [10.1093/aob/mcw048](https://doi.org/10.1093/aob/mcw048)

UPDATE ON THE BOUNDARIES OF THE CURLY BIRCH RANGE

L.V. Vetchinnikova¹, Doctor of Biology, Assoc. Prof., Chief Research Scientist; ResearcherID: [J-5665-2018](https://orcid.org/0000-0003-2091-905X), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2091-905X>

A.F. Titov^{2,3}, Corresp. Member of RAS, Doctor of Biology, Prof., Chief Research Scientist, ResearcherID: [A-6705-2014](https://orcid.org/0000-0001-6880-2411), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6880-2411>

¹Forest Research Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: vetchin@krc.karelia.ru

²Institute of Biology of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation

³Department of Multidisciplinary Scientific Research of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: titov@krc.karelia.ru

The article reports on the application of the best known principles for mapping natural populations of curly (Karelian) birch *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti – one of the most appealing representatives of the forest tree flora. Relying on the synthesis and analysis of the published data amassed over nearly 100 years and the data from own full-scale studies done in the past few decades almost throughout the area where curly birch has grown naturally, it is concluded that its range outlined in the middle of the 20th century and since then hardly revised is outdated. The key factors and reasons necessitating its revision are specified. Herewith it is suggested that the range is delineated using the population approach, and the key element will be the critical population size below which the population is no longer viable in the long term. This approach implies that the boundaries of the taxon range depend on the boundaries of local populations (rather than the locations of individual trees or small clumps of trees), the size of which should not be lower than the critical value, which is supposed to be around 100–500 trees for curly birch. A schematic map of the curly birch range delineated using this approach is provided. We specially address the problem of determining the minimum population size to secure genetic diversity maintenance. The advantages of the population approach to delineating the distribution range of curly birch with regard to its biological features are highlighted. The authors argue that it enables a more accurate delineation of the range; shows the natural evolutionary history of the taxon (although it is not yet officially recognized as a species) and its range; can be relatively easily updated (e.g. depending on the scope of reintroduction); should be taken into account when working on the strategy of conservation and other actions designed to maintain and regenerate this unique representative of the forest tree flora.

For citation: Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Update on the Boundaries of the Curly Birch Range. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 9–21. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-6-9-21](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-9-21)

Funding: The research was carried out within the framework of the state assignment of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Forest Research Institute, Institute of Biology, and Department of Multidisciplinary Scientific Research) and covered by the federal budget.

Keywords: curly birch *Betula pendula* Roth. var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti, range, population size, northwestern continental Europe.

Поступила 24.09.19 / Received on September 24, 2019

УДК 630*443.3:582.632.2:582.287.237(234.81)

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-22-32

**ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ДУБОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ
ЮГО-ЗАПАДА СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ,
ПОРАЖЕННЫХ *Polyporaceae****А.В. Дунаев, канд. с.-х. наук, науч. сотр.*; ResearcherID: [AAB-5040-2020](https://orcid.org/0000-0002-9058-7778),ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9058-7778>*С.В. Калугина, канд. биол. наук, доц.*; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3144-4563>*Е.Н. Дунаева, канд. биол. наук, науч. сотр.*;ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9568-6065>*А.С. Коротких, канд. биол. наук, науч. сотр.*;ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2483-6334>*А.Ю. Курской, науч. сотр.*; ResearcherID: [AAB-4876-2020](https://orcid.org/0000-0002-8400-0694),ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8400-0694>*М.А. Польшина, канд. геогр. наук, доц.*; ResearcherID: [AAH-7786-2019](https://orcid.org/0000-0003-0363-1556),ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0363-1556>Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, Россия, 308015; e-mail: Dunaev_A@bsu.edu.ru

Древостои дуба черешчатого *Quercus robur* L. в порослевых дубравах южной лесостепи европейской части России на современном этапе развития дубравных экосистем отличаются ослабленным состоянием. Одна из причин этого – стволовые и комлевые гнили, возбудителями которых выступают представители видов патогенных грибов из группы трутовых (*Polyporaceae* s. l.). Изучению состояния дуба в дубовых древостоях в связи с распространенностью патогенных трутовых грибов на нем посвящена настоящая работа. Исследования проводились в сезоны 2009–2017 гг. в юго-западной части Среднерусской возвышенности. Объектами исследований являлись порослевые дубовые древостои в составе нагорных и байрачных дубрав с участием дуба черешчатого *Q. robur* L., а также общности видов патогенных трутовых грибов, приуроченные к дубу, в составе: *Fistulina hepatica*, *Laetiporus sulphureus*, *Fomitiporia robusta*, *Inocutis dryophila*, *Pseudoinonotus dryadeus*, *Daedalea quercina*, *Hapalopilus croceus*, *Grifola frondosa*, *Fomes fomentarius*, *Polyporus squamosus*. Полевые обследования проводились по комплексной методике с использованием методов традиционной фитопатологии, методов современной микоекологии и адаптированных методов микопатогенологических исследований. Камеральные исследования в основе своей состояли из общенаучных методов систематизации первичных эмпирических данных с помощью способов описательной статистики, корреляционно-регрессионного анализа и оценки разности средних. В результате этого выявлена достоверная положительная корреляционная взаимосвязь между величинами средневзвешенной категории состояния жизнеспособности дубовых древостоев ($KЖ_{1-6}$) и распространенности видов из состава общностей патогенных трутовых грибов на дубе (R): $r = 0,388$ ($t_{факт} = 2,562$, $t_{ст} = 2,021$, $k = 37$, $P = 0,05$) (нагорные и байрачные дубравы). Разработанные на основе выявленной достоверной положительной корреляционной взаимосвязи статистические модели, отражающие взаимозависимости между указанными величинами ($KЖ_{1-6}(R)$): $Y = 0,0268X + 2,2290$; $R(KЖ_{1-6})$: $Y = 5,6262X - 5,7204$), позволяют оценивать изменения каждой из указанных величин по изменению другой.

Для цитирования: Дунаев А.В., Калугина С.В., Дунаева Е.Н., Коротких А.С., Курской А.Ю., Польшина М.А. Жизнеспособность дубовых древостоев юго-запада Среднерусской возвышенности, пораженных *Polyporaceae* // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 22–32. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-22-32

Ключевые слова: дуб *Quercus robur* L., дубравы, патогенные трутовые грибы, Среднерусская возвышенность, категория состояния жизнеспособности, отпад деревьев, статистическая модель.

Введение

Серьезной причиной неудовлетворительного состояния дуба в дубовых лесах ряда лесостепных областей в составе Центрально-Черноземного экономического района Российской Федерации считаются стволовые и комлевые гнили, возбудителями которых выступают представители видов трутовых грибов *Polyporaceae* s. l. [3–5]. Однако каких-либо статистических оценок, объективирующих данное положение, по крайней мере в отношении дубрав юго-западной части Среднерусской возвышенности, не существует.

Целью данной работы являлась оценка достоверности, формы и параметров статистической взаимосвязи между состоянием жизнеспособности дубовых древостоев и распространенностью видов из состава общностей патогенных трутовых грибов (ПТГ) на деревьях дуба.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в сезоны 2009–2017 гг. в юго-западной части Среднерусской возвышенности. Район исследований ограничен в широтном направлении параллелями 50°20' и 50°86' с.ш.; в долготном – меридианами 36°01' и 38°16' в.д. Объектами исследований являлись порослевые дубовые древостои в составе дубрав с участием дуба черешчатого *Q. robur*, а также виды ПТГ (*Polyporaceae*), приуроченные к дубу и представляющие эковиоморфологические общности [1].

В составе общностей ПТГ в древостоях дуба исследованных дубрав юго-запада Среднерусской возвышенности встречаются следующие виды [1]: *Fistulina hepatica* (Schaeff.) With., *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Fomitiporia robusta* (P. Karst.) Fiasson & Niemelä, *Inocutis dryophila* (Berk.) Fiasson & Niemelä, *Pseudoinonotus dryadeus* (Pers.) T. Wagner & M. Fisch., *Daedalea quercina* (L.) Pers., *Hapalopilus croceus* (Pers.) Donk., *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Polyporus squamosus* (Huds.) Fr.

Некоторые из них (*F. robusta*, *I. dryophila*, *P. dryadeus*, *H. croceus*, *G. frondosa*) выступают биотрофными патогенами, развивающимися в основном как консументы. Распространенность *F. robusta* на живых деревьях дуба в дубравах составляет 0,5...6,1 %, *I. dryophila* – 0,0...4,0 %, *P. dryadeus* – 0,0...2,8 %, *H. croceus* – 0,0...0,5 %, *G. frondosa* – 0,0...0,1 %. *F. hepatica*, *L. sulphureus*, *F. fomentarius*, *P. squamosus* являются сапротрофными патогенами, первоначально поселяющимися на живых деревьях в качестве консументов и продолжающими развитие после отмирания дерева как редуценты. *D. quercina* – патогенный сапротроф, развивающийся в основном как редуцент. Распространенность *F. hepatica* на живых деревьях дуба в дубравах составляет 0,5...12,5 %, на мертвом субстрате – до 13,6 % и выше; *L. sulphureus* – на живых деревьях 0,5...6,1 %, на мертвом субстрате – до 11,1 % и выше; *F. fomentarius* – на живых деревьях 0,0...0,5 %, на мертвом дубовом субстрате не отмечен; *P. squamosus* – на живых деревьях 0,0...0,2 %, на мертвом дубовом субстрате не отмечен; *D. quercina* – на живых деревьях 0,0...0,6 %, на мертвом субстрате – 0,5...9,5 % [1].

Обслеживались главным образом порослевые дубовые древостои с преобладанием или полным главенством дуба черешчатого приспевающего и спелого возраста средней полноты среднего бонитета (табл. 1, 2). Полевые исследования проводились в 20 дубовых древостоях в составе 8 нагорных дубрав (лесорастительные условия Д₂) и 19 дубовых древостоях в составе 7 байрачных дубрав (лесорастительные условия Е₂).

Таблица 1

**Таксационные характеристики обследованных древостоев
в составе нагорных дубрав**

Древостой (дубрава*-год**)	Состав древостоя	Возраст, лет; полнота; бонитет
КД-13	4Д6Яс ед. Лп, Кл	80–90; 0,6–0,7; II–III
ГЛ-13	10Д ед. Кл, Лп	70–80; 0,6; III
КД-11	5Д5Яс ед. Кл, Лп	80–90; 0,6–0,7; II–III
КЧД-15	10Д ед. Яс, Кл, Лп	90–100; 0,7; II
ШД-11	8Д1Лп1Кл ед. Яс	80–90; 0,6–0,7; II–III
ГЛ-12	9Д1Лп ед. Кл	70–80; 0,6–0,7; III
ШД-12	8Д2Яс ед. Лп, Кл	80–90; 0,6; II–III
КД-10	5Д5Яс ед. Кл, Лп	80–100; 0,5–0,6; II–III
О-15	10Д ед. Лп, Кл	80–90; 0,6; II–III
ШД-10	8Д2Лп ед. Кл, Яс	80–90; 0,6–0,7; II–III
М-13	9Д1Кл ед. Лп	70–90; 0,6–0,7; II–III
Д-11	10Д ед. Кл, Лп	70–80; 0,6–0,7; II–III
Д-13	8Д1Кл1Лп	70–80; 0,6; II–III
М-10	9Д1Кл ед. Лп	70–80; 0,6–0,7; II–III
КД-12	5Д5Яс ед. Лп, Кл	80–90; 0,6–0,7; II–III
КД-14	7Д3Яс ед. Кл	80–90; 0,6–0,7; II–III
Д-12	8Д1Лп1Кл	70–80; 0,6; II–III
Д-14	8Д1Лп1Кл	70–80; 0,6–0,7; II–III
ШД-13	8Д2Яс ед. Ос	80–90; 0,6–0,7; II–III
МЛ-15	10Д ед. Яс	70–80; 0,6; III

*КД – Коровинская дача; ГЛ – Графовский лес; КЧД – Корочанская дача; ШД – Шебекинская дача; О – Огурцово; М – массив; Д – Дубовое; МЛ – мелкий лес. **Год обследования: 11 – 2011; 12 – 2012; 13 – 2013; 14 – 2014; 15 – 2015.

Таблица 2

**Таксационные характеристики обследованных древостоев
в составе байрачных дубрав**

Древостой (дубрава*-год**)	Состав древостоя	Возраст, лет; полнота; бонитет
АР-10	8Д1Лп1Кл ед. Ил, Ос	80–100; 0,6–0,7; II–III
АР-11	8Д1Лп1Кл ед. Ил, Ос	80–90; 0,6–0,7; II–III
АР-12	8Д1Лп1Кл ед. Ил, Ос	80–90; 0,6–0,7; II–III
АР-13	8Д1Лп1Кл ед. Ил, Ос	80–90; 0,6–0,7; II–III
АЛ-12	9Д1Лп ед. Кл, Ос	60–80; 0,6; III
ПЗ-15	10Д ед. Лп, Яс, Кл	80–100; 0,6–0,7; II–III
МШ-12	7Д2Кл1Лп	90–120; 0,6–0,7; II–III
Р-10	10Д ед. Кл, Лп	80–90; 0,6–0,7; II–III
Р-11	10Д ед. Кл, Лп	80; 0,6–0,7; III
АЛ-10	9Д1Лп ед. Кл, Ос	90; 0,6–0,7; II–III
Р-12	10Д ед. Кл, Лп	70–80; 0,6–0,7; III
Р-14	10Д ед. Лп	70–80; 0,6–0,7; III
АР-14	10Д ед. Лп, Кл	80–90; 0,6–0,7; II–III
К-13	10Д ед. Лп, Кл	80–100; 0,6; II–III
Р-13	10Д ед. Кл, Лп	70–80; 0,6–0,7; II–III
АЛ-14	9Д1Лп ед. Ос	80–90; 0,6–0,7; III
ГдЛ-14	10Д ед. Лп, Кл	80–90; 0,5–0,6; III
ДБ-13	6Д3Кл1Лп1 ед. Ос	80–90; 0,6; III
К-14	10Д ед. Лп, Кл	80–100; 0,6; II–III

*АР – Архирейская роща; АЛ – Армячий лог; ПЗ – Попова защита; МШ – Муханово-Шеленково; Р – Рог; К – Кондауровка; ГдЛ – Городской лес; ДБ – Должик-Бессоновский. **Год обследования: 10 – 2010; 11 – 2011; 12 – 2012; 13 – 2013; 14 – 2014; 15 – 2015.

Исследования проводились по комплексной методике с использованием методов традиционной фитопатологии [6, 10, 14, 16–19], современной микопатологии [7, 8, 11, 12, 15, 20] и адаптированных методов микопатологических обследований [1, 13]. Значение средневзвешенной категории (индекса) состояния жизнеспособности (КЖ) дубовых древостоев $KЖ_{1-6}$ определялось по следующей формуле:

$$KЖ_{1-6} = (P_1K_1 + P_2K_2 + P_3K_3 + P_4K_4 + P_5K_5 + P_6K_6) / 100,$$

где P_i – доля деревьев каждой категории состояния жизнеспособности, %; K_i – индекс категории состояния дерева (1 – здоровое, 2 – ослабленное, 3 – сильно ослабленное, 4 – усыхающее, 5 – свежий сухостой, ветровал, бурелом; 6 – старый сухостой, ветровал, бурелом).

Методика камеральных исследований в основе своей состояла из общенаучных методов систематизации первичных эмпирических данных [9] с помощью способов описательной статистики, корреляционно-регрессионного анализа и оценки разности средних [2]. Для проверки статистических гипотез применялись преимущественно параметрические показатели связи и критерии достоверности оценок [2], поскольку ряды основных варьирующих, сопоставляемых и сравниваемых величин, используемых в аналитических процедурах, имели достаточно близкое к нормальному закону распределение, что было выявлено с помощью критерия Колмогорова–Смирнова.

Результаты исследования и их обсуждение

Значение средневзвешенной категории (индекса) состояния жизнеспособности ($KЖ_{1-6}$) дубовых древостоев из состава нагорных дубрав с учетом вегетирующих деревьев, свежего и старого сухостоя, свежего и старого бурелома колеблется в диапазоне 2,10–2,98 балла (табл. 3). Значение средневзвешенной категории (индекса) состояния жизнеспособности дубовых древостоев из состава байрачных дубрав с учетом вегетирующих деревьев, свежего и старого сухостоя, свежего и старого бурелома ($KЖ_{1-6}$) колеблется в диапазоне 2,02–3,24 балла (табл. 4), т. е. все обследованные древостои как нагорных, так и байрачных дубрав находятся в ослабленном ($1,5 < KЖ_{1-6} \leq 2,5$) или очень ослабленном ($2,5 < KЖ_{1-6} \leq 3,5$) состоянии.

Для удобства дальнейшего анализа состояния дубовые древостои были поделены на условные группы худшего и лучшего состояния в зависимости от значения основного интегрального показателя $KЖ_{1-6}$. Для этого числовые значения величин $KЖ_{1-6}$ обследованных древостоев нагорных (см. табл. 3, графу 2) и байрачных (см. табл. 4, графу 2) дубрав расположили в порядке возрастания в один общий вертикальный ряд.

Таким образом сформировались две группы нагорных и байрачных древостоев с неперекрывающимися значениями величины $KЖ_{1-6}$ (см. табл. 3, 4, графу 2): лучшего ($KЖ_{1-6} \leq 2,3$ балла, $\overline{KЖ}_{1-6} = 2,24 \pm 0,026$) и худшего ($KЖ_{1-6} \geq 2,4$ балла, $\overline{KЖ}_{1-6} = 2,56 \pm 0,062$) санитарного состояния для нагорных дубрав и лучшего ($KЖ_{1-6} \leq 2,3$ балла, $\overline{KЖ}_{1-6} = 2,18 \pm 0,046$) и худшего ($KЖ_{1-6} \geq 2,4$ балла, $\overline{KЖ}_{1-6} = 2,67 \pm 0,066$) санитарного состояния для байрачных дубрав.

В группе древостоев лучшего состояния из состава нагорных дубрав значение доли жизнеспособных деревьев 1–2-й КЖ (доля берется от числа деревьев 1–6-й КЖ) (см. табл. 3, графу 3) колеблется в пределах 46,0...67,8 % при среднем значении ($59,4 \pm 2,18$) %, а в группе древостоев худшего состояния та

же доля находится в пределах 40,1...54,5 % при заметно более низком среднем значении ($44,5 \pm 1,95$) %. В группе древостоев лучшего состояния из состава байрачных дубрав значение доли жизнеспособных деревьев (см. табл. 4, графу 3) колеблется в пределах 46,2...66,3 % при среднем значении ($61,2 \pm 2,60$) %, а в группе древостоев худшего состояния та же доля находится в пределах 20,4...48,4 % также при более низком среднем значении ($37,5 \pm 2,78$) %.

Таблица 3

**Анализ фитопатологического состояния обследованных дубовых древостоев
в составе нагорных дубрав**

Древостой (дубрава*- год**)	Показатели санитарного состояния дубового древостоя				Распространенность ПТП на дубе, %	
	КЖ ₁₋₆ , балл	Доля деревьев, %		Отпад, %	На живых деревьях (R)	На сухостое и буреломе
		жизне- способных	ограниченно- жизнеспособных			
1	2	3	4	5	6	7
КД-13	2,10	66,7	24,4	9,0	6,9	30,8
ГЛ-13	2,16	59,3	32,7	7,9	4,0	14,3
КД-11	2,17	66,0	21,9	12,1	6,0	13,3
КчД-15	2,20	63,3	24,6	12,1	8,8	33,3
ШД-11	2,25	67,8	17,9	14,3	8,9	22,7
ГЛ-12	2,27	53,6	34,1	12,3	3,1	12,5
ШД-12	2,28	46,0	42,7	11,3	14,1	37,5
КД-10	2,30	58,6	28,2	13,0	4,6	***
О-15	2,32	59,4	25,9	14,7	11,1	16,7
ШД-10	2,32	53,8	32,3	13,9	6,1	—
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$2,24 \pm 0,026$	$59,4 \pm 2,18$	$28,5 \pm 2,26$	$12,1 \pm 0,70$	$7,4 \pm 1,08$	$22,6 \pm 3,52$
М-13	2,36	40,6	47,3	12,1	2,5	28,6
Д-11	2,38	54,5	29,1	16,4	10,4	22,2
Д-13	2,39	46,1	41,9	12,0	7,0	29,4
М-10	2,41	42,4	39,8	17,8	7,9	***
КД-12	2,48	47,3	35,4	17,2	6,4	9,1
КД-14	2,54	46,1	38,8	15,1	7,5	28,1
Д-12	2,65	39,4	37,6	22,9	17,5	38,9
Д-14	2,67	40,1	39,6	20,3	10,0	42,9
ШД-13	2,71	53,1	24,5	22,4	7,6	12,2
МЛ-15	2,98	35,0	38,8	26,2	9,3	24,4
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$2,56 \pm 0,062$	$44,5 \pm 1,95$	$37,3 \pm 2,03$	$18,2 \pm 1,48$	$8,6 \pm 1,21$	$26,2 \pm 3,66$

*КД – Коровинская дача; ГЛ – Графовский лес; КчД – Корочанская дача; ШД – Шебекинская дача; О – Огурцово; М – массив; Д – Дубовое; МЛ – мелкий лес. **Год обследования: 11 – 2011; 12 – 2012; 13 – 2013; 14 – 2014; 15 – 2015. ***Данные отсутствуют.

Существенность различий между значениями доли жизнеспособных деревьев в древостоях лучшего и худшего состояния можно оценить, используя параметрический *t*-критерий Стьюдента для несвязанных совокупностей. Расчет *t*-критерия для древостоев из состава нагорных дубрав ($t_{\text{факт}} = 5,090 > t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$) показывает, что значения доли жизнеспособных деревьев в древостоях лучшего состояния существенно выше, чем в древостоях худшего состояния. Аналогичный результат дает расчет *t*-критерия для древостоев из состава байрачных дубрав ($t_{\text{факт}} = 6,230 > t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$).

Таблица 4

**Анализ фитопатологического состояния обследованных дубовых древостоев
в составе байрачных дубрав**

Древо- стой (дубрава* - год**)	Показатели санитарного состояния дубового древостоя				Распространенность ПТГ на дубе, %	
	КЖ ₁₋₆ , балл	Доля деревьев, %		Отпад, %	На живых деревьях (R)	На сухостое и буреломе
		жизне- способных	ограниченно- жизнеспособных			
1	2	3	4	5	6	7
АР-10	2,02	65,6	24,9	9,5	2,6	12,8
АР-11	2,05	66,3	23,6	10,1	6,6	30,8
АР-13	2,12	62,7	28,1	9,2	5,9	26,7
АР-12	2,23	60,5	24,3	15,2	5,5	15,4
АЛ-12	2,26	63,8	25,7	10,5	6,5	11,1
ПЗ-15	2,28	63,2	24,2	12,6	3,6	15,4
МШ-12	2,34	46,2	36,6	17,1	13,5	30,0
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	2,18±0,046	61,2±2,60	26,8±1,73	12,0±1,16	6,3±1,32	20,3±3,22
Р-11	2,43	47,6	34,0	18,4	13,3	25,9
Р-10	2,45	48,4	35,2	16,4	7,2	***
АЛ-10	2,48	45,3	37,6	17,1	10,5	***
Р-14	2,54	38,7	41,3	20,0	5,5	16,0
Р-12	2,58	44,7	34,3	21,0	4,5	10,7
АР-14	2,60	46,0	27,2	26,7	8,8	22,9
К-13	2,63	38,3	38,7	23,0	18,0	59,5
Р-13	2,70	31,4	45,8	22,9	6,0	10,8
АЛ-14	2,70	30,5	46,5	23,0	5,0	19,2
ГдЛ-14	2,84	37,1	36,6	26,2	8,1	15,2
ДБ-13	2,89	22,1	52,1	25,8	6,4	15,0
К-14	3,24	20,4	40,0	39,5	16,0	31,0
$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	2,67±0,066	37,5±2,78	39,1±1,92	23,4±1,77	9,1±1,29	22,6±4,59

*АР – Архиерейская роща; АЛ – Армянский лог; ПЗ – Попова защита; МШ – Муханово-Шеленково; Р – Рог; К – Кондауровка; ГдЛ – Городской лес; ДБ – Должик-Бессоновский. **Год обследования: 10 – 2010; 11 – 2011; 12 – 2012; 13 – 2013; 14 – 2014; 15 – 2015. ***Данные отсутствуют.

Необходимо отметить наличие очень тесной отрицательной корреляционной связи между КЖ₁₋₆ дубового древостоя и значением доли жизнеспособных деревьев в древостое. В отношении нагорных дубрав: $r = -0,760$ ($t_{\text{факт}} = 4,966 > t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$), коэффициент детерминации $r^2 = 0,578$ (т. е. величина доли жизнеспособных деревьев определяет 57,8 % варьирования величины КЖ₁₋₆). В отношении байрачных дубрав: $r = -0,940$ ($t_{\text{факт}} = 11,389 > t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$). Коэффициент детерминации $r^2 = 0,884$ (т. е. величина доли жизнеспособных деревьев определяет 88,4 % варьирования величины КЖ₁₋₆).

Доля ограниченно жизнеспособных деревьев (3-я КЖ) в группе древостоев лучшего состояния из состава нагорных дубрав (см. табл. 3, графу 4) колеблется в пределах 17,9...42,7 % при среднем значении (28,5±2,26) %,

в группе древостоев худшего состояния – 24,5...47,3 % и $(37,3 \pm 2,03)$ % соответственно. Расчет t-критерия ($t_{\text{факт}} = 2,900 > t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$) показывает, что значения доли ограниченно жизнеспособных деревьев в древостоях лучшего состояния из состава нагорных дубрав заметно ниже, чем в древостоях худшего состояния.

Доля ограниченно жизнеспособных деревьев в группе древостоев лучшего состояния из состава байрачных дубрав (см. табл. 4, графу 4) колеблется в пределах 23,6...36,6 % при среднем значении $(26,8 \pm 1,73)$ %, а в группе древостоев худшего состояния – 27,2...52,1 % и $(39,1 \pm 1,92)$ % соответственно. Расчет t-критерия ($t_{\text{факт}} = 4,760 > t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$) показывает, что значения доли ограниченно жизнеспособных деревьев в древостоях лучшего состояния из состава байрачных дубрав заметно ниже, чем в древостоях худшего состояния. Между величинами КЖ₁₋₆ и доли ограниченно жизнеспособных деревьев существует менее тесная положительная взаимосвязь. В отношении древостоев из состава нагорных дубрав: $r = 0,392$ ($t_{\text{факт}} = 1,809 < t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$), коэффициент детерминации $r^2 = 0,154$ (т. е. величина доли ограниченно жизнеспособных деревьев определяет 15,4 % варьирования величины КЖ₁₋₆). В отношении древостоев из состава байрачных дубрав: $r = 0,745$ ($t_{\text{факт}} = 4,610 > t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$), коэффициент детерминации $r^2 = 0,556$ (т. е. величина доли ограниченно жизнеспособных деревьев определяет 55,6 % варьирования величины КЖ₁₋₆).

Долю усыхающих деревьев, свежего сухостоя и бурелома, старого сухостоя и бурелома (деревья 4–6 КЖ) [6] представляет такая величина, как отпад. Наиболее высоки его значения в группе древостоев худшего состояния (см. табл. 3, 4, графу 5): диапазон значений 12,0...26,2 %, среднее – $(18,2 \pm 1,48)$ % (древостои нагорных дубрав); для древостоев байрачных дубрав – 17,1...39,5 % и $(23,4 \pm 1,77)$ % соответственно. Существенность различия по значениям этой величины между выборкой, представленной древостоями худшего состояния, и выборкой, представленной древостоями лучшего состояния, подтверждается: $t_{\text{факт}} = 3,730 > t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$ (древостои нагорных дубрав); $t_{\text{факт}} = 5,390 > t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$ (древостои байрачных дубрав). Между величинами КЖ₁₋₆ и отпада деревьев дуба существует тесная положительная связь. В отношении древостоев из состава нагорных дубрав: $r = 0,931$ ($t_{\text{факт}} = 10,855 > t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$), коэффициент детерминации $r^2 = 0,867$ (т. е. величина отпада определяет 86,7 % варьирования величины КЖ₁₋₆). В отношении древостоев из состава байрачных дубрав: $r = 0,962$ ($t_{\text{факт}} = 14,645 > t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$), коэффициент детерминации $r^2 = 0,926$ (т. е. величина отпада определяет 92,6 % варьирования величины КЖ₁₋₆).

Наиболее массовыми и опасными видами фитопатогенов для дуба выступают представители *Polyporaceae* [13] из состава общностей ПТГ на дубе, вызывающих ядровые гнили. Распространенность грибов из состава общностей ПТГ на дубе по доле пораженных ими живых деревьев в большинстве обследованных древостоев не превышает 10 % (см. табл. 3, 4, графу 6). Распространенность более 10 % отмечена для отдельных древостоев относительно худшего состояния (см. табл. 3, 4, графу 6).

Исходя из полученных данных, касающихся распространенности в дубовых древостоях грибов – участников общностей ПТГ на дубе (см. табл. 3, 4,

графу 6), следует констатировать, что в древостоях лучшего состояния пораженность ПТГ вегетирующих деревьев дуба в среднем несколько ниже, чем в древостоях худшего состояния: $(7,4 \pm 1,08) \%$ и $(8,6 \pm 1,21) \%$ (нагорные дубравы) и $(6,3 \pm 1,32) \%$ и $(9,1 \pm 1,29) \%$ (байрачные дубравы). Подобная картина наблюдается и среди сухостойной и буреломной части древостоев (см. табл. 3, 4, графу 7). В древостоях лучшего состояния из состава нагорных дубрав (см. табл. 3, графу 7) в среднем поражено $(22,6 \pm 3,52) \%$ сухостойных и буреломных деревьев, в древостоях худшего состояния – $(26,2 \pm 3,66) \%$. В древостоях лучшего состояния из состава байрачных дубрав (см. табл. 4, графу 7) в среднем поражено $(20,3 \pm 3,22) \%$ сухостойных и буреломных деревьев, в древостоях худшего состояния – $(22,6 \pm 4,59) \%$.

В отношении нагорных дубрав (см. табл. 3, графы 6, 7) какие-либо существенные различия между выборками древостоев лучшего и худшего состояния по признакам распространенности ПТГ на живых деревьях ($t_{\text{факт}} = 0,740 < t_{\text{ст}} = 2,101$, $k = 18$, $P = 0,05$), на сухостое и буреломе ($t_{\text{факт}} = 0,710 < t_{\text{ст}} = 2,131$, $k = 15$, $P = 0,05$) фактически отсутствуют. В отношении байрачных дубрав (см. табл. 4, графы 6, 7) какие-либо существенные различия между выборками древостоев лучшего и худшего состояния по признакам распространенности трутовых грибов на живых деревьях ($t_{\text{факт}} = 1,100 < t_{\text{ст}} = 2,110$, $k = 17$, $P = 0,05$), на сухостое и буреломе ($t_{\text{факт}} = 0,410 < t_{\text{ст}} = 2,131$, $k = 15$, $P = 0,05$) также фактически отсутствуют.

Если сопоставить ряды значений средневзвешенной категории состояния жизнеспособности дубовых древостоев ($KЖ_{1-6}$) (см. табл. 3, 4, графу 2) и распространенности видов из состава сообществ ПТГ на живых деревьях дуба (R) в древостоях нагорных и байрачных дубрав (см. табл. 3, 4, графу 6), то обнаруживается достоверная положительная корреляционная взаимосвязь: $r = 0,388$ ($t_{\text{факт}} = 2,562 > t_{\text{ст}} = 2,021$, $k = 37$, $P = 0,05$). Так как условие достоверности корреляционной взаимосвязи выполняется, есть возможность получить регрессионные уравнения взаимозависимостей, представляющие статистические модели.

Статистическая модель, отражающая зависимость средневзвешенной категории состояния жизнеспособности дубовых древостоев в дубравах ($KЖ_{1-6}$) от распространенности видов из состава общностей ПТГ на дубе (R), выглядит следующим образом:

$$Y = 0,0268X + 2,2290.$$

Статистическая модель зависимости величины распространенности видов из состава общностей ПТГ на дубе (R) от величины средневзвешенной категории состояния жизнеспособности дубовых древостоев в дубравах ($KЖ_{1-6}$):

$$Y = 5,6262X - 5,7204.$$

Разработанные модели позволяют оценивать каждую из указанных величин по изменению другой.

Распространенность трутовых грибов, обладающих сапрофитными свойствами, из состава общностей ПТГ на дубе (по доле пораженных ими деревьев) среди сухостоя и бурелома в среднем почти в 3 раза выше, чем среди живых деревьев (см. табл. 3, 4, графы 7, 6). Кроме того, чем выше пораженность вегетирующих деревьев трутовыми грибами, тем выше пораженность ими же сухостоя и бурелома, поскольку между этими

величинами выявляется определенная положительная зависимость. В отношении нагорных дубрав (см. табл. 3, графы 6, 7): $r = 0,550$ ($t_{\text{факт}} = 2,547 > t_{\text{ст}} = 2,131$, $k = 15$, $P = 0,05$), а в отношении байрачных дубрав (см. табл. 4, графы 6, 7): $r = 0,804$ ($t_{\text{факт}} = 5,241 > t_{\text{ст}} = 2,131$, $k = 15$, $P = 0,05$).

Выводы

1. Все обследованные дубовые древостои порослевых нагорных и байрачных дубрав юго-западной части Среднерусской возвышенности отличаются ослабленным состоянием. Выборочные совокупности, составленные из обследованных древостоев, представлены двумя группами: лучшего (средневзвешенная категория состояния жизнеспособности с учетом старого сухостоя $KЖ_{1-6} \leq 2,3$ балла) и худшего ($KЖ_{1-6} \geq 2,4$ балла) санитарного состояния.

2. Для нагорных и байрачных дубрав выявлена достоверная положительная корреляционная взаимосвязь между $KЖ_{1-6}$ и распространенностью видов из состава сообществ ПТГ на дубе (R): $r = 0,388$ ($t_{\text{факт}} = 2,562$, $t_{\text{ст}} = 2,021$, $k = 37$, $P = 0,05$).

3. Разработанные на основе выявленной достоверной положительной корреляционной взаимосвязи статистические модели, отражающие взаимозависимости между указанными величинами ($KЖ_{1-6}(R)$: $Y = 0,0268X + 2,2290$; $R(KЖ_{1-6})$: $Y = 5,6262X - 5,7204$) позволяют оценивать изменения каждой из них по изменению другой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Дунаев А.В. Структура сообществ патогенных трутовых грибов на дубе черешчатом в биоценозах нагорных дубрав юго-запада Среднерусской возвышенности. Белгород: БелГУ, 2017. 228 с. [Dunaev A.V. *Structure of Communities of Pathogenic Polypores on English Oak in the Biocenoses of Upland Oak Forests of the South-West of the Central Russian Upland*. Belgorod, BelSU Publ., 2017. 228 p.].

2. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с. [Lakin G.F. *Biometrics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p.].

3. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Белгородской области в 2012 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2013 год. Воронеж, 2013. 152 с. [Review on the Sanitary and Forest Pathology State of Forests of the Belgorod Region in 2012 and Prediction of the Forest Pathology Situation for 2013. Voronezh, 2013. 152 p.].

4. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Воронежской области в 2012 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2013 год. Воронеж, 2013. 201 с. [Review on the Sanitary and Forest Pathology State of Forests of the Voronezh Region in 2012 and Prediction of the Forest Pathology Situation for 2013. Voronezh, 2013. 201 p.].

5. Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Курской области в 2012 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2013 год. Воронеж, 2013. 129 с. [Review on the Sanitary and Forest Pathology State of Forests of the Kursk Region in 2012 and Prediction of the Forest Pathology Situation for 2013. Voronezh, 2013. 129 p.].

6. Руководство по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований. Прил. 3 к приказу Рослесхоза от 29.12.2007 № 523. Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru> (04.02.16). [Guidance for Planning, Organizing and Conducting Forest Pathology Research. Appendix 3 to the Order of the Federal Forestry Agency (Rosleskhoz) No. 523 Dated December 29, 2007].

7. Сафонов М.А. Ресурсное значение ксилотрофных грибов лесов Южного Приуралья: дис.... д-ра биол. наук. Оренбург, 2006. 468 с. [Safonov M.A. *Resource Value of Xylotrophic Fungi in the Forests of the Southern Urals*: Dr. Biol. Sci. Diss. Orenburg, 2006. 468 p.].

8. Стороженко В.Г. Микоценоз и микоценология. М.: Гриф и К°, 2013. 191 с. [Storozhenko V.G. *Mycocenosis and Mycocenology*. Moscow, Grif i Ko Publ., 2013. 191 p.].

9. Ушаков Е.В. Введение в философию и методологию науки. М.: Экзамен, 2005. 528 с. [Ushakov E.V. *Introduction to the Philosophy and Methodology of Science*. Moscow, Ekzamen Publ., 2005. 528 p.].
10. Шевченко С.В., Цильюрик А.В. Лесная фитопатология. Киев: Вища шк., 1986. 384 с. [Shevchenko S.V., Tsilyurik A.V. *Forest Phytopathology*. Kiev, Vysshaya shkola Publ., 1986. 384 p.].
11. Arnolds E.J.M. *Ecology and Coenology of Macrofungi in Grasslands and Moist Heathlands in Drenthe, the Netherlands. Part 2. Autecology. Part 3. Taxonomy*. Vaduz, Verlag J. Cramer, 1982. 501 p.
12. Dighton J., White J.F., Oudemans P. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem*. Boca Raton, FL, CRC Press, 2005. 960 p. DOI: [10.1201/9781420027891](https://doi.org/10.1201/9781420027891)
13. Dunayev A.V., Tokhtar V.K., Dunayeva E.N., Kalugina S.V. Popularity of Species of Polypores which are Parasitic upon Oaks in Coppice Oakeries of the South-Western Central Russian Upland in Russian Federation. *Advances in Environmental Biology*, 2014, vol. 8(13), pp. 34–37.
14. Glaeser J.A., Smith K.T. Decay Fungi of Oaks and Associated Hardwoods for Western Arborists. *Western Arborist*, 2010, no. 1, pp. 32–46.
15. Hawksworth D.L., Mueller G.M. Fungal Communities: Their Diversity and Distribution: Its Organization and Role in the Ecosystem. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem*. Boca Raton, FL, CRC Press, 2005, pp. 27–37.
16. Karadzic D. *Forest Phytopathology*. Belgrade, Planet Print, 2010. 774 p.
17. Lonsdale D., Pautasso M., Holdenrieder O. Wood-Decaying Fungi in the Forest: Conservation Needs and Management Options. *European Journal of Forest Research*, 2008, vol. 127, pp. 1–22. DOI: [10.1007/s10342-007-0182-6](https://doi.org/10.1007/s10342-007-0182-6)
18. Lynch S.C., Eskalen A. *Oak Woodlands Disease Management*. Riverside, University of California, 2014. 63 p.
19. Markovic M., Lucic A., Rakonjac L. Impact of *Laetiporus sulphureus* (Bull. ex Fr.) Murrill on Destruction of Oak Wood. *Proceedings of the IV International Symposium “Agrosym 2013”*, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 3–6, 2013. Jahorina, University of East Sarajevo, 2013, pp. 161–166. DOI: [10.7251/AGSY1303161M](https://doi.org/10.7251/AGSY1303161M)
20. Mueller G.M., Bills G.F., Foster M.S. *Biodiversity of Fungi. Inventory and Monitoring Methods*. Boston, Academic Press, 2004. 777 p.

OAK STANDS AFFECTED BY *Polyporaceae* AND THEIR VIABILITY IN THE SOUTH-WEST OF THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND

A.V. Dunaev, Candidate of Agriculture, Research Scientist; ResearcherID: [AAB-5040-2020](https://orcid.org/0000-0002-9058-7778),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9058-7778>

S.V. Kalugina, Candidate of Biology, Assoc. Prof.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3144-4563>

E.N. Dunaeva, Candidate of Biology, Research Scientist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9568-6065>

A.S. Korotkih, Candidate of Biology, Research Scientist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2483-6334>

A.Yu. Kurskoy, Research Scientist; ResearcherID: [AAB-4876-2020](https://orcid.org/0000-0002-8400-0694),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8400-0694>

M.A. Polshina, Candidate of Geography, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAH-7786-2019](https://orcid.org/0000-0003-0363-1556),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0363-1556>

Belgorod State University, ul. Pobedy, 85, Belgorod, 308015, Russian Federation;
e-mail: Dunaev_A@bsu.edu.ru

One of the reasons for the weakened state of English oak *Quercus robur* L. in coppice oak forests of the southern forest-steppe of European Russia is trunk and butt rots, the causative

agents of which are the representatives of pathogenic polypore fungi (PPF). This article is devoted to the study of the state of oak stands due to the prevalence of PPF on the oak. The research was carried out in the south-western part of the Central Russian Upland in the seasons of 2009–2017. The research objects were coppice oak stands in upland and ravine oak forests with English oak *Q. robur* L. and the PPF species associated with oak. The communities include the following species: *Fistulina hepatica*, *Laetiporus sulphureus*, *Fomitiporia robusta*, *Inocutis dryophila*, *Pseudoinonotus dryadeus*, *Daedalea quercina*, *Hapalopilus croceus*, *Grifola frondosa*, *Fomes fomentarius*, *Polyporus squamosus*. Field surveys were carried out according to a complex methodology using the methods of traditional phytopathology and modern mycocenology and the adapted methods of mycopathocenological surveys. The methodology of cameral research consisted of general scientific methods of systematization of primary empirical data using the methods of descriptive statistics, correlation and regression analysis and estimation of the difference of sample means. As a result of the studies, a significant positive correlation was revealed between the value of the weighted average category of the state of viability of oak stands (CV_{1-6}) and the value of the total prevalence of species from the PPF communities on the oak (R): $r = 0.388$ (Student's t-test $t_{\text{actual}} = 2.562$; the critical value of Student's t-test $t_{\text{st}} = 2.021$; the number of degrees of freedom $k = 37$; the probability of incorrect estimation $P = 0.05$). Statistical models reflecting the interdependencies between these values were obtained: $CV_{1-6}(R): Y = 0.0268X + 2.2290$; $R(CV_{1-6}): Y = 5.6262X - 5.7204$. These models allow estimating changes of each of the specified values by changing the other.

For citation: Dunaev A.V., Kalugina S.V., Dunaeva E.N., Korotkih A.S., Kurskoy A.Yu., Polshina M.A. Oak Stands Affected by *Polyporaceae* and Their Viability in the South-West of the Central Russian Upland. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 22–32. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-22-32

Keywords: oak *Quercus robur* L., oak forests, pathogenic polypore fungi (PPF), Central Russian Upland, category of viability state (CV), tree mortality, correlation, statistical model.

Поступила 22.10.19 / Received on October 22, 2019

УДК: 630.17:57

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ЛИСТВЕННОЙ СИБИРСКОЙ (*Larix sibirica*) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.М. Улитин, аспирант; ResearcherID: [AAX-4328-2020](https://orcid.org/0000-0001-6226-5547),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6226-5547>

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

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

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, просп. Гагарина, д. 97,
г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: ulitin2016@bk.ru

Рассмотрен опыт применения лиственницы сибирской в искусственном лесовосстановлении в лесах Богородского района Нижегородской области. Актуальность создания лесных культур при диверсификации их породного состава обусловлена перспективами подъема лесной промышленности, что определено Государственной программой развития лесного хозяйства Российской Федерации. В настоящее время несмотря на широкие возможности хозяйственного использования лиственницы сибирской в Нижегородской области практически не применяется при создании искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций. В основном при создании лесных культур в области используется сосна обыкновенная, хотя положительный эффект введения лиственницы сибирской в состав насаждений подтвержден сравнительной оценкой таксационных показателей в лесных культурах на территории Богородского участкового лесничества, где были обследованы 3 участка с одинаковыми типами лесорастительных условий, на которых сформированы высокобонитетные насаждения лиственницы сибирской с различным породным составом. Работы осуществлялись полевыми стационарными методами, их методологической основой служил принцип единственного логического различия. Характеристика пробных площадей давалась на основании натурного обследования. Все результаты исследования статистически достоверны. Установлена связь между породным составом и запасом данных насаждений. В смешанных по породному составу культурах лиственницы накоплен больший запас, чем в чистых насаждениях. Также выявлена зависимость между возрастом насаждений и изменчивостью тестируемых таксационных показателей. Результаты исследований подтвердили эффективность создания лесных культур лиственницы сибирской в условиях Нижегородской области и приемлемость использования для этих целей участков лесокультурного фонда с лесорастительными условиями категории С₂. Полученные результаты будут полезны при создании культур лиственницы сибирской в Среднем Поволжье, так как выявлено, что к 54-летнему возрасту культуры лиственницы сибирской на территории Богородского района Нижегородской области весьма продуктивны.

Для цитирования: Улитин М.М., Бессчетнов В.П. Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 33–41. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-33-41

Ключевые слова: лесные культуры, лиственница сибирская, интродукция, лесоводственные характеристики, таксационные показатели.

Введение

Стратегия устойчивого роста и развития лесного комплекса предполагает достижение базовых показателей непрерывного и неистощительного лесопользования, всестороннее повышение его эффективности [5]. Неотъемлемой частью системы проводимых в связи с этим мероприятий выступает эффективное

и научно обоснованное лесовосстановление при диверсификации породного состава [1, 2]. Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) является одной из хозяйственно значимых древесных пород на территории Российской Федерации [7, 15, 20, 21]. Ее ареал расположен преимущественно в континентальных горных районах Южной Сибири [7], характеризующихся невысокой влажностью, а также в Центральной России [20, 21]. Насаждения лиственницы сибирской составляют примерно 14 % всех лиственничных лесов страны, которые занимают 278 млн га, или около 40 % всей лесопокрытой площади [3, 17–19]. На территории Нижегородской области она произрастает на юго-западной границе своего естественного распространения, в Варнавинском, Воскресенском, Краснобаковском и Ковернинском административных районах, где порода преимущественно входит в состав смешанных насаждений, в Сокольском – в естественных условиях [11, 16]. Ее насаждениями занято 15 тыс. га. Выращивание лиственницы сибирской в указанном регионе весьма перспективно. Исключительно высокие показатели имеют лесные культуры, размещенные в Богородском лесничестве на светло-серой лесной почве [12]. Как показал многолетний опыт, лиственница сибирская представляет значительный интерес для повышения результативности искусственного лесовосстановления, а также для обогащения растительных ресурсов [11, 13].

Уникальный комплекс полезных свойств, широкое применение в различных типах искусственных насаждений, высокая устойчивость к неблагоприятным факторам среды делают лиственницу объектом разносторонних научных изысканий во Франции [25], Румынии [32, 36], Южной Корее [31], США [37], Польше [23, 33], Чехии [28], Италии [22, 34], Швеции [35]. При этом спектр реализуемых направлений исследований достаточно широк: генетическая изменчивость [32, 35], варьирование признаков шишек [23, 36], контролируемое опыление [25], химизм корневых систем [30], экологические реакции и выживание [33], фенология хвои [34], лесовосстановление и особенности прорастания семян [26, 29]. Весьма активно ведется интродукция представителей рода лиственница [27, 31], и в данном контексте порода также является предметом пристального внимания [24]. К сожалению, в настоящее время несмотря на солидный потенциал хозяйственного применения лиственница сибирская в Нижегородской области практически не используется при лесовосстановлении и лесоразведении.

Цель исследования – проведение сравнительной оценки таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской на территории Нижегородской области для определения эффективности ее введения в состав искусственных насаждений различного целевого назначения и конструкций.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований служили участки лесных культур общего назначения, заложенных в 1958 г. на территории Богородского участкового лесничества Нижегородской области. Густота посадки 5000 шт./га. Культуры были созданы на вырубках по бороздам 2-летними сеянцами. Семена для их выращивания были получены из Красноярского края. Рельеф участков ровный, почва относится к светло-серой лесной. Согласно действующему лесорастительному районированию, обследованная территория входит в зону хвойно-широколиственных (смешанных) лесов европейской части России, включена в лесной район европейской части Российской Федерации (3-й лесорастительный район). Сведения об этих участках приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики обследованных участков*

№ участка	Тип леса, ТЛУ**	Площадь, га	Запас, м ³		Географические координаты	
			на 1 га	общий	Северная широта	Восточная долгота
1	СЛП, С ₂	1,3	25	33	56°00'46.6"	43°20'36.9"
2	СЛП, С ₂	2,1	38	80	56°00'56.9"	43°21'05.3"
3	СДУБ, С ₂	2,3	33	76	56°03'10.9"	43°26'12.0"

*По уточненным материалам лесоустройства 2012 г.; координаты участков инструментально установлены авторами. ** ТЛУ – тип лесорастительных условий; СЛП – сосняк липняковый; СДУБ – сосняк дубовый; С₂ – свежие сугрудки.

Согласно данным табл. 1, условия произрастания на опытных участках имеют много общих черт: одинаковый тип лесорастительных условий, близкие координатные позиции, единые или сходные типы леса.

Методологической основой рабочих методик служил принцип единственного логического различия, что соответствует общепринятым требованиям. Работа выполнялась полевым стационарным методом. Характеристика культур лиственницы давалась по результатам натурного обследования участков. Пробные площади закладывали в соответствии с действующим отраслевым стандартом. Диаметр ствола на высоте 1,3 м определяли мерной вилкой по 1-сантиметровым ступеням, высоту – высотомером SUUNTO с точностью $\pm 0,5$ м, расстояние от поверхности почвы до живого и мертвого сучка – лазерным дальномером (Stabila d 76855) с точностью ± 1 см. Все таксационные показатели устанавливали при сплошном перечете главной породы, древостой которой образовал отдельный элемент леса в составе лесных культур. Статистическую обработку первичной лесоводственной информации выполняли по общепринятым методическим схемам [6]. Оценку степени изменчивости анализируемых признаков давали по шкале С.А. Мамаева [13]. Вычисления вели в электронных таблицах Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

При натурном обследовании участков лесных культур были установлены их основные лесоводственно-таксационные характеристики (табл. 2).

Таблица 2

Лесоводственно-таксационные показатели лесных культур лиственницы сибирской в Нижегородской области

№ участка	Породный состав*	Ярус	Возраст, лет	Бонитет, класс	Полнота
1	8Л1С1ДН	1	54	1	0,7
2	6Л3ДН1Б+с	1	54	1А	0,8
3	10Л+б	1	69	1	0,7

*Л – лиственница; С(с) – сосна; ДН – дуб низкоствольный; Б(б) – береза.

Как видно из табл. 2, ряд характеристик обследованных насаждений имеет много общего: являясь весьма продуктивными согласно показателям бонитета, они обладают сходной полнотой. Кроме того, в каждом из них наблюдается первый ярус, сформированный главной породой, и зафиксирован почти одинаковый возраст. Только на участке 3 возраст насаждений выше (69 лет), чем на участках 1 и 2 (54 года). Удалось обнаружить определенные различия:

породный состав обследованных насаждений неодинаков. Отличается и их общий запас: на участке 1 – 33 м³, на 2 – 80 м³, на 3 – 76 м³. Обращает на себя внимание формирование типов леса: лиственничные насаждения на всех участках, согласно таксационным описаниям, вошедшим в материалы лесоустройства, отнесены к «соснякам».

Количественная оценка состояния древостоя на участках обследованных лесных культур представлена в табл. 3.

Таблица 3

**Сравнительная характеристика таксационных показателей
лиственницы сибирской в лесных культурах Нижегородской области**

Признак	Счет	Среднее	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	$C_v, \%$	t	P, %
<i>Участок № 1</i>										
1	186	26,24	3,60	34,00	18,00	16,00	0,26	13,72	99,44	1,01
2	186	30,31	6,16	46,00	12,00	34,00	0,45	20,33	67,01	1,49
3	186	491,40	303,19	1800,00	100,00	1700,00	22,23	61,70	22,10	4,52
4	186	17,04	2,40	21,00	9,00	12,00	0,18	14,06	97,03	1,03
5	186	6,92	2,27	13,00	1,00	12,00	0,17	32,75	41,65	2,40
6	186	6,61	2,25	13,00	1,00	12,00	0,16	34,05	40,06	2,50
7	186	21,32	4,24	32,00	4,00	28,00	0,31	19,87	68,64	1,46
8	186	0,075	0,031	0,166	0,011	0,155	0,002	41,26	33,06	3,03
9	186	402,52	199,04	2034,68	180,61	1854,07	14,59	49,45	27,58	3,63
<i>Участок № 2</i>										
1	195	25,44	3,26	32,00	18,00	14,00	0,23	12,82	108,90	0,92
2	195	35,30	6,26	50,00	14,00	36,00	0,45	17,74	78,73	1,27
3	195	498,46	281,83	1500,00	200,00	1300,00	20,183	56,54	24,70	4,05
4	195	15,12	2,51	24,00	6,00	18,00	0,18	16,60	84,17	1,19
5	195	6,84	2,06	13,00	1,00	12,00	0,15	30,05	46,46	2,15
6	195	6,63	1,92	12,00	1,00	11,00	0,14	28,96	48,22	2,07
7	195	10,32	3,92	22,00	1,00	21,00	0,28	37,95	36,80	2,71
8	195	0,10	0,03	0,20	0,02	0,18	0,002	34,01	41,06	2,44
9	195	283,67	128,67	1299,88	127,39	1172,49	9,21	45,36	30,79	3,25
<i>Участок № 3</i>										
1	195	28,32	4,18	38,00	20,00	18,00	0,30	14,76	94,59	1,06
2	195	31,35	4,79	42,00	20,00	22,00	0,34	15,26	91,49	1,09
3	195	404,10	168,63	900,00	200,00	700,00	12,08	41,73	33,46	2,99
4	195	10,82	2,75	19,00	5,00	14,00	0,20	25,44	54,90	1,82
5	195	8,34	1,78	12,00	2,00	10,00	0,13	21,33	65,47	1,53
6	195	7,66	1,96	12,00	2,00	10,00	0,14	25,56	54,64	1,83
7	195	17,49	4,62	30,00	5,00	25,00	0,33	26,43	52,83	1,89
8	195	0,08	0,02	0,14	0,03	0,11	0,002	30,01	46,53	2,15
9	195	381,65	93,31	828,03	175,16	652,87	6,68	24,45	57,12	1,75

Примечания. 1. СКО – среднееквадратическое отклонение; max – максимальное значение анализируемого показателя; min – минимальное значение анализируемого показателя; Δ_{lim} – размах изменчивости, или диапазон значений анализируемого показателя; $\pm m$ – ошибка репрезентативности выборочного среднего (абсолютная ошибка); $C_v, \%$ – коэффициент изменчивости значений анализируемого показателя; t – критерий достоверности; P – точность опыта, или относительная ошибка. 2. Признак 1 – высота ствола, м; 2 – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см; 3 – расстояние до 1-го мертвого сучка, см; 4 – расстояние до 1-го живого сучка, м; 5 – диаметр кроны С-Ю, м; 6 – диаметр кроны В-З, м; 7 – протяженность живой части кроны, м; 8 – площадь поперечного сечения ствола, м²; 9 – отношение высоты ствола к площади его поперечного сечения (напряженность роста).

Данные табл. 3 свидетельствуют, что параметры ствола весьма неоднородны. Абсолютный максимум диаметра на участке 1 (46 см) превышает абсолютный минимум на этом участке (12 см) в 3,83 раза; на участке 2 (50 см против 14 см) – в 3,57 раза; на участке 3 (42 см против 20 см) – в 2,1 раза. Аналогичные лимиты высоты ствола на участке 1 различались в 1,89 раза, на участках 2 и 3 – в 1,78 раза. Изменчивость диаметра на участках 1 и 2 относится к среднему уровню по шкале Мамаева (1: $C_v = 20,33\%$; 2: $C_v = 17,74\%$), на участке 3 – к низкому ($C_v = 15,26\%$). Варьирование высоты ствола на всех трех участках слабовыраженное, имеет весьма близкие по величине оценки и относится к низкому уровню шкалы Мамаева (1: $C_v = 13,72\%$; 2: $C_v = 12,82\%$; 3: $C_v = 14,76\%$). Изменчивость площади поперечного сечения на участке 1 – высокая ($C_v = 41,26\%$), на участках 2 и 3 – повышенная ($C_v = 34,01\%$; $C_v = 30,01\%$ соответственно). Наиболее подвержено изменчивости расстояние до первого мертвого сучка кроны (1: $C_v = 61,70\%$ (очень высокий уровень); 2: $C_v = 56,54\%$ (очень высокий уровень); 3: $C_v = 41,73\%$ (высокий уровень)).

Полученные в ходе статистической обработки данные вполне достоверны: t-критерий заметно превосходит табличный минимум значений (в нашем случае на 5 %-м уровне значимости $t = 1,96$), а оценки точности опыта (P) не превышают критический 5 %-й порог.

Материалы табл. 2 и 3 дают представление о том, что возраст и линейные параметры ствола (высота и диаметр) находятся в заметной положительной взаимозависимости: с увеличением возраста повышаются и диаметр, и высота. Это замечание позволяет предположить, что рассматриваемые насаждения лиственницы продолжают формировать качественный и продуктивный древостой в данных условиях, что в целом согласуется с общепринятыми представлениями о возрастной динамике таксационных показателей [4, 14]. Также нами установлена связь между породным составом и общим запасом обследованных насаждений. Так, на участке 2, в составе древостоя которого присутствует береза, стволовой запас больше, чем на участке 3, который по площади превосходит участок 2. Аналогичные сведения приведены в работе В.В. Костышева [8], отмечавшего, что участие в составе лиственничного древостоя примеси березы способствует повышению очищаемости ствола главной породы от сучьев (расстояние до первого мертвого и живого сучка), снижая сбежистость.

Важным итогом наблюдений выступает обнаруженное принципиальное соответствие сложившихся в Нижегородской области экологических условий биологическим особенностям лиственницы сибирской. Необходимо подчеркнуть, что в рассматриваемом случае она является экзотом [11], а отмеченный факт определил успех ее интродукции. Поскольку у всех обследованных насаждений установлен высокий бонитет, то тип лесорастительных условий, в которых они сформировались (на опытных участках представлены свежие сугрудки C_2), может быть признан наиболее предпочтительным для создания в регионе культур данной древесной породы.

Культуры лиственницы создавались при уже сформировавшемся типе леса, который относится к сосновым насаждениям, вследствие чего лиственница по результатам лесоустройства была отнесена к «соснякам» [11]. При этом известно, что в границах естественного ареала она формирует лиственничные типы леса, например: в Карелии – лиственнично-еловые кисличные типы леса [7], в Нижнем Приангарье – лиственничники травяной группы типов леса [9].

Одним из немаловажных фактов является зафиксированная нами зависимость варьирования анализируемых признаков от возраста: с его

увеличением их изменчивость снижается. Наиболее контрастно это проявилось на участке 3, где коэффициент вариации по всем таксационным показателям древостоя в возрасте 69 лет, за исключением высоты ствола, ниже, чем на участках 1 и 2, на которых возраст насаждений составляет 54 года. Аналогичные сведения приведены в работах Н.Н. Кулаковой [10]: при исследовании лиственницы сибирской в Нижнем Приангарье Красноярского края ею было замечено, что с увеличением класса возраста дисперсия многих параметров становится меньше и, как следствие, точность опыта возрастает.

Заключение

Результаты исследований позволяют сделать вывод об удовлетворительном состоянии и хорошей продуктивности лесных культур лиственницы сибирской в зоне проведения научной работы. Почвенно-климатические параметры региона и принятая агротехника создания лесных культур способствуют формированию высокобонитетных насаждений указанной древесной породы. В целом условия, в которых были созданы лесные культуры лиственницы сибирской на обследованных участках, подходят для закладки таких искусственных насаждений. Их породный состав позволил сформировать насаждения, способные успешно выполнять защитные, санитарно-гигиенические и рекреационные функции, а в перспективе – служить источником ценного древесного сырья.

Таким образом, сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской и ее биологического состояния в условиях переборки семенного материала в Нижегородскую область показала, что полученные результаты могут найти применение в лесовосстановлении при проектировании и создании в этом регионе искусственных насаждений широкого спектра форм хозяйственного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Селекционный потенциал плюсовых деревьев. Saarbrücken: Lap Lambert Academic Publishing, 2011. 412 с. [Besschetnova N.N. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Plus Trees Breeding Potential. Saarbrücken, Lap Lambert Academic Publishing, 2011. 412 p.].
2. Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Морфометрия и физиология хвои плюсовых деревьев. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2014. 368 с. [Besschetnova N.N., Besschetnov V.P. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Morphometrics and Physiology of Plus Tree Needles. Nizhny Novgorod, NNSAA Publ., 2014. 368 p.].
3. Бобров Е.Г. История и систематика лиственниц: доложено на двадцать пятом Комаровском чтении 12 окт. 1970 г. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1972. 96 с. [Bobrov E.G. History and Taxonomy of Larch Trees: Reported at the 25th Komarov Readings on October 12, 1970. Leningrad, Nauka Publ., 1972. 96 p.].
4. Верхунов П.М., Черных В.Л. Таксация леса. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 395 с. [Verkhunov P.M., Chernykh V.L. Forest Valuation. Yoshkar-Ola, MarSTU Publ., 2007. 395 p.].
5. Государственная программа Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 годы: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2012 г. № 2593-р // Собр. законодательства Российской Федерации. 2013. № 2. 230 с. Режим доступа: http://www.nbchr.ru/PDF/042_oos.pdf (дата обращения 17.09.13). [State Program of the Russian Federation “Development of Forestry” for 2013–2020: Approved by the Order of the Government of the Russian

Federation Dated December 28, 2012 No. 2593-p. *Corpus of Legislation of the Russian Federation*, 2013, no. 2. 230 p.].

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov B.A. *Field Study Technique with the Basics of Statistical Processing of Research Results*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p.].

7. Дылис Н.В. Лиственница Восточной Сибири и Дальнего Востока. Изменчивость и природное разнообразие. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 210 с. [Dylis N.V. *Larch from Eastern Siberia and the Far East. Variability and Natural Diversity*. Moscow, AN SSSR Publ., 1961. 210 p.].

8. Кущенко И.Т. Лиственница сибирская на западной границе ареала // Принципы экологии. 2015. № 2. С. 55–65. [Kishchenko I.T. Siberian Larch on the Western Edge of Its Area. *Principy ekologii* [Principles of the Ecology], 2015, no. 2, pp. 55–65]. DOI: [10.15393/j1.art.2015.4142](https://doi.org/10.15393/j1.art.2015.4142)

9. Костышев В.В. Сравнительный рост культур сосны и лиственницы в типе леса сосняк травяной // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы X Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник». Ч. 2. / под ред. С.В. Залесова [и др.]. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2014. С. 74–76. [Kostyshev V.V. Comparative Growth of Pine and Larch Plantations in the Grassy Pine Forest Type. *Scientific Work of Youth to the Forest Complex of Russia: Proceedings of the 10th All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduate Students and the Competition within the Program “Umnik”*. Part 2. Yekaterinburg, UGLTU Publ., 2014, pp. 74–76].

10. Кулакова Н.Н. Динамика таксационных показателей модальных древостоев лиственницы сибирской в Нижнем Приангарье // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 6(129). С. 155–160. [Kulakova N.N. Dynamics of Forest Inventory Indices of Modal Forest Stands of Siberian Larch in the Lower Angara Region. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2017, no. 6(129), pp. 155–160].

11. Куприянов Н.В. Опыт выращивания лиственницы в культуре в Горьковской области // Изв. вузов. Лесн. журн. 1969. № 1. С. 39–43. [Kupriyanov N.V. Practice of Growing Larch in Culture in the Gorky Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1969, no. 1, pp. 39–43].

12. Куприянов Н.В., Веретенников С.С., Шишов В.В. Леса и лесное хозяйство Нижегородской области. Н. Новгород: Волго-Вят. кн. изд-во, 1995. 348 с. [Kupriyanov N.V., Veretennikov S.S., Shishov V.V. *Forests and Forestry of the Nizhny Novgorod Region*. Nizhny Novgorod, Volgo-Vyatskoye knizhnoye izdatel'stvo, 1995. 348 p.].

13. Логунов Д.В. Экологические особенности роста и развития представителей рода лиственница (*Larix* Mill.) в условиях антропогенных ландшафтов Нижегородской области: дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2002. 287 с. [Logunov D.V. *Ecological Features of Growth and Development of Representatives of the Genus Larch (Larix Mill.) in the Conditions of Anthropogenic Landscapes of the Nizhny Novgorod Region*: Cand. Biol. Sci. Diss. Nizhny Novgorod, 2002. 287 p.].

14. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1973. 284 с. [Mamayev S.A. *Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p.].

15. Мелехов И.С. Лесоведение. М.: МГУЛ, 2004. 398 с. [Melekhov I.S. *Forest Science*. Moscow, MGUL Publ., 2004. 398 p.].

16. Мельник П.Г., Карасев Н.Н. Географическая изменчивость лиственницы в фазе приспевания // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 1. С. 60–74. [Melnik P.G., Karasev N.N. Geographic Variation of Larch at the Premature Stage. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 1, pp. 60–74].

17. Милютин Л.И. Биоразнообразие лиственниц России // Хвойные бореальной зоны. 2003. Вып. 1. С. 6–9. [Milyutin L.I. Biodiversity of Larch in Russia. *Hvojnyye boreal'noj zony* [Conifers of the boreal area], 2003, iss. 1, pp. 6–9].

18. Никитин К.Е., Швиденко А.З. Методы и техника обработки лесоводственной информации. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 272 с. [Nikitin K.E., Shvidenko A.Z. *Methods and Technique for Processing Silvicultural Information*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 272 p.].
19. Сукачев В.Н. К истории развития лиственниц // Лесн. дело: сб. ст. / под ред. проф. М.Е. Ткаченко. Л.; М.: Новая деревня, 1924. С. 12–44. [Sukachev V.N. On the History of the Development of Larch Trees. *Forestry: Collection of Academic Papers*. Ed. by Prof. M.E. Tkachenko. Leningrad, Novaya derevnya Publ., 1924, pp. 12–44].
20. Тимофеев В.П. Лиственница в культуре. М.; Л.: Гослестехиздат, 1947. 296 с. [Timofeyev V.P. *Larch in Culture*. Moscow, Goslestekhzdat Publ., 1947. 296 p.].
21. Яблоков А.С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослестехиздат, 1934. 128 с. [Yablokov A.S. *Larch Plantations and Care of Them*. Moscow, Goslestekhzdat Publ., 1934. 128 p.].
22. Anfodillo T., Rento S., Carraro V., Furlanetto L., Urbinati C., Carrer M. Tree Water Relations and Climatic Variations at the Alpine Timberline: Seasonal Changes of Sap Flux and Xylem Water Potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst. and *Pinus cembra* L. *Annals of Forest Science*, 1998, vol. 55, no. 1-2, pp. 159–172. DOI: [10.1051/forest:19980110](https://doi.org/10.1051/forest:19980110)
23. Aniszewska M. Analysis of Opening Cones of Selected Coniferous Trees. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Series: Agriculture*, 2010, no. 55, pp. 57–64.
24. Badalotti A., Anfodillo T., Grace J. Evidence of Osmoregulation in *Larix decidua* at Alpine Treeline and Comparative Responses to Water Availability of Two Co-occurring Evergreen Species. *Annals of Forest Science*, 2000, vol. 57, no. 7, pp. 623–633. DOI: [10.1051/forest:2000146](https://doi.org/10.1051/forest:2000146)
25. Bonnet-Masimbert M., Pâques L.E., Baldet P., Philippe G. From Flowering to Artificial Pollination in Larch for Breeding and Seed Orchard Production. *The Forestry Chronicle*, 1998, vol. 74, no. 2, pp. 195–202. DOI: [10.5558/tfc74195-2](https://doi.org/10.5558/tfc74195-2)
26. Clausen J., Kozlovsky T.T. Observation of Growth of Long Shoots at *Larix laricina*. *Canadian Journal of Botany*, 1970, vol. 48, no. 6, pp. 1045–1048. DOI: [10.1139/b70-150](https://doi.org/10.1139/b70-150)
27. Colas F., Perron M., Tousignant D., Parent C., Pelletier M., Lemay P. A Novel Approach for the Operational Production of Hybrid Larch Seeds under Northern Climatic Conditions. *The Forestry Chronicle*, 2008, vol. 84, no. 1, pp. 95–104. DOI: [10.5558/tfc84095-1](https://doi.org/10.5558/tfc84095-1)
28. Gryc V., Vavřík H., Horn K. Density of Juvenile and Mature Wood of Selected Coniferous Species. *Journal of Forest Science*, 2011, vol. 57, no. 3, pp. 123–130. DOI: [10.17221/18/2010-JFS](https://doi.org/10.17221/18/2010-JFS)
29. Ho R., Rouse G.E. Pollen Germination of *Larix sibirica* (Siberian Larch) *in vitro*. *Canadian Journal of Botany*, 1970, vol. 48, no. 2, pp. 213–215. DOI: [10.1139/b70-032](https://doi.org/10.1139/b70-032)
30. Jeong J., Kim C. Carbon and Nitrogen Status of Decomposing Roots in Three Adjacent Coniferous Plantations. *Annals of Forest Research*, 2014, vol. 57, iss. 1, pp. 109–117. DOI: [10.15287/afr.2014.175](https://doi.org/10.15287/afr.2014.175)
31. Markiewicz P. Problems with Seed Production of European Larch in Seed Orchards in Poland. *Seed Orchards: Proceedings from a Conference, at Umeå, Sweden, September 26–28, 2007*. Uppsala, Sweden, SLU/Publikationstjänst, 2008, pp. 161–164.
32. Mihai G., Teodosiu M. Genetic Diversity and Breeding of Larch (*Larix decidua* Mill.) in Romania. *Annals of Forest Research*, 2009, vol. 52, iss. 1, pp. 97–108.
33. Repáč A., Tučeková I., Sarvašová J., Vencurik I. Survival and Growth of Outplanted Seedlings of Selected Tree Species on the High Tatra Mts. Windthrow Area after the First Growing Season. *Journal of Forest Science*, 2011, vol. 57(8), pp. 349–358. DOI: [10.17221/130/2010-JFS](https://doi.org/10.17221/130/2010-JFS)
34. Rossi S., Rathgeber C.B.K., Deslauriers A. Comparing Needle and Shoot Phenology with Xylem Development on Three Conifer Species in Italy. *Annals of Forest Science*, 2009, vol. 66, iss. 2, pp. 206p1–206p8. DOI: [10.1051/forest/2008088](https://doi.org/10.1051/forest/2008088)
35. Semerikov V.L., Lascoux M. Nuclear and Cytoplasmic Variation within and between Eurasian *Larix* (Pinaceae) Species. *American Journal of Botany*, 2003, vol. 90, iss. 8, pp. 1113–1123. DOI: [10.3732/ajb.90.8.1113](https://doi.org/10.3732/ajb.90.8.1113)

36. Vălcan A., Holonec L., Tăut I., Sestras R.E. Variability of the Traits of Cones and Seeds in Different Larch Clones I. The Influence of the Provenance. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 2011, vol. 68, no. 1, pp. 474–480. DOI: [10.15835/buasvmcn-hort:7018](https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:7018)

37. Williams G.M., Nelson A.S., Affleck D.L.R. Vertical Distribution of Foliar Biomass in Western Larch (*Larix occidentalis*). *Canadian Journal of Forest Research*, 2018, vol. 48, no. 1, pp. 42–57. DOI: [10.1139/cjfr-2017-0299](https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0299)

COMPARATIVE ASSESSMENT OF VALUATION INDICATORS OF SIBERIAN LARCH (*Larix sibirica*) FOREST PLANTATIONS WHEN INTRODUCTION INTO THE NIZHNY NOVGOROD REGION

M.M. Ulitin, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAX-4328-2020](https://orcid.org/0000-0001-6226-5547),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6226-5547>

V.P. Besschetnov, Doctor of Biology, Prof.; ResearcherID: [S-5889-2016](https://orcid.org/0000-0001-5024-7464),

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

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, prosp. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: ulitin2016@bk.ru

The practice of using Siberian larch in artificial reforestation on the territory of the Nizhny Novgorod region in the forests of the Bogorodsk district is considered. It should be noted that the relevance of the development of forest plantations with the diversification of their species composition is due to the prospects for the expansion of the forest industry, which is determined by the State Program “Forestry Sector Development in the Russian Federation”. At the same time, despite of a wide range of possibilities of economic use of Siberian larch in the Nizhny Novgorod region, it is practically not used here when developing artificial stands for various purposes and structures. Scots pine is mainly used in the development of forest plantations in the Nizhny Novgorod region. Although the positive effect of the introduction of Siberian larch into the stand composition is confirmed by a comparative assessment of valuation indicators in forest plantations on the territory of the Bogorodsk district forestry. Based on the research results, 3 plots with the same types of forest site conditions were examined. High-quality Siberian larch stands with various species composition were formed on the plots. The work was carried out by the field methods; the principle of single logical distinction was their methodological framework. The characteristics of the trial plots were given on the basis of an on-site survey. All research results were statistically significant. A relationship has been established between the species composition and the stock of these stands. In larch plantations mixed in species composition, a larger stock has been accumulated than in pure stands. Also, the study revealed a relationship between the age of stands and the variability of the tested valuation indicators. The research results confirmed the effectiveness of the development of Siberian larch forest plantations in the Nizhny Novgorod region and the acceptability of using the forestry fund areas with forest site conditions of category C₂ for these purposes. The obtained results will be useful in development of Siberian larch plantations in the Middle Volga region, since it has been revealed that the plantations in the Bogorodsk district of the Nizhny Novgorod region achieve the high productiveness at the age of 54.

For citation: Ulitin M.M., Besschetnov V.P. Comparative Assessment of Valuation Indicators of Siberian Larch (*Larix sibirica*) Forest Plantations when Introduction into the Nizhny Novgorod Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 33–41. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-6-33-41](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-33-41)

Keywords: forest plantations, Siberian larch, introduction, silvicultural characteristics, valuation indicators.

Поступила 24.11.19 / Received on November 24, 2019

УДК 630*522.2+630*524.2+629.78
DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54

ВОЗДУШНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВОСТОЕВ

В.Ф. Ковязин, *д-р биол. наук, проф.*; ResearcherID: [Y-5917-2018](https://orcid.org/0000-0002-3118-8515),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3118-8515>

К.П. Виноградов, *канд. техн. наук, доц.*; ResearcherID: [B-4864-2018](https://orcid.org/0000-0001-9339-0316),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9339-0316>

А.А. Киценко, *аспирант*; ResearcherID: [AAP-2113-2020](https://orcid.org/0000-0002-0114-3252),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0114-3252>

Е.А. Васильева, *инж.*; ResearcherID: [AAH-3855-2019](https://orcid.org/0000-0003-1020-2573),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-2573>

Санкт-Петербургский горный университет, 21-я линия В.О., д. 2, Санкт-Петербург, Россия, 199106; e-mail: vfkedr@mail.ru, kostya1495@mail.ru, kna1994@bk.ru, katrinvasileva1997@icloud.com

На сегодняшний день для мониторинга лесов, оценки лесных земель и постановки их на кадастровый учет разрабатываются новейшие бесконтактные методы и технологии изучения лесного фонда. Применение воздушного лазерного сканирования при инвентаризации лесов призвано решить стоящие перед лесоустройством задачи. Лазерное сканирование – единственный метод сбора данных о реальной поверхности, покрытой лесной растительностью, который позволяет получать данные о форме, местоположении и отражательной характеристике исследуемых лесных объектов. Результатом воздушного лазерного сканирования является 3D-массив лазерных отражений с плотностью до нескольких десятков точек на 1 м² и точностью определения их координат менее 10 см в плане и по высоте. Для съемки используются различные сканирующие системы импортного производства. Воздушное лазерное сканирование растительного покрова Земли по множеству характеристик в настоящее время превосходит все существующие технологии оценки количественных и качественных характеристик древостоев. Этот метод оценки и инвентаризации лесов не имеет конкурентов в сфере мониторинга и таксации лесных насаждений, обладает достаточной точностью картографирования древесной растительности, вплоть до подеревной съемки земель, покрытых лесом. Предложенная нами методика определения таксационных показателей (породного состава, густоты, запаса, высоты и диаметра древостоев) прошла проверку на лесном участке Всеволожского района Ленинградской области. Породный состав и густота устанавливались по горизонтальным проекциям крон деревьев, высота деревьев – с помощью программного обеспечения Global Mapper, их средний диаметр – по известным в таксации уравнениям связи диаметра и высоты. Запас насаждения рассчитывался по формулам Дементьева, Денцина и Кювье. Установлено, что результаты определения таксационных показателей посредством воздушного лазерного сканирования могут использоваться при мониторинге лесов наравне с данными глазомерно-измерительной таксации, поскольку полученные сведения о древостое не выходят за пределы допустимых ошибок, указанных в лесоустроительной инструкции.

Для цитирования: Ковязин В.Ф., Виноградов К.П., Киценко А.А., Васильева Е.А. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 42–54. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, древостой, мониторинг, таксационные показатели.

Введение

В настоящее время воздушное лазерное сканирование (ВЛС) применяется во многих отраслях национальной экономики (при управлении земельными ресурсами, инвентаризации земельно-имущественного комплекса, строительстве и реконструкции автомобильных и железных дорог, экологическом мониторинге и др.), поскольку является одним из самых современных и точных методов получения информации о земной поверхности в кратчайшие сроки [27, 30]. Использование метода ВЛС для определения таксационных показателей лесов Всеволожского района Ленинградской области применено впервые.

Целью исследования является сравнение основных таксационных показателей древостоев, полученных по результатам ВЛС напочвенного покрова Земли и наземной глазомерно-измерительной таксации лесного фонда (на примере Ленинградской области).

Предмет исследований – аэрофотоснимки масштаба 1:2000 и облако точек лазерных отражений, полученные при съемке лесного участка, а также материалы лесоустройства Чернореченского лесничества Всеволожского района Ленинградской области.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлись выдела, расположенные в кварталах 176 и 177 Чернореченского лесничества Всеволожского района Ленинградской области [1], общей площадью 160 га, в которых заложены пробные площади размером 50×50 м с количеством деревьев не менее 200 шт. Пробные площади являлись контролем для установления густоты древостоя.

На рис. 1 представлены снимки, полученные по результатам ВЛС, на рис. 2 и 3 – планшеты кварталов 176 и 177 и карта-схема расположения опытных объектов (кварталов) в Чернореченском лесничестве.

Основными древесными породами в насаждениях лесничества являются сосна, береза и осина, именно для этих древостоев и определялись таксационные показатели.



Рис. 1. Снимки исследуемого участка

Fig. 1. Images of the study area

Исходными данными при исследовании служили аэрофотоснимки в спектральных диапазонах R, G, B, NIR (нм) электромагнитных волн, полученные среднеформатной метрической цифровой аэрофотокамерой Leica RCD-30 (фокусное расстояние 80 мм, размер пикселя 6 мкм). Число пикселей результирующего кадра вдоль и поперек маршрута составляло 8956–6708, высота полета – 500 м при частоте сканирования 500 тыс. имп./с и максимальной частоте импульсов 200 кГц. Использовался сканер Leica ALS-70 с объемом запоминающего устройства 6 ч. Точность измерения: по высоте – 7...10 см, в плане – 5...15 см. В результате съемки получены снимки и геопривязки. По файлам геопривязки происходило соединение снимков. Результатом сканирования являлось облако точек с координатами, привязанными к местности. Облако точек имеет свои характеристики, которые можно изменять и настраивать в процессе съемки. С помощью облака точек определялись высоты древостоев [20–22, 26].

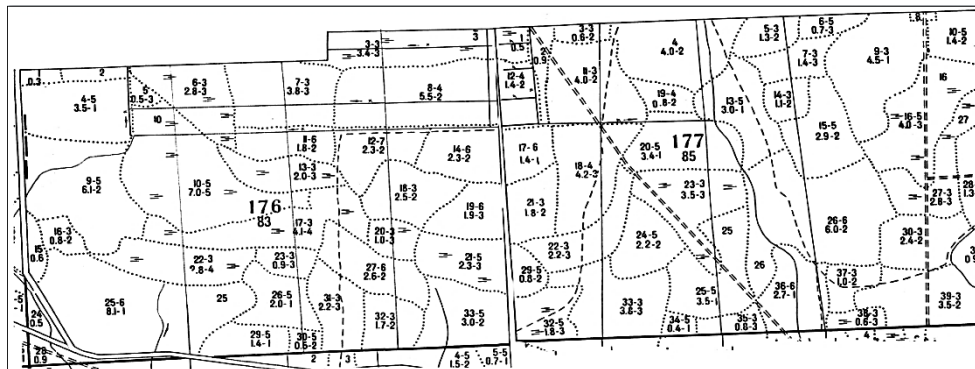


Рис. 2. Планшеты кварталов 176 и 177 Чернореченского лесничества
Fig. 2. Plates of quarters No. 176 and No. 177 of the Chernorech'ye forestry



Рис. 3. Карта-схема расположения опытных кварталов (красным выделены опытные квартала 176 и 177)
Fig. 3. Schematic map showing the location of the test quarters (No. 176 and No. 177 in red)

Главным и прямым дешифровочным признаком служила форма кроны дерева. При таксации лесных насаждений по снимкам чаще всего используют классификацию горизонтальных проекций крон Г.Г. Самойловича [16, 18] (рис. 4).

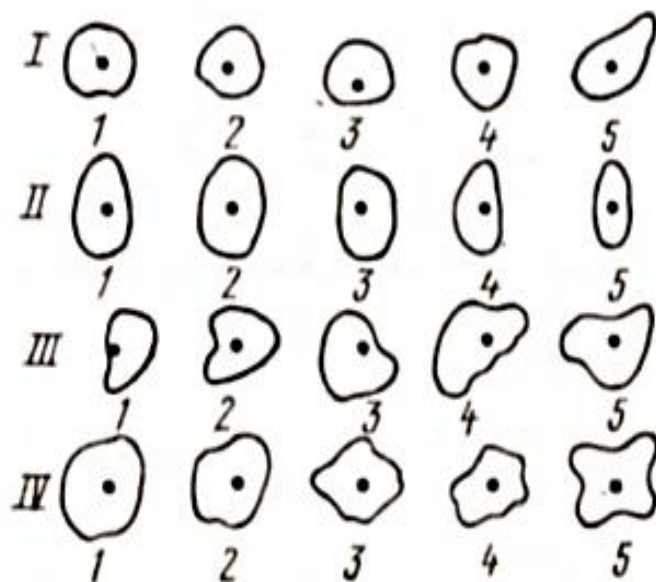


Рис. 4. Схема классификации форм горизонтальной проекции крон деревьев

Fig. 4. Classification schedule of the horizontal projection forms of tree crowns

Для определения состава древостоя в каждом квартале выбиралось по 5 выделов, расположенных в центральной части снимков, чтобы уменьшить влияние искажений и добиться репрезентативности выборки [3–5, 7–10, 13]. Репрезентативность выборки достигалась методом рендомизации, т. е. случайным отбором выделов и числом деревьев на выделе (генеральная совокупность – не менее 200 шт.). Расхождения между выборочной и генеральной совокупностью не превышали $\pm 5\%$. Таксационные показатели насаждений, приведенные в материалах лесоустройства 2015 г., служили контрольными. С использованием классификации Г.Г. Самойловича и прямых дешифровочных признаков установлено [12], что преобладающей породой является береза, примесями – сосна и осина.

Высоты деревьев определялись с помощью программного обеспечения Global Mapper [25], позволившего проанализировать и обработать данные геоинформационной системы со всеми векторными и растровыми картами, провести монтаж снимков, средний диаметр древостоя – по уравнениям связи диаметра и высоты, которые приведены в лесотаксационном справочнике [14]. Для березы, как преобладающей в насаждениях породы, использовалось следующее уравнение:

$$D = 0,96875H - 3; \quad (1)$$

для остальных пород:

сосна

$$h = 1,185H - 1,5; \quad d = 0,070312H^2 - 0,6875H + 10; \quad (2)$$

осина

$$h = H + 2; \quad d = 1,53125H - 6,7, \quad (3)$$

где D – средний диаметр преобладающей породы, см; H – средняя высота преобладающей породы, м; h – средняя высота породы примеси, м; d – средний диаметр породы примеси, см.

Для определения запасов древесины применялись упрощенные формулы объемов стволов деревьев Дементьева, Денцина и аллометрическая зависимость [4–6].

Формула Дементьева [2]:

$$V = \frac{d^2 h}{3}, \quad (4)$$

где h – высота ствола, м; d – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см.

Формула Денцина [2]:

$$V = \frac{d^2}{1000}. \quad (5)$$

Аллометрическая зависимость, или закон структурной корреляции Кювье [6]:

$$V = a \cdot 10^{-5} h^b (d + 1), \quad (6)$$

где a и b – параметры дерева.

Густота древостоя рассчитывалась как средняя сумма деревьев на пробной площади с расчетом количества древесных растений на 1 га.

Результаты исследования и их обсуждение

По классификации горизонтальных проекций крон деревьев Г.Г. Самойловича определялись древесные породы в кварталах 176 и 177 (рис. 5–7).



Рис. 5. Береза (вид сверху)
Fig. 5. Birch (top view)



Рис. 6. Осина (вид сверху)
Fig. 6. Aspen (top view)



Рис. 7. Сосна (вид сверху)
Fig. 7. Pine (top view)

На следующем этапе анализировались данные лесоустроительных материалов и после дешифрирования снимков [11, 17]. По результатам лесоустроительных материалов [15] составлялись диаграммы распределения лесного фонда изучаемых объектов по породам (рис. 8), откуда видно, что преобладающими древесными породами в кварталах 176 и 177 являются береза, сосна и осина.

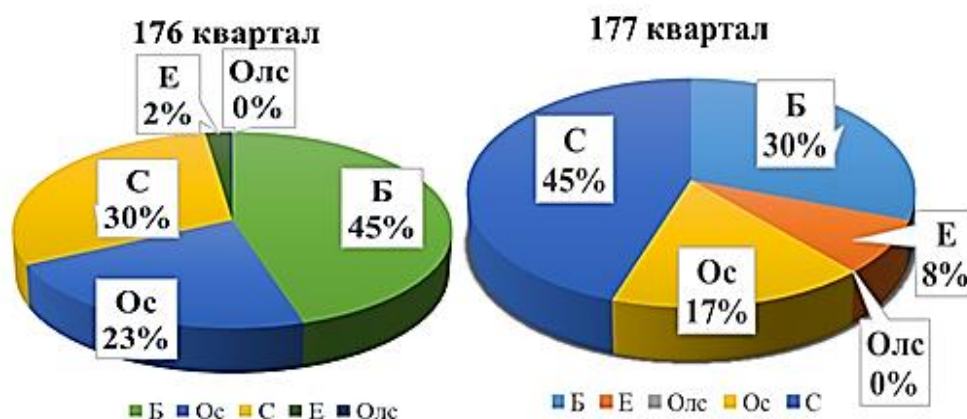


Рис. 8. Распределения исследуемых древостоев по породам

Fig. 8. Distribution of the studied stands by species

Результаты дешифрирования снимков и натурных измерений подлежали сравнению (табл. 1).

Таблица 1

Результаты определения породного состава насаждений

№ квартала	№ выдела	Породный состав насаждений		Разница
		по дешифрированию	по глазомерно-измерительной таксации	
176	21	6Б3С1Ос	6Б2Ос2С	+1С -1Ос
	16	7С3Б	8С2Б	-1С +1Б
	19	4Б4С2Ос	4Б4С2Ос	–
	15	5Б4С1Ос	4Б4Ос2С	+1Б +0С -1Ос
	26	7Б2Ос1С	8Б1С1Ос	-1Б +1Ос
177	21	6С3Б1Ос	7С2Б1Ос	-1С +1Б
	9	6С3Б1Ос	6С3Б1Е	-1Е +1Ос
	6	7Б2С1Ос	8Б2С	-1Б +1Ос
	18	7С3Б	8С2Б	-1С +1Б
	22	7С3Б	8С2Б	-1С +1Б

Примечание. «+» – доля состава больше, чем по результатам наземной инвентаризации; «-» – доля состава меньше, чем по результатам наземной инвентаризации.

Как видно из данных последнего столбца табл. 1, разница между результатами измерений, полученными различными методами, незначительна и колеблется в пределах 1,5 коэффициента состава, что находится в допустимых границах для нормативов глазомерно-измерительной таксации насаждений [15].

На следующем этапе исследований с помощью программного обеспечения Global Mapper [25] для каждого квартала по точкам лазерных отражений строились графики высот (рис. 9). Полученные результаты сопоставлялись с данными наземной таксации. Ошибка определения средней высоты древостоя составила менее 2 м, что находится в пределах, допустимых нормативом [15] (табл. 2).

Рассчитав разницу высот между крайними точками, определили среднюю высоту древостоев для каждой породы, которая совпала для березы, но различалась в допустимых по лесоустроительной инструкции [15] пределах (до 10 %) у осины и сосны.

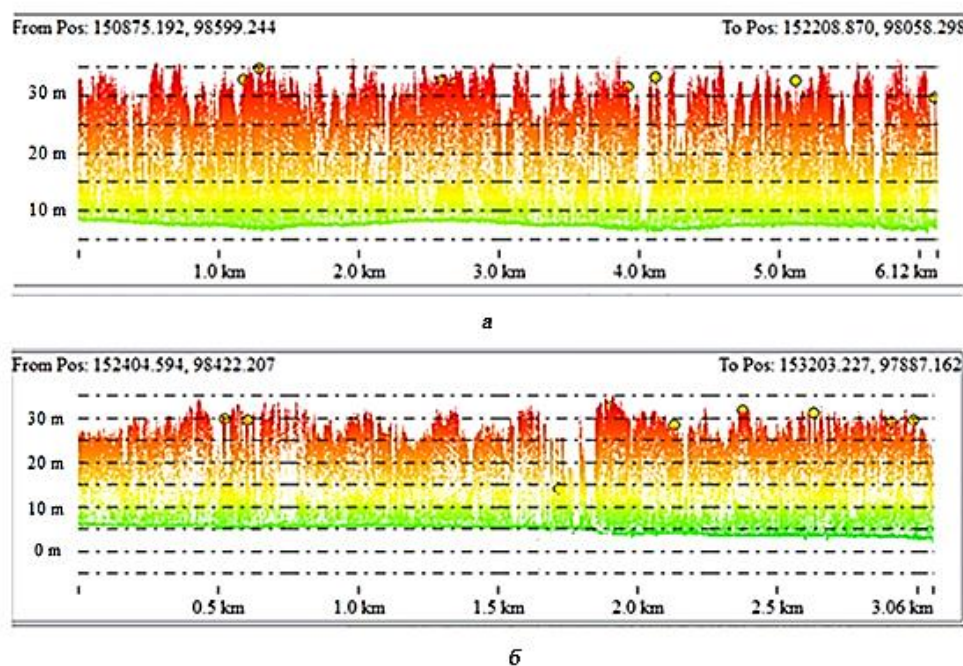


Рис. 9. График высот для древостоев квартала 176 (а) и 177 (б)

Fig. 9. Diagram of heights for the stands of quarter No. 176 (a) and quarter No. 177 (b)

Таблица 2

Результаты определения средних высот древостоев

Порода	Средняя высота, м		Разность высот, м
	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	
Береза	18	18	0
Осина	19	20	-1
Сосна	19	18	+1

Следующим таксационным показателем являлся средний диаметр древостоя.

В табл. 3 представлены результаты исследований и разница между значениями диаметров, полученных методами ВЛС и глазомерно-измерительной таксации. Разность средних диаметров древостоев не превышает норматив определения диаметра (не более 12 %) по инструкции [15]. Следовательно,

данный метод определения средней высоты древостоя может быть применен в лесохозяйственной практике.

Таблица 3

Результаты определения средних диаметров древостоев

Порода	Средний диаметр древостоя, см		Разность диаметров, см
	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	
Береза	15	15	0
Осина	21	22	–1
Сосна	16	17	–1

На дальнейшем этапе исследований, используя формулы (4)–(6) и данные табл. 2 и 3, рассчитывались объемы стволов различных пород и различие между ними при использовании различных методов их определения. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов объемов стволов различных древесных пород (м³)

Порода	По Дементьеву			По Денцину			По аллометрическим зависимостям		
	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	разность, м ³ /%	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	разность, м ³ /%	по ВЛС	по глазомерно-измерительной таксации	разность, м ³ /%
Сосна	0,1387	0,1436	0,0049/3	0,2189	0,3140	0,0951/30	0,1665	0,2087	0,0422/22
Береза	0,1351	0,1350	0,0001/0	0,2276	0,2250	–0,0026/1	0,1488	0,1487	–0,0001/0
Осина	0,2803	0,3088	0,0285/9	0,4238	0,4840	0,0602/12	0,3274	0,3515	0,0241/7

Приведенные в табл. 4 данные позволяют сделать вывод, что формула Денцина дает менее точные результаты, так как в ней представлен только один показатель – диаметр ствола, т. е. ее не следует использовать при расчетах таксационных показателей. Результаты, полученные по формуле Дементьева и по аллометрической зависимости, очень близки между собой и их можно использовать при инвентаризации лесов Северо-Запада России.

Далее выполнялся расчет густоты насаждения вначале на пробной площади (п. п.), а затем на площади 1 га, результаты которого приведены в табл. 5.

Таким образом, на площади 160 га произрастает 36 800 деревьев, средняя густота составляет 230 шт./га.

На заключительном этапе исследований определялся запас древостоев по трем породам с использованием результатов ВЛС (табл. 6).

Таблица 5

Результаты определения густоты насаждений

Квартал	Выдел	Количество стволов, шт./п.п.	Средняя густота, шт./га
176	21	60	252
	16	83	
	15	56	
	19	53	
177	6	22	208
	21	50	
	9	59	
	18	77	

Таблица 6

Результаты определения запаса древостоев по ВЛС

Порода	Запас, м ³ /га		Разность, м ³ /%
	по Дементьеву	по аллометрическим зависимостям	
Сосна	381	436	55/14
Береза	307	354	47/15
Осина	322	375	53/16

Разность между двумя способами определения запаса древостоя составила 14...16 %, что не превышает нормативы (не более 20 %), указанные в лесоустроительной инструкции [15].

Заключение

Воздушное лазерное сканирование на сегодняшний день не имеет аналогов, особенно при съемке лесных массивов [18, 24, 29, 30], так как позволяет с достаточной точностью получать таксационные показатели для отдельного дерева и древостоя в целом и создавать картографические материалы не только по опытным участкам, но и для всего лесного фонда Российской Федерации. Дешифрирование снимков воздушного лазерного сканирования, является основой для определения породного состава и густоты насаждений, их средних высот, диаметров и запасов [19, 23, 28].

При установлении таксационных показателей насаждений рекомендуется применять предложенную в данной статье методику. Значения таксационных показателей, полученных посредством воздушного лазерного сканирования, отличаются от результатов глазомерно-измерительной таксации в допустимых нормативами пределах [15]. Следовательно, предлагаемый бесконтактный метод определения таксационных показателей древостоев может быть применен при инвентаризации лесного фонда Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аналитическая записка о состоянии и использовании земель на территории Всеволожского района Ленинградской области в рамках выполнения работ по Государственному контракту № 0008-16-17 от 19.06. 2017 г. 2017. 129 с. // Росреестр. Режим доступа: https://rosreestr.ru/upload/Doc/16-urp/Аналитическая_записка_Ленинградская_область.pdf (дата обращения: 18.05.19). [Analytical Note on the State and Use of Land in the Territory of the Vsevolozhsk District of the Leningrad Region within the Performance of Works under the State Contract No. 0008-16-17 Dated on 19.06.2017. Rosreestr, 2017. 129 p.].
2. Анушин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 511 с. [Anuchin N.P. Forest Valuation. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 511 p.].
3. Варыгин К.А., Данилин И.М., Рылский И.А. Инвентаризация и мониторинг лесов на основе лазерной локации, цифровой аэро- и космической фотосъемки и спутникового геопозиционирования // Материалы 3-й междунар.-практ. конф. по лесоустройству. Новосибирск, 2012. 56 с. [Varygin K.A., Danilin I.M., Rylskiy I.A. Forest Inventory and Monitoring Based on Laser Detection and Ranging, Digital Aerial and Space Photography and Satellite Geolocation. *Proceedings of the 3rd International Practical Conference on Forest Management*. Novosibirsk, 2012. 56 p.].
4. Данилин И.М. Морфологическая структура, продуктивность и дистанционные методы таксации древостоев Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск, 2003. 35 с. [Danilin I.M. *Morphological Structure, Productivity and Remote Methods of Valuation of Siberian Tree Stands*: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS, 2003. 35 p.].
5. Данилин И.М., Медведев Е.М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъемки лесов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2008. № 1. С. 15–23. [Danilin I.M., Medvedev E.M. Some Results of International Project on Investigation of Possibilities for Laser, Radar and Digital Aerial Survey of Forests. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2008, no. 1, pp. 15–23]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b1a/b1adb20eb1cbc07b009065c60bf89a9f.pdf>
6. Демаков Ю.П., Пуряев А.С., Черных В.Л., Черных Л.В. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики // Вестн. Поволж. гос. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 2(26). С. 19–36. [Demakov Yu.P., Puryaev A.S., Chernyh V.L. Allometric Dependences Application to Assess Phytomass of Various Fractions of Trees and Simulation of Their Dynamics. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2015, no. 2(26), pp. 19–36].
7. Дмитриев И.Д., Мурахтанов Е.С., Сухих В.И. Лесная авиация и аэрофотосъемка. 2-е изд. М.: Агропромиздат, 1989. 366 с. [Dmitriyev I.D., Murakhtanov E.S., Sukhikh V.I. *Forest Aviation and Aerial Photography*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 366 p.].
8. Ефремова М.Н., Шевелев С.Л. Упрощенные формулы для определения объемов стволов березы // Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2018. № 3. С. 81–86. Режим доступа: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 21.05.19). [Efremova M.N., Shevelev S.L. Simplified Formulas for Determining the Volumes of the Trunks of Birch. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2018, no. 3, pp. 81–86]. DOI: [10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.10](https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.3.10)
9. Ковязин В.Ф., Богданов В.Л., Гарманов В.В., Осипов А.Г. Мониторинг зеленых насаждений с применением беспилотных летательных аппаратов // Аграр. науч. журн. Естеств., техн. и экон. науки. 2016. № 4. С. 14–19. [Kovyazin V.F.,

Bogdanov V.L., Garmanov V.V. Monitoring of Green Plantations with the Use of Unmanned Aerial Vehicles. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], 2016, no. 4, pp. 14–19].

10. Ковязин В.Ф., Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Аникин А.С., Минаев В.Н., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса. СПб.: Лань, 2012. 432 с. [Kovyazin V.F., Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Anikin A.S., Minayev V.N., Belyayeva N.V. *Basics of Forestry and Forest Inventory*. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2012. 432 p.].

11. Крутов Н.Г. Дешифрирование снимков: методические указания к выполнению лабораторных работ. Вологда: ВоГУ, 2014. 55 с. [Krutov N.G. *Image Interpretation: Laboratory Operations Manual*. Vologda, VSU Publ., 2014. 55 p.].

12. Кузьмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука, 1977. 160 с. [Kuz'michev V.V. *Patterns of Tree Growth*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 160 p.].

13. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Геолидар, Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. 230 с. [Medvedev E.M. *Laser Detection and Ranging of Land and Forest*. Moscow, Geolidar Publ., 2007. 230 p.].

14. Мошкалева А.Г., Давидов Г.М., Яновский Л.Н., Моисеев В.С., Столяров Д.П., Бурневский Ю.И. Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР. Л.: ЛТА, 1984. 319 с. [Moshkaleva A.G., Davidov G.M., Yanovskiy L.N., Moiseyev V.S., Stolyarov D.P., Burnevskiy Yu.I. *Forest Inventory Handbook for the North-West of the USSR*. Leningrad, LTA Publ., 1984. 319 p.].

15. Об утверждении Лесоустроительной инструкции: приказ М-ва природных ресурсов и экологии РФ от 29 марта 2018 г. № 122. М., 2018. 25 с. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542621790/> (дата обращения: 10.05.19) [On the Approval of Forest Management Instruction: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation Dated March 29, 2018, No. 122. Moscow, 2018. 25 p.].

16. Самойлович Г.Г. Применение аэрофотосъемки и авиации в лесном хозяйстве. Л., 1972. 64 с. [Samoylovich G.G. *The Use of Aerial Photography and Aviation in Forestry*. Leningrad, 1972. 64 p.].

17. Стариков А.В., Батулин К.В. Применение лазерного сканирования в технологии учета древесины // Лесотехн. журн. 2015. № 4. С. 114–122. [Starikov A.V., Baturin K.V. The Use of Laser Scanning Technology of Accounting for Wood. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, no. 4, pp. 114–122]. DOI: [10.12737/17409](https://doi.org/10.12737/17409)

18. Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г. Справочник таксатора. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 853 с. [Tret'yakov N.V., Gorskiy P.V., Samoylovich G.G. *Forest Cruiser Handbook*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1952. 853 p.].

19. Abegg M., Kükenbrink D., Zell J., Schaepman M.E., Morsdorf F. Terrestrial Laser Scanning for Forest Inventories – Tree Diameter Distribution and Scanner Location Impact on Occlusion. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 6, art. 184. DOI: [10.3390/f8060184](https://doi.org/10.3390/f8060184)

20. Bienert A., Maas H.-G., Scheller S. Analysis of the Information Content of Terrestrial Laserscanner Point Clouds for the Automatic Determination of Forest Inventory Parameters. *Proceedings of the International Workshop on 3D Remote Sensing in Forestry, Vienna, February 14–15, 2006*. Vienna, BOKU, 2006, pp. 55–60.

21. Bienert A., Scheller S., Keane E., Mullooly G., Mohan F. Application of Terrestrial Laser Scanners for the Determination of Forest Inventory Parameters. *ISPRS Archives: Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium "Image Engineering and Vision Metrology"*, Dresden, Germany, September 25–27, 2006. Dresden, 2006, vol. XXXVI, part 5. 5 p.

22. Cabo C., Ordóñez C., López-Sánchez C.A., Armesto J. Automatic Dendrometry: Tree Detection, Tree Height and Diameter Estimation Using Terrestrial Laser Scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, vol. 69, pp. 164–174. DOI: [10.1016/j.jag.2018.01.011](https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.01.011)
23. Dassot M., Colin A., Santenoise P., Fournier M., Constant T. Terrestrial Laser Scanning for Measuring the Solid Wood Volume, Including Branches, of Adult Standing Trees in the Forest Environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, vol. 89, pp. 86–93. DOI: [10.1016/j.compag.2012.08.005](https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.005)
24. Disney M., Burt A., Calders K., Raunonen P., Gonzalez De Tanago Meñaca J. et al. New Applications of 3D Measurement and Modelling for Quantifying Forest Structure and Biomass. *Proceedings of the International Conference Global Vegetation Monitoring and Modelling (GV2M)*, Avignon, France, February 3–7, 2014. Avignon, INRA, 2014, pp. 208–209.
25. *Global Mapper: Getting Started Guide*. Blue Marble Geographics, 2018. 24 p. Available at: <https://www.bluemarblegeo.com/docs/guides/global-mapper-19-getting-started-guide-en.pdf> (accessed 13.10.19).
26. Lovell J.L., Jupp D.L.B., Newnham G.J., Culvenor D.S. Measuring Tree Stem Diameters Using Intensity Profiles from Ground-Based Scanning Lidar from a Fixed Viewpoint. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2011, vol. 66, iss. 1, pp. 46–55. DOI: [10.1016/j.isprsjprs.2010.08.006](https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.08.006)
27. Maltamo M., Næsset E., Vauhkonen J. *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning*. Dordrecht, Springer, 2014. 464 p. DOI: [10.1007/978-94-017-8663-8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8)
28. McElhinny C., Gibbons P., Brack C., Bauhus J. Forest and Woodland Stand Structural Complexity: Its Definition and Measurement. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 218, iss. 1-3, pp. 1–24. DOI: [10.1016/j.foreco.2005.08.034](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.034)
29. Næsset E. Predicting Forest Stand Characteristics with Airborne Scanning Laser Using a Practical Two-Stage Procedure and Field Data. *Remote Sensing Environment*, 2002, vol. 80, iss. 1, pp. 88–99. DOI: [10.1016/S0034-4257\(01\)00290-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00290-5)
30. Wulder M.A., Franklin S.E. *Remote Sensing of Forest Environments*. New York, Springer, 2003. 519 p. DOI: [10.1007/978-1-4615-0306-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0306-4)

AIRBORNE LASER SCANNING FOR CLARIFICATION OF THE VALUATION INDICATORS OF FOREST STANDS

V.F. Kovyazin, Doctor of Biology, Prof.; ResearcherID: [Y-5917-2018](https://orcid.org/0000-0002-3118-8515),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3118-8515>

K.P. Vinogradov, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [B-4864-2018](https://orcid.org/0000-0001-9339-0316),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9339-0316>

A.A. Kitcenko, Postgraduate Student; ResearcherID: [AAP-2113-2020](https://orcid.org/0000-0002-0114-3252),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0114-3252>

E.A. Vasilyeva, Engineer; ResearcherID: [AAH-3855-2019](https://orcid.org/0000-0003-1020-2573),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1020-2573>

Saint-Petersburg Mining University, 21-ya liniya Vasil'yevskogo ostrova, 2, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation; e-mail: vfkedr@mail.ru, kostya1495@mail.ru, kna1994@bk.ru, katrinvasileva1997@icloud.com

Nowadays the latest non-contact methods and technologies for studying the forest fund are being developed for forest monitoring improvement, forest lands assessment and their cadastral registration. It is the use of airborne laser scanning (ALS) in forest inventory that is designed to solve the challenges forest management facing. Laser scanning is the only method of collecting data on the real surface covered with forest vegetation, which allows to

obtain data on the shape, location and reflectivity of the studied forest objects. The result of ALS is a 3D array of laser reflections with a density of up to several dozens of points per 1 m² and accuracy of determining their coordinates of less than 10 cm in plan and height. Various imported scanning systems are used for surveying. The ALS of the Earth's vegetation cover is superior to all existing technologies for assessing the quantitative and qualitative parameters of forest stands in a set of characteristics. This method of assessment and inventory of forests has no competitors in the field of monitoring and valuation of forest stands. It also has sufficient accuracy in mapping woody vegetation, up to the tree survey of forested lands. The article proposes a method for determining valuation indicators: species composition, density, stock, height and diameter of forest stands according to the results of ALS in the forest area of the Vsevolozhsk district (Leningrad region). The species composition and density were determined by horizontal projections of tree crowns. The heights of the trees were determined using the Global Mapper software, and their average diameter was found using the diameter and height relationship equations known in forest valuation. The planting stock was calculated using the equations of Dementiev, Dentsin and G. Cuvier. It was found that the results of determining the valuation indicators by means of ALS can be used in forest monitoring along with the data of visual valuation, since the obtained information on the forest stand stays within the limits of permissible errors specified in the forest management instruction.

For citation: Kovyazin V.F., Vinogradov K.P., Kitcenko A.A., Vasilyeva E.A. Airborne Laser Scanning for Clarification of the Valuation Indicators of Forest Stands. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 42–54. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-42-54

Keywords: airborne laser scanning, tree stand, monitoring, valuation indicators.

Поступила 13.10.19 / Received on October 13, 2019

УДК 630*182.21+632.92+631.531

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-55-73

СЕМЕННОЕ ВОЗОБНОВЛЕНИЕ САМШИТА КОЛХИДСКОГО (*Buxus colchica* Pojark.) В УСЛОВИЯХ ЭПИФИТОТИИ САМШИТНИКОВ

В.А. Чадаева, д-р биол. наук; ResearcherID: [AAF-3095-2019](https://orcid.org/0000-0002-0788-1395),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0788-1395>

Р.Х. Пишгусов, канд. биол. наук; ResearcherID: [I-8766-2012](https://orcid.org/0000-0002-6204-2690),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6204-2690>

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН, ул. И. Арманд,
д. 37а, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 360051;
e-mail: v_chadayeva@mail.ru, p_rustem@inbox.ru

Массовое усыхание самшита колхидского (*Buxus colchica* Pojark.) в результате экспансии *Cydalima perspectalis* Walker, 1859 в 2014–2017 гг. привело к смене лесных сообществ на Западном Кавказе. Изменение условий освещенности нижних ярусов леса способствовало интенсивному разрастанию травянистых растений (*Symphytum grandiflorum* DC., *Asarum intermedium* (C. A. Mey. ex Ledeb.) Grossh., *Festuca drymeja* Mert. & W.D.J. Koch, *Allium ursinum* L. и др.) и подлеска (*Ruscus colchicus* Yeo, *Geranium robertianum* L., *Rubus anatolicus* Focke, *Hedera colchica* (K. Koch) K. Koch). Сформировался живой напочвенный покров с общим проективным покрытием до 100 %. В сложившихся условиях общее число всходов *B. colchica* высотой 2...15 см для южного макросклона составляет всего 10...320 шт./га, для северного – 5...87 шт./га, что в сотни и тысячи раз меньше, чем до гибели самшитников. Цель исследования состояла в определении факторов, влияющих на семенное возобновление *B. colchica* на Западном Кавказе в условиях смены сообществ, вызванной экспансией *C. perspectalis* и последовавшей эпифитотией самшитников. Работы проводили в 2018–2019 гг. на южном и северном макросклонах Западного Кавказа в бассейнах рек Хоста, Курджипс и Цице. Число всходов *B. colchica*, учитывая их малочисленность, определяли сплошным пересчетом побегов на 66 пробных площадках размером 400 м². При выявлении факторов, влияющих на семенное возобновление *B. colchica*, анализировали 17 ландшафтных и фитоценологических параметров: высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов, сомкнутость крон верхнего яруса, параметры подроста, древостоя главных пород и погибшего самшита, общее проективное покрытие подлеска и травяного покрова. Основным фактором, препятствующим появлению и развитию всходов самшита, является угнетение со стороны травяно-кустарничкового яруса. Величины общего проективного покрытия подлеска и травяного покрова – наиболее важные предикторы для числа всходов самшита на пробных площадках. Для данных параметров выявлены наибольшие регрессионные коэффициенты b^* при уровне значимости $p < 0,05$: –0,589 и –0,478 – для южного макросклона, –0,667 и –0,954 – для северного. Максимальное проективное покрытие подлеска на участках леса с наличием возобновления самшита составляет 50 % для обоих макросклонов, травяного покрова – 15 % в бассейне р. Хоста, 40 % – в бассейнах рек Цице и Курджипс. Затенение со стороны полога верхнего яруса сдерживает разрастание живого напочвенного покрова, но также препятствует появлению всходов самшита. Поэтому в комплексе факторов сомкнутость крон не оказывает прямого влияния на параметры семенного возобновления *B. colchica*. При дальнейшем разрастании травяно-кустарничкового яруса в лесных фитоценозах естественное восстановление самшитников Западного Кавказа маловероятно. Искусственное ограничение разрастания подлеска и травянистых растений на участках леса будет способствовать семенному возобновлению вида. Результаты исследования являются основой дальнейшего мониторинга процессов восстановления самшитовых лесов или их возможной коренной смены в регионе.

Для цитирования: Чадаева В.А., Пшегусов Р.Х. Семенное возобновление самшита колхидского (*Buxus colchica* Pojark.) в условиях эпифитотии самшитников // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 55–73. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-55-73

Финансирование: Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 18-04-00961 и в рамках государственного задания № 075-00347-19-00 по теме «Закономерности пространственно-временной динамики луговых и лесных экосистем в условиях горных территорий (российский Западный и Центральный Кавказ)».

Благодарность: Выражаем искреннюю благодарность канд. биол. наук, зав. лабораторией экологии видов и сообществ беспозвоночных животных Института экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН И.Б. Рапопорт за всестороннюю помощь при сборе полевых данных.

Ключевые слова: лесной фитоценоз, смена сообществ, восстановление *Buxus colchica*, живой напочвенный покров, *Cydalima perspectalis*, Западный Кавказ.

Введение

Самшит колхидский (*Buxus colchica* Pojark.) – третичный реликт, эндемик колхидско-лазистанской флоры, отдельные деревья которого достигают высоты 18 м при диаметре ствола 38...42 см [2]. До недавнего времени на территории Российской Федерации *B. colchica*, как правило, формировал второй и третий ярусы широколиственных и смешанных лесов южного (Черноморское побережье – среднее течение рек Шахе и Сочи) и северного (в основном бассейны рек Курджипс и Цице) макросклонов Западного Кавказа [18].

В настоящее время этот вид в границах своего ареала в России находится под угрозой исчезновения. Определенную роль в этом сыграли вырубка старовозрастных насаждений *B. colchica* в XIX–XX вв. и ослабление древостоев грибковыми заболеваниями, вызванными *Cylindrocladium buxicola* Henricot, *Volutella buxi* (DC.) Berk. и *Clonostachys buxi* (J.C. Schmidt ex Link) Schroers в 2009–2011 гг. [4, 9, 18]. Основной причиной гибели самшитников стало поражение самшитовой огневкой *Cydalima perspectalis* Walker, 1859, предположительно завезенной на территорию страны осенью 2012 г. с саженцами *Buxus sempervirens* L. [17]. Этот восточно-азиатский вид, впервые зафиксированный в 2007 г. в Германии, благодаря торговле декоративным самшитом менее чем за 10 лет колонизировал около 30 стран Европы и Малой Азии [21, 28]. Границы его потенциального распространения в Европе на фоне современных климатических изменений проходят по северным районам Скандинавии, Финляндии и Шотландии [27].

В 2013–2017 гг. на южном и в 2015–2017 гг. на северном макросклонах гусеницы-огневки неоднократно массово уничтожали листву, отрастающую поросль на комле и всходы *B. colchica*, повреждали кору на ветвях и стволах, вследствие чего самшитники Черноморского побережья погибли. На северном макросклоне отдельные деревья самшита сохранили живые корневые системы и нижнюю часть стволов, позже сформировав водяные побеги [16, 17]. В 2017–2018 гг., столкнувшись с отсутствием пищи, на Западном Кавказе погибли последние гусеницы *C. perspectalis* [7, 17], как это произошло после 4-летней экспансии вида (2013–2017 гг.) на западе Италии [19].

B. colchica – эдификатор лесных экосистем Западного Кавказа, выполняющий водоохранную, почвозащитную, берегоукрепительную, рекреационную функции, имеющий историко-культурное значение [25]. Полная утрата вида влечет за собой серьезные экологические и социально-экономические

последствия. Одним из таких последствий стало изменение структуры и видового состава лесных сообществ. Так, с 2015 г. на территории Хостинской тисо-самшитовой рощи вследствие разреживания самшитового яруса наблюдается массовое разрастание живого напочвенного покрова, а также внедрение чужеродных видов растений (*Phytolacca americana* L., *Erigeron annuus* (L.) Pers., *Duchesnea indica* (Jacks.) Focke, *Paulownia tomentosa* Steud., *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) и интенсивное возобновление *Carpinus betulus* L., *Tilia begoniifolia* Steven, *Fraxinus excelsior* L. при единичных всходах *B. colchica* [1, 12, 15].

Сейчас исследователи прогнозируют формирование очага массового размножения стволовых вредителей в местах гибели самшита, а также быстрое распространение самшитовой огневки по всей территории Кавказа с повсеместным повреждением *B. sempervirens* в озеленительных посадках населенных пунктов [7]. Так, в июле–сентябре 2019 г. массовая дефолиация посадок самшита вечнозеленого была проведена в г. Нальчик Кабардино-Балкарской Республики. Возможно проникновение *C. perspectalis* из Турции и Грузии в Азербайджан и Иран [7]. Несмотря на сведения о наличии естественных врагов в пределах вторичного ареала вида (например, некоторых распространенных видов птиц [25, 26], специфичных паразитоидов [24, 30]), основной действенной мерой борьбы с огневкой остается химическая защита самшитников [20, 22]. На территориях, для которых применение химических средств по разным причинам невозможно или затруднено, выживание самшита зависит от его способности к восстановлению [20, 23]. В литературных источниках практически отсутствуют результаты аналитических исследований восстановления дефолированных популяций самшита, что и обуславливает новизну и актуальность наших исследований.

В случае с популяциями *B. colchica* Западного Кавказа сохраняется вероятность формирования вторичной кроны менее поврежденных деревьев на северном макросклоне. Естественное восстановление самшитников южного макросклона возможно только при наличии семенного возобновления. В связи с этим особое беспокойство вызывает отмеченная нами на территории Хостинской тисо-самшитовой рощи повторная активизация *C. perspectalis*, к октябрю 2019 г. уничтожившей побеги около 70 % искусственно высаженных молодых кустов *B. colchica*, которые еще в мае того же года развивались без признаков повреждения. При этом всходы самшита высотой до 10 см на начало зимнего периода 2019 г. повреждены не были.

Цель исследования – выявить факторы, влияющие на семенное возобновление *B. colchica* на Западном Кавказе в условиях смены сообществ, вызванной экспансией *C. perspectalis* и последовавшей эпифитотией самшитников.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на южном и северном макросклонах Западного Кавказа в мае, июле, октябре 2018–2019 гг. На южном макросклоне изучены участки колхидского леса Хостинской тисо-самшитовой рощи (территория Кавказского государственного природного биосферного заповедника им. Х.Г. Шапошникова, нижнее течение р. Хоста, Хостинский р-н г. Сочи), на северном макросклоне – восточная часть Лагонакского нагорья (территория памятника природы регионального значения «Гуамское ущелье», Верхне-Курджипское

ущелье в окрестностях пос. Мезмай (Апшеронский р-н Краснодарского края) и бассейн р. Цице на высоте 400...600 м над уровнем моря (Майкопский р-н Республики Адыгея)) (рис. 1).

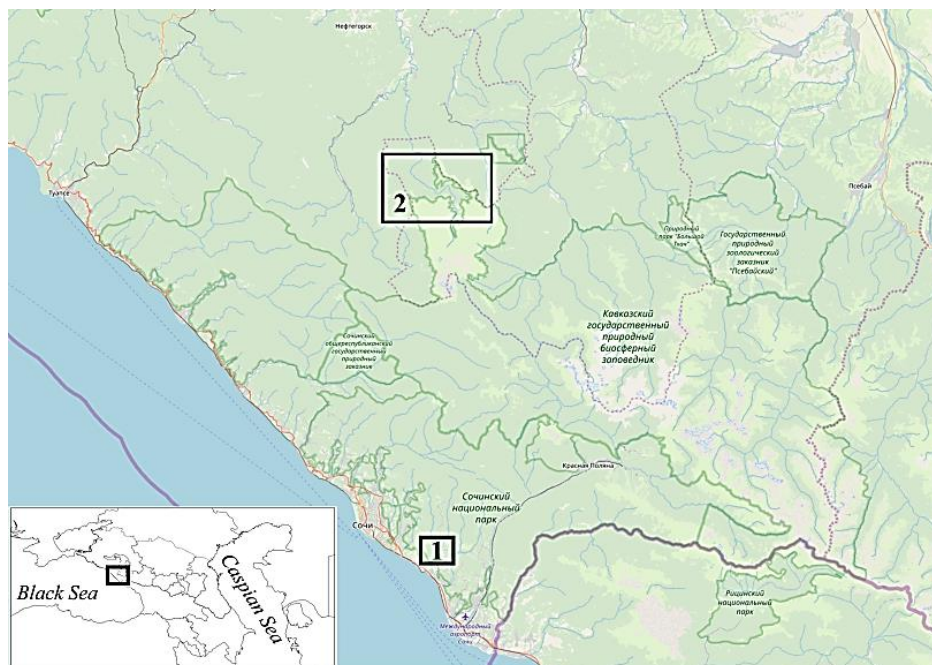


Рис. 1. Карта-схема района исследований и расположение пробных площадок: 1 – бассейн р. Хоста (южный макросклон Западного Кавказа); 2 – бассейны рек Курджипс и Цице (северный макросклон)

Fig. 1. Schematic map of the study area and location of the sampling plots: 1 – the Khosta river basin (southern macroslope of the Western Caucasus); 2 – the Kurdzhips and Tsitsa river basins (northern macroslope)

Природно-климатические условия Черноморского побережья в районе Хостинской тисо-самшитовой рощи соответствуют влажной субтропической зоне, отличаясь обилием тепла (среднегодовая температура воздуха – 13,2 °С; средняя многолетняя температура января – 6,0 °С, июля и августа – 23,0 °С; длительность безморозного периода 8–10 мес.), высокой влажностью воздуха (95...98 %) и большим количеством осадков (1550 мм/год) [13, 15]. Климат восточной части Лагонакского нагорья умеренно-теплый и влажный с умеренно-жарким и хорошо увлажненным летом (средняя температура воздуха в июле – 22,0 °С) и умеренно-мягкой с частыми оттепелями зимой (средняя температура воздуха в январе составляет –2,0 °С) [3].

В бассейне р. Хоста на момент массового усыхания *B. colchica* в основном был распространен в лесах из *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Tilia begoniifolia*, *Taxus baccata* L., *Acer campestre* L., *A. laetum* C.A. Mey., *Quercus iberica* Steven с *Laurocerasus officinalis* M. Roem., *Staphylea colchica* Steven в подлеске и напочвенном покрове из рассеянно произрастающих *Ruscus colchicus*, *Dryopteris filix-mas*, *Phyllitis scolopendrium*, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth, *Sambucus nigra* L., *Sanicula europaea* L. (проективное покрытие не более 35 %). Естественное возобновление *B. colchica* при возрасте древостоев 70–80 лет характеризовалось наличием в среднем 32,0 тыс. шт./га всходов высотой 10 см

и 13,4 тыс. шт./га подроста высотой 10...150 см [5, 6]. В бассейне р. Курджипс (Гуамское и Верхне-Курджипское ущелья) *B. colchica* произрастал на высоте 650...970 м над уровнем моря преимущественно под пологом *Fagus orientalis*, *Abies nordmanniana* (Steven) Spach, *Acer pseudoplatanus* L. с преобладанием *Ilex colchica* Pojark. и *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott в напочвенном покрове. Под пологом самшитников возрастом в среднем 60–70 лет развивались благонадежный подрост высотой 10...150 см в количестве 8,9 тыс. шт./га и всходы до 10 см высотой в количестве 8,0 шт./га [5, 6]. В бассейне р. Цице массивы *B. colchica* встречались до 1300 м над уровнем моря в основном под пологом *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus*, *Tilia begoniifolia*, *Acer pseudoplatanus* в сообществах с редким напочвенным покровом из *Ruscus colchicus* Yeo, *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newman, *Polygonatum multiflorum* (L.) All., *Polypodium vulgare* L. В самшитниках возрастом 100–120 лет также было отмечено эффективное семенное возобновление: всходы до 10 см высотой – 25 тыс. шт./га, подрост 10...150 см высотой – 12,6 шт./га [5, 6].

В 2018–2019 гг. живой подрост в указанных районах, за исключением 2 сохранных участков самшитников в бассейне р. Цице, нами не обнаружен. Для оценки числа всходов *B. colchica* высотой до 10 см, реже до 15 см, был проведен сплошной пересчет побегов на 66 пробных площадках (ПП): 30 ПП на южном и 36 ПП на северном макросклонах. Учитывая немногочисленность всходов самшита, размер ПП составлял 400 м², что соответствует стандартным параметрам площадок при геоботаническом описании лесных фитоценозов [8]. При выявлении факторов, определяющих параметры семенного возобновления *B. colchica*, учитывали высоту над уровнем моря, экспозицию и крутизну склонов, изучали растительный покров по ярусам. Для верхнего яруса проведен сплошной пересчет деревьев на ПП. По соотношению числа стволов взрослых деревьев разных видов (в баллах – от 1 до 10) составлена формула древостоя. Сомкнутость крон (от 0,1 до 1) определяли глазомерно [10], высоту каждого дерева – дендрометром Masser RC3H, диаметр ствола – с помощью мерной вилки на высоте 1,3 м от шейки корня. Затем вычисляли средние значения высоты и диаметра ствола древостоя верхнего яруса в целом. Для подлеска регистрировали видовой состав и общее проективное покрытие (ОПП, %), для подроста – число экземпляров и высоту побегов разных пород. Определяли также проективное покрытие травостоя и видовой состав высших сосудистых растений на ПП. Рассчитывали среднюю высоту, диаметр ствола и число погибших взрослых деревьев и подроста *B. colchica*.

При обработке первичных данных применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), пошаговый дискриминантный анализ и множественный регрессионный анализ в пакете программ Statistica 10. Уровень значимости – стандартный для биологических исследований ($p < 0,05$). Номенклатура видов дана в соответствии с базой The Plant List [29], за исключением названия самого вида – объекта исследований: *Buxus colchica* Pojark. приводится в указанной базе как синоним *Buxus sempervirens* L.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования 2018–2019 гг. на территории Хостинской тисо-самшитовой рощи подтвердили наличие динамических процессов в фитоценозах. Так, до экспансии *C. perspectalis* большинство сообществ с доминированием самшита во втором ярусе в данном районе представляли собой мертвопокровные самшитники под пологом главных древесных пород и мертвопокровные самшитники скальные [5, 6, 12, 14, 15, и др.]. Не подвергаясь браконьерской обрезке ветвей, деревья *B. colchica* достигали высоты 8...12 м при среднем диаметре ствола 12,07 см (табл. 1, 2).

Таблица 1

Характеристика ПП в составе лесных фитоценозов Хостинской тисо-самшитовой роши

№ ПП	Экспозиция склона, °	Высота над уровнем моря, м	Крутизна склона, °	Формула древостоя	ОПП, %		Сомкнутость крон	Деревья верхнего яруса				Подрост			Погнившие деревья				Погнивший подрост				Всходы	
					подлеска	травяного покрова		N, шт.	H _{ср} м	D _{ср} см	N, шт.	H _{ср} см	N, шт.	H _{ср} м	D _{ср} см	N, шт.	H _{ср} м	D _{ср} см						
1	45	32	5	7Б2ППГр	40	5	0,8	14	23	40	242	13,3	120	5,2	12,5	79	1,4	3,6	65	16,8				
2	45	102	5	8Я2Л	95	20	0,5	10	20	40	16	278,0	95	7,8	14,7	36	1,9	3,9	0	0				
3	45	98	10	8Я2Г	100	5	0,6	11	18	30	24	14,5	82	5,6	12,5	55	1,7	3,8	0	6,0				
4	45	146	5	5Я4ЛПГр	5	80	0,6	12	22	39	12	120,0	78	7,6	14,2	35	1,8	4,0	0	0				
5	45	147	5	9Я1Гр	20	100	0,6	11	18	30	16	63,7	95	7,9	14,8	40	2,5	4,8	0	0				
6	45	51	10	5Л4ТЛБ	60	10	0,8	17	16	42	20	12,0	60	5,7	11,5	82	1,5	3,5	20	12,5				
7	45	50	5	9Гр1Я	15	5	0,7	14	22	36	21	9,0	86	5,4	10,5	34	1,8	4,0	72	10,3				
8	45	79	10	6Л3ЯПГр	15	100	0,4	11	20	50	5	10,0	62	8,4	14,2	73	2,3	4,5	0	0				
9	225	100	10	7Я2КЛ	85	5	0,6	9	10	16	48	49,0	46	8,2	14,5	32	1,1	3,2	0	0				
10	0	70	5	5Гр3Л2Я	35	90	0,6	4	40	39	47	73,3	68	5,8	12,5	30	2,2	4,1	0	0				
11	45	63	15	4Б4Т2К	20	5	1,0	13	15	20	14	65,0	46	3,7	9,8	28	1,2	3,5	10	5,0				
12	90	76	5	5Б3К2Л	40	15	0,2	6	23	42	51	12,2	25	7,6	14,0	8	1,5	3,6	70	7,5				
13	45	117	5	8Б2Гр	5	5	0,8	10	22	35	20	11,2	75	5,4	11,2	44	1,6	3,2	42	6,2				
14	0	78	5	5Л3Гр2Я	35	85	0,5	9	20	43	12	120,0	98	8,0	15,0	70	2,5	4,5	0	0				
15	0	35	5	5Л3Гр2Г	70	10	0,8	14	23	38	17	116,7	48	7,6	13,0	35	2,5	4,3	20	10,0				
16	45	54	5	7Г2Б1К	20	90	0,8	18	21	32	24	112,5	26	4,8	10,0	18	0,8	2,7	12	10,0				
17	45	77	5	5Гр3Я1Б1Л	95	10	0,5	10	21	35	15	122,5	86	8,2	15,0	46	2,2	4,2	0	0				
18	45	77	5	5Гр4Я1Б	95	5	0,4	11	20	34	7	115,0	96	7,9	14,5	52	2,4	4,4	0	0				
19	45	96	10	4Г3Т2Б1К	20	5	0,8	19	20	40	768	14,5	84	6,2	12,0	58	1,1	3,1	80	6,2				
20	45	119	5	5Я4ЛПГ	95	10	0,6	11	20	36	11	170,0	92	1,02	16,0	30	1,6	3,8	0	0				
21	45	63	5	6Г3Я1К	15	85	0,8	16	20	32	52	11,0	78	6,9	13,0	47	1,7	3,7	4	7,0				
22	45	66	5	7Г2К1Г	50	5	0,7	11	22	45	31	25,0	75	5,9	11,2	48	1,6	3,5	45	7,0				
23	315	157	10	5Г3Л1Я1Б	40	5	0,7	15	20	90	316	20,0	120	9,0	10,0	45	2,5	3,5	128	12,0				
24	0	67	5	4Г2Л2Г2Я	40	10	0,8	23	25	90	68	50,0	70	9,0	9,0	15	1,5	4,0	50	15,0				
25	0	21	50	5Я3К2Б	100	1	0,1	4	20	70	26	180,0	70	12,0	14,0	20	2,5	4,0	0	0				
26	0	31	15	6Я2Л2К	35	15	0,7	14	23	60	22	230,0	200	9,0	7,2	60	4,0	4,5	50	10,0				
27	0	30	5	5Я5Л	100	1	0,1	4	20	30	2	150,0	120	9,0	12,0	20	3,0	6,0	0	0				
28	0	25	15	6Я2К1Л1Л	25	5	0,8	11	20	30	29	180,0	120	8,0	10,0	15	2,5	5,0	70	15,0				
29	270	80	10	7Г2Б1Г	10	2	0,8	12	22	80	123	30,0	50	7,0	8,0	24	1,8	2,5	120	15,0				
30	45	85	30	5Г4Б1Л	5	1	0,9	29	20	45	36	18,0	190	6,0	5,2	15	1,5	2,5	6	7,0				

Примечание. Б – бук (*Fagus orientalis*); Л – липа (*Tilia begoniifolia*); Гр – грабник (*Carpinus orientalis* Mill.); Г – граб (*Carpinus betulus*); Я – ясень (*Fraxinus excelsior*); Т – тис (*Taxus baccata*); К – клен (*Acer sapotense*); Д – дуб (*Quercus ibérica*); N, H_{ср}, D_{ср} – соответственно количество экземпляров, средняя высота и диаметр стволов растений; ОПП – общее проективное покрытие.

Таблица 2

**Средние значения ландшафтных и фитоценологических параметров ПП
в составе лесных фитоценозов**

Параметр	Южный макросклон		Северный макросклон	
	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$C_v, \%$	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	$C_v, \%$
Экспозиция склона, ...°	57,00±76,52	134,2	140,00±118,71	84,8
Высота над уровнем моря, м	76,40±36,19	47,4	578,47±113,21	19,6
Крутизна склона, ...°	9,50±9,32	98,1	23,05±17,08	74,1
ОПП, %:				
подлеска	46,20±34,00	73,7	39,50±31,50	79,6
травяного покрова	26,30±36,10	137,2	25,10±33,20	132,2
Сомкнутость крон	0,63±0,22	35,0	0,71±0,23	32,8
N верхнего яруса, шт.	12,43±5,32	42,8	18,44±11,45	62,1
H_{cp} верхнего яруса, м	20,87±4,58	21,9	24,72±4,81	19,5
D_{cp} верхнего яруса, см	42,97±18,03	41,9	39,75±16,80	42,3
N подроста, шт.	69,83±148,54	212,7	44,28±95,72	216,2
H_{cp} подроста, см	79,88±74,35	93,1	104,22±90,32	86,7
N погибших деревьев <i>B. colchica</i> , шт.	85,37±39,22	45,9	126,61±80,32	63,4
H_{cp} погибших деревьев <i>B. colchica</i> , м	7,36±1,89	25,8	5,31±2,95	55,5
D_{cp} погибших деревьев <i>B. colchica</i> , см	12,07±2,60	21,6	8,46±3,78	44,7
N погибшего подроста <i>B. colchica</i> , шт.	39,80±19,92	50,0	22,44±10,11	45,0
H_{cp} погибшего подроста <i>B. colchica</i> , м	1,94±0,66	33,9	1,31±0,57	43,7
D_{cp} погибшего подроста <i>B. colchica</i> , см	3,86±0,74	19,2	2,69±1,41	52,7
N всходов <i>B. colchica</i> , шт.	28,80±37,78	131,2	2,25±6,63	294,7
H_{cp} всходов <i>B. colchica</i> , см	6,05±5,71	94,4	1,79±3,81	212,8

При относительно разреженном древостое главных пород (4...29 шт. на ПП, в среднем 310 шт./га) низкая инсоляция в травяно-кустарничковом ярусе была обусловлена затенением со стороны *B. colchica* (в среднем 2134 шт./га взрослых деревьев и 995 шт./га подроста при средней высоте 1,94 м).

В 2018–2019 гг. можно констатировать полную гибель самшита: деревья без коры, местами без камбия, отсутствует молодая поросль на стволах, наблюдается вывал. На 17 из 30 ПП из-за значительного осветления (сомкнутость верхнего яруса 0,1–0,6, редко 0,8 (ПП 6, 15, 16, 21)) происходит разрастание травянистой и кустарничковой растительности. Практически монодоминантный напочвенный покров образует иглица колхидская *Ruscus colchicus* (ПП 3, 6, 9, 15, 17, 25, 20; ОПП подлеска 60...100 %), плотные заросли формирует ежевика священная *Rubus anatolicus* Focke (ПП 2, 18, 27; ОПП подлеска 95...100 %). В качестве доминанта травяного яруса встречаются герань Роберта *Geranium robertianum* L. (ПП 8, 14; ОПП травяного покрова 85...100 %), лук медвежий *Allium ursinum* L. (ПП 16, 21; ОПП травяного покрова 85...90 %), дюшенея индийская *Duchesnea indica*, ломкоколосник зеленоватый *Achnatherum arnowiae* (S.L. Welsh & N.D. Atwood) Barkworth и барвинок малый *Vinca minor* L. (соответственно ПП 4, 8 и 10; ОПП травяного покрова 80...100 %). Число всходов *B. colchica* на данных ПП не превышает 4–20 шт., в большинстве случаев (13 из 17 ПП) семенное возобновление самшита отсутствует.

Исключение составляет ПП 12 с сомкнутостью крон 0,2 (опушка, образовавшаяся за счет вывала самшита), на которой при ОПП постепенно разрастающегося подлеска 40 % число всходов самшита достигает 70 шт.

Более выраженное затенение со стороны верхнего яруса, вероятно, замедляет разрастание живого напочвенного покрова. При сомкнутости крон 0,7–1,0, как правило, ОПП подлеска не превышает 5...50 %, травяного покрова – 1...15 % (ПП 1, 7, 11, 13, 19, 22–24, 26, 28–30). При этом основной вклад в повышение ОПП подлеска до 35...50 % вносят *Ruscus colchicus* (ПП 1, 22, 24, 26) и *Rubus anatolicus* (ПП 23). Число всходов *B. colchica* варьирует от 6–10 шт. на ПП 11, 30 до 42–128 шт. на остальных ПП.

Лесные фитоценозы на ПП в бассейнах рек Цице и Курджипс до эпифитотии *B. colchica* также были представлены мертвопокровными самшитниками под пологом главных древесных пород и мертвопокровными самшитниками скальными. Реже напочвенный покров формировал теневыносливый плющ колхидский *Hedera colchica* (К. Koch) К. Koch (ОПП до 30...40 %). Параметры габитуса *B. colchica* на ПП в бассейне р. Цице (высота деревьев – $(6,01 \pm 2,12)$ м ($C_v = 35,5$ %), диаметр ствола $(9,29 \pm 3,12)$ см ($C_v = 33,5$ %)) и в труднодоступном Верхне-Курджипском ущелье ($(7,28 \pm 3,45)$ м ($C_v = 47,4$ %) и $(10,78 \pm 4,28)$ см ($C_v = 39,7$ %)) в целом схожи с таковыми для ПП южного макросклона. Однако в Гуамском ущелье, расположенном немного ниже по течению р. Курджипс, средняя высота взрослых деревьев самшита – $(1,71 \pm 0,12)$ м ($C_v = 7,3$ %) при диаметре ствола $(4,24 \pm 0,35)$ см ($C_v = 8,4$ %). Одной из причин низкорослости самшита в данном районе, вероятно, является практиковавшаяся обрезка ветвей.

Для ПП в составе лесных фитоценозов северного макросклона на момент массовой гибели *B. colchica* была характерна более выраженная, чем в тисо-самшитовой роще затененность поверхности почвы в силу большей сомкнутости полога верхнего и второго ярусов. Средняя плотность древостоя основных пород здесь составляет 461 шт./га (5–68 шт. на ПП), погибшего самшита – 3165 шт./га взрослых деревьев и 561 шт./га подроста (соответственно 127 и 22 шт. на ПП) (табл. 2, 3).

По этой причине число всходов, появление которых в большей степени характерно для самшитников низкой полноты [5], по литературным данным [6], в бассейне рек Курджипс и Цице было ниже, чем в бассейне р. Хоста, соответственно в 3,6 и 1,3 раза. По результатам исследований 2018–2019 гг. среднее число всходов *B. colchica* на ПП северного макросклона также меньше, однако разница составляет уже 12,8 раза.

Наиболее массовое формирование водяных побегов длиной 2...15 см на деревьях *B. colchica* отмечено в Верхне-Курджипском ущелье. Однако и здесь вследствие осветления нижних ярусов леса происходит разрастание живого напочвенного покрова. При сомкнутости крон верхнего яруса 0,1–0,6 (редко 0,8 – ПП 23) ОПП травяного покрова составляет 50...100 % (ПП 6, 7, 14, 15, 23, 25, 27, 32) с преобладанием на отдельных ПП *Symphytum grandiflorum* DC., *Asarum intermedium* (C. A. Mey. ex Ledeb.) Grossh., *Scopolia carniolica* Jacq., *Festuca drymeja* Mert. & W.D.J. Koch, *Glechoma hederacea* L., *Thlaspi macrophyllum* Hoffm., *Allium ursinum*, *Dryopteris filix-mas*, *Polygonatum multiflorum*. ОПП подлеска из *Hedera colchica*, *Ilex colchica*, *Cornus sanguinea* subsp. *australis* (C. A. Mey.) Jáv., *Sambucus nigra* L., *Ligustrum vulgare* L., *Euonymus latifolius* (L.) Mill. и др. на таких участках редко превышает 15 %.

Таблица 3

Характеристика ПП в составе лесных фитоценозов северного макросклона Западного Кавказа

№ ПП	Экспозиция склона, ...	Высота над уровнем моря, м	Крутизна склона, ...	Формула древостоя	ОПТ, %		Сомкнутость крон	Деревья верхнего яруса			Подрост			Погибшие деревья			Поггибший подрост			Всходы		
					подлеска	травяного покрова		N, шт.	H _{ср} , м	D _{ср} , см	N, шт.	H _{ср} , см	N, шт.	H _{ср} , м	D _{ср} , см	N, шт.	H _{ср} , м	D _{ср} , см	N, шт.	H _{ср} , см	N, шт.	H _{ср} , см
1	315	605	5	4ПЗГ2Б1К	65	2	0,9	21	27	30	39	160	56	6,5	11,2	35	1,7	3,6	0	0	0	0
2	315	593	30	6Б4П	50	2	0,9	24	27	48	55	120	30	6,3	11,5	15	0,8	1,1	0	0	0	0
3	315	623	40	7П3Б	45	10	1,0	40	26	23	32	160	25	5,3	9,8	17	2,0	3,8	0	0	0	0
4	90	624	60	7П3Б	50	2	0,7	20	32	30	21	80	65	5,5	8,7	25	1,5	3,2	15	15	15	15
5	315	608	30	6П4Б	75	10	0,6	16	30	42	30	165	24	3,9	6,5	16	1,6	3,2	0	0	0	0
6	180	586	5	6П3Б1П	15	60	0,6	10	27	48	100	22	5,6	4,8	7,4	18	1,2	2,8	0	0	0	0
7	0	600	5	5П1Гр2Б	10	75	0,6	14	36	40	88	20	3,7	5,8	8,8	15	1,6	3,4	0	0	0	0
8	270	571	5	6П3Б1П	10	15	0,7	10	28	40	82	30	28	7,8	14	1,4	3,2	3	8	0	0	0
9	45	452	5	7П3Д1П	50	10	0,9	16	25	30	15	130	110	2,5	5,6	20	0,4	0,8	0	0	0	0
10	45	452	45	7П3Д	80	2	0,8	16	28	35	21	110	72	7,5	13,6	25	1,5	3,5	0	0	0	0
11	45	446	5	5П3ГЯ1Д1К	80	4	0,8	16	28	30	25	100	110	7,6	13,8	25	1,6	3,3	0	0	0	0
12	45	461	5	8Б1П1К	60	4	0,9	22	29	32	23	80	160	7,2	13,4	26	1,5	2,9	0	0	0	0
13	225	460	40	9П1Д	85	2	0,8	21	28	26	11	70	108	5,5	6,8	20	1,6	3,5	0	0	0	0
14	45	460	15	5П4Д1К	10	100	0,5	10	26	45	15	90	94	6,3	8,5	32	1,4	2,8	0	0	0	0
15	45	462	15	6П2Я1П	5	85	0,4	7	26	45	15	90	102	7,8	14,2	21	1,7	3,7	0	0	0	0
16	270	414	30	5Б3Д1К1Я	1	3	0,8	14	20	60	54	15	230	6,0	6,5	12	1,5	3,5	3	5	3	5
17	0	437	45	9Б1К	70	2	0,8	21	25	60	25	100	230	5,5	7,0	25	1,6	3,0	0	0	0	0
18	90	455	35	9Б1К	90	2	0,9	24	23	35	27	20	85	4,0	6,5	23	1,2	3,5	0	0	0	0
19	180	455	35	10Б	100	2	0,6	15	24	40	24	500	109	8,0	9,5	12	3,3	1,3	0	0	0	0
20	45	437	30	9Б1П	100	2	0,5	8	25	120	22	60	60	12,0	14,0	10	1,3	3,0	0	0	0	0
21	0	595	5	9П1Б	15	20	0,2	8	19	45	23	50	46	1,8	4,0	12	0,4	0,6	7	15	15	15
22	0	615	5	9Б1П	5	40	0,8	17	30	45	586	15	310	1,7	4,5	25	0,3	1,5	14	3	3	3
23	0	617	15	9Б1П	15	75	0,8	24	32	32	23	120	270	1,6	4,0	20	1,1	1,2	0	0	0	0
24	225	557	45	9Б1П	50	10	0,9	20	22	35	6	160	250	1,6	5,0	15	0,6	1,0	0	0	0	0
25	225	544	5	10Б	30	55	0,6	15	28	42	41	15	178	1,9	4,2	26	1,2	1,3	0	0	0	0
26	180	621	10	10Б	10	5	0,9	27	32	45	14	120	128	1,7	4,1	15	0,7	1,1	2	3	3	3
27	315	629	10	10Б	50	50	0,6	15	22	36	7	120	184	1,6	3,9	22	0,6	1,0	0	0	0	0
28	180	600	10	8Б1К1П	55	5	0,8	17	20	35	5	120	220	1,7	4,0	19	0,7	1,1	0	0	0	0
29	180	600	10	9Б1К	20	5	0,9	21	22	36	5	100	194	1,9	4,2	12	1,5	1,8	0	0	0	0
30	0	682	45	10Д	2	100	0,1	2	12	10	3	30	120	12,0	14,0	20	1,6	4,0	0	0	0	0
31	0	681	35	8Б1Д1П	25	10	0,9	27	20	35	8	120	270	7,0	14,0	30	1,6	3,5	0	0	0	0
32	180	688	30	9О1Б	2	100	0,1	5	18	45	12	160	87	11,0	12,0	18	1,7	7,0	0	0	0	0
33	315	782	45	7П1К2Д	4	2	0,9	16	20	35	25	120	220	6,0	12,0	30	1,5	6,0	2	2	2	2
34	90	772	50	6С2Б1Я1П	5	30	0,5	7	18	30	19	50	120	8,0	14,0	30	1,2	2,5	35	4	4	4
35	270	834	20	5Б4П1К	55	2	0,9	30	25	40	38	30	80	5,0	6,0	60	1,7	2,0	0	0	0	0
36	0	807	5	8Б2П	30	2	0,9	68	20	26	55	300	90	2,0	3,5	48	0,4	2,0	0	0	0	0

Примечание. П – пихта (*Abies nordmanniana*), К – клен (*Acer pseudoplatanus*), Д – дуб (*Quercus robur* L.), О – ольха (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata* (C.A.Mey.) Yalt.).

В единичных случаях (ПП 5), напротив, живой напочвенный покров в основном представлен *Hedera colchica* (ОПП 75 %) при низком участии травянистых растений. Всходов *B. colchica* на данных ПП не отмечено.

При сомкнутости крон верхнего яруса 0,8–1,0 живой напочвенный покров в основном представлен теневыносливым *Hedera colchica* с проективным покрытием от 1...30 % (ПП 16, 29, 31, 33, 36) до 40...100 % (ПП 1–3, 9–13, 16–20, 24, 26, 28, 33, 35). При этом всходы *B. colchica* в количестве 2–3 шт. отмечены только на ПП 16, 26, 33 с ОПП подлеска до 10 %.

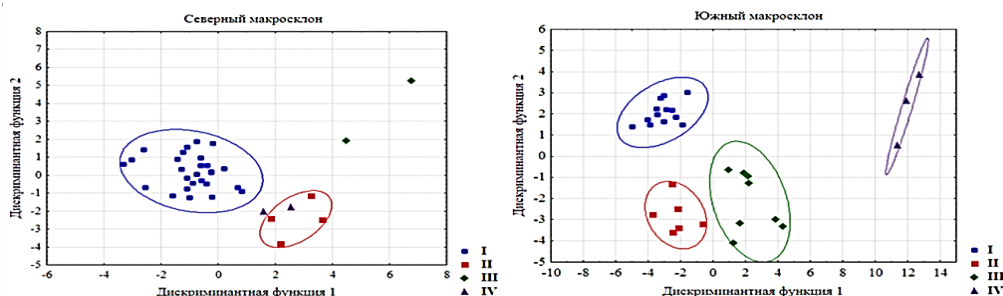


Рис 2. Диаграммы рассеяния пробных площадок южного и северного макросклонов по данным дискриминантного анализа числа всходов *Buxus colchica*: I, II, III, IV – группы числа всходов

Fig. 2. Scatterplots of the sampling plots of the southern and northern macroslopes according to the discriminant analysis data of the *Buxus colchica* seedlings number: I, II, III, IV – groups of seedlings number

Семенное возобновление самшита выявлено также на ПП 4 и 8 (15 и 3 шт. всходов), постепенно зарастающих *Hedera colchica* при сомкнутости верхнего полога 0,7, на освещенных опушечных ПП 21 и 34 (7 и 35 шт.) с напочвенным покровом из разнотравья (ОПП 20...30 %), а также на ПП 22 (14 шт.) с *Allium ursinum* в качестве доминанта травяного яруса (ОПП 40 %).

По результатам однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) для ПП двух независимых групп (южный макросклон и северный макросклон) установлено, что средние значения 13 (3 ландшафтных параметра (экспозиция, высота над уровнем моря и крутизна склона) и 10 фитоценологических параметров, характеризующих древостой верхнего яруса, древостой погибшего самшита и семенное возобновление *B. colchica*) из 19 анализируемых характеристик ПП достоверно отличаются (табл. 4).

Изначально из анализа исключили 4 переменные, характеризующие морфологические параметры погибшего самшита (взрослых деревьев и подроста). Процесс пошагового включения в модель анализируемых параметров остановился на 14 переменных, из которых только 4 вносят значимый вклад в построение модели: ОПП подлеска и травяного покрова, число экземпляров подроста основных пород и диаметр древостоя верхнего яруса (табл. 5).

Для северного макросклона также изначально было задано четыре группы по числу всходов (учитывая их немногочисленность, с другими числовыми выражениями): 0, 2–3, 7–14, 15–35 шт./ПП. Параметры значимости дискриминации между группами для северного макросклона ниже (лямбда Уилкса = 0,04005, прил. $F(39,59) = 3,0204$, $p < 0,0001$), соответственно на диаграмме рассеяния вторая и четвертая группы ПП несколько перекрываются. Можно предположить, что в силу схожести условий произрастания на ПП второй группы стоит ожидать увеличения числа всходов *B. colchica* до значений четвертой группы. Из 13 пошагово включенных в построение модели переменных значимый вклад вносят только 4: ОПП подлеска и травяного покрова, число экземпляров подроста основных пород и крутизна склона (табл. 6).

Таблица 4

Результаты однофакторного дисперсионного анализа параметров ПП для южного и северного макросклона

Параметр	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
Экспозиция склона, ...°	112 729	1	112 729	663 030,0	64	10 359,84	10,88	0,002
Высота над уровнем моря, м	4 124 888	1	4 124 888	486 616,2	64	7 603,38	542,51	0,000
Крутизна склона, ...°	3 007	1	3 007	12 731,4	64	198,93	15,12	0,000
ОПЦ, %:								
подлеска	715	1	715	68 257,1	64	1 066,52	0,67	0,416
травяного покрова	23	1	23	76 517,0	64	1 195,58	0,02	0,889
Сомкнутость крон	0	1	0	3,3	64	0,05	1,78	0,187
N деревьев верхнего яруса, шт.	591	1	591	5 412,3	64	84,57	6,99	0,010
H _{ср} деревьев верхнего яруса, м	243	1	243	1 420,7	64	22,20	10,96	0,002
D _{ср} деревьев верхнего яруса, см	169	1	169	19 305,7	64	301,65	0,56	0,456
N подроста, шт.	10 687	1	10 687	960 533,4	64	15 008,33	0,71	0,402
H _{ср} подроста, см	9 696	1	9 696	445 931,4	64	6 967,68	1,39	0,243
N погибших деревьев	27 836	1	27 836	270 401,5	64	4 225,02	6,59	0,013
B. colchica, шт.								
H _{ср} погибших деревьев	69	1	69	408,3	64	6,38	10,83	0,002
B. colchica, м								
D _{ср} погибших деревьев B. colchica, см	213	1	213	697,0	64	10,89	19,56	0,000
N погибшего подроста	4 929	1	4 929	15 079,7	64	235,62	20,92	0,000
B. colchica, шт.								
H _{ср} погибшего подроста B. colchica, м	6	1	6	24,0	64	0,38	17,22	0,000
D _{ср} погибшего подроста B. colchica, см	23	1	23	86,0	64	1,34	16,89	0,000
N всходов	11 535	1	11 535	42 933,5	64	670,84	17,19	0,000
B. colchica, шт.								
H _{ср} всходов	320	1	320	1 435,6	64	22,43	14,27	0,000
B. colchica, см								

Примечания. 1. SS Effect – сумма квадратов значений параметра; df Effect – число степеней свободы; MS Effect – средний квадрат значений параметра; SS Error – сумма квадратов ошибки; df Error – число степеней свободы ошибки; MS Error – средний квадрат ошибки; F – критерий Фишера; p – вероятность нулевой гипотезы; 2. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Таблица 5

**Результаты дискриминантного анализа ПП южного макросклона
с группирующей переменной «группа числа всходов»**

Параметр ($N = 30$)	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (3,17)	p-value	Toler.	R ²
Экспозиция склона, ...°	0,004	0,582	3,107	0,063	0,331	0,668
Высота над уровнем моря, м	0,002	0,913	0,410	0,747	0,277	0,722
Крутизна склона, ...°	0,004	0,587	3,037	0,067	0,242	0,757
ОПП, %:						
подлеска	0,004	0,494	4,437	0,023	0,149	0,850
травяного покрова	0,004	0,535	3,760	0,038	0,168	0,831
Сомкнутость крон	0,002	0,912	0,417	0,743	0,283	0,716
N деревьев верхнего яруса, шт.	0,004	0,567	3,298	0,054	0,191	0,808
$H_{\text{ср}}$ деревьев верхнего яруса, м	0,002	0,934	0,305	0,820	0,302	0,697
$D_{\text{ср}}$ деревьев верхнего яруса, см	0,005	0,453	5,216	0,013	0,148	0,851
N экземпляров подроста, шт.	0,014	0,167	21,522	0,000	0,255	0,744
N погибших деревьев <i>B. colchica</i> , шт.	0,002	0,850	0,762	0,534	0,355	0,644
$H_{\text{ср}}$ экземпляров подроста, см	0,002	0,963	0,162	0,919	0,382	0,617
N погибшего подроста <i>B. colchica</i> , шт.	0,002	0,939	0,278	0,839	0,359	0,640
$H_{\text{ср}}$ всходов <i>B. colchica</i> , см	0,003	0,656	2,268	0,128	0,418	0,581

Примечания. 1. N – число пробных площадок; Wilks' Lambda – лямбда Уилкса; Partial Lambda – частная лямбда Уилкса; F-remove – критерий Фишера; p-value – вероятность нулевой гипотезы; Toler. – толерантность; R² – квадрат множественной корреляции.
2. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Таблица 6

**Результаты дискриминантного анализа ПП северного макросклона
с группирующей переменной «группа числа всходов»**

Параметр ($N = 36$)	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (3,17)	p-value	Toler.	R ²
Экспозиция склона, ...°	0,047	0,845	1,218	0,328	0,590	0,409
Высота над уровнем моря, м	0,044	0,895	0,780	0,518	0,312	0,687
Крутизна склона, ...°	0,060	0,665	3,344	0,039	0,696	0,303
ОПП, %:						
подлеска	0,104	0,381	10,788	0,000	0,164	0,835
травяного покрова	0,108	0,369	11,389	0,000	0,113	0,886
Сомкнутость крон	0,054	0,736	2,391	0,098	0,112	0,887
N деревьев верхнего яруса, шт.	0,044	0,894	0,786	0,515	0,237	0,762
$H_{\text{ср}}$ деревьев верхнего яруса, м	0,046	0,863	1,050	0,391	0,358	0,641
$D_{\text{ср}}$ деревьев верхнего яруса, см	0,044	0,894	0,784	0,516	0,659	0,340
N экземпляров подроста, шт.	0,085	0,469	7,543	0,001	0,551	0,448
$H_{\text{ср}}$ экземпляров подроста, см	0,041	0,955	0,308	0,819	0,607	0,392
N погибших деревьев <i>B. colchica</i> , шт.	0,040	0,981	0,123	0,945	0,416	0,583
N погибшего подроста <i>B. colchica</i> , шт.	0,041	0,955	0,310	0,817	0,490	0,509

Примечание. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Таким образом, факторами, коррелированными с числом всходов *B. colchica* на ПП, для обоих макросклонов являются ОПП живого напочвенного покрова и число экземпляров подроста главных пород. Вероятно, условия, подходящие для семенного возобновления самшита и основных лесных пород, схожи. Для дискриминации ПП по числу всходов самшита в фитоценозах южного макросклона значение имеет также диаметр ствола деревьев основных пород, в сообществах северного макросклона – крутизна склона.

Для выявления характера влияния ландшафтных и фитоценологических параметров на число всходов самшита на ПП провели регрессионный анализ. Результаты анализа для ПП южного макросклона высоко значимы ($R = 0,96184$; $R^2 = 0,92514$; скоррект. $R^2 = 0,86432$; $F(13,16) = 15,211$; $p < 0,00000$; станд. ошибка оценки – 0,39273). Из анализируемых параметров влияние 6 достоверно, при этом наиболее важными предикторами для числа всходов на ПП являются ОПП подлеска и травяного покрова, а также средний диаметр древостоя основных пород (табл. 7), что согласуется с данными дискриминантного анализа. Регрессионные коэффициенты для первых двух показателей отрицательны, вклад в регрессию третьего параметра положителен. Соответственно, фактором, негативно влияющим на наличие и число светолюбивых всходов *B. colchica* на ПП южного макросклона, является разрастание под пологом леса травяно-кустарничкового покрова, оказывающего затеняющее воздействие на молодые растения самшита. Положительное влияние среднего диаметра древостоя основных пород на семенное возобновление самшита, скорее всего, обусловлено тем, что для тисо-самшитовой рощи с разреженным древостоем эффект затенения почвы со стороны полога верхнего яруса во многом зависит от наличия на ПП крупных деревьев главных пород с большим диаметром ствола и раскидистой кроной. На таких ПП создаются условия, ограничивающие разрастание живого напочвенного покрова и позволяющие развиваться светолюбивым всходам *B. colchica*.

Таблица 7

Результаты регрессионного анализа влияния параметров ПП на число всходов *B. colchica* на южном макросклоне

Параметр	b*	Std. Err. of b*	b	Std. Err. of b	t(16)	p-value
Свободный член	–	–	2,627	0,773	3,397	0,003
Экспозиция склона, ...°	0,067	0,121	0,001	0,002	0,554	0,586
Высота над уровнем моря, м	–0,260	0,091	–0,007	0,003	–2,840	0,011
Крутизна склона, ...°	–0,301	0,090	–0,034	0,010	–3,326	0,004
ОПП, %:						
подлеска	–0,589	0,133	–0,018	0,004	–4,414	0,000
травяного покрова	–0,478	0,124	–0,014	0,003	–3,830	0,001
Сомкнутость крон	0,149	0,149	0,718	0,719	0,997	0,333
N деревьев верхнего яруса, шт.	–0,191	0,155	–0,038	0,031	–1,223	0,238
H _{ср} деревьев верхнего яруса, м	–0,101	0,120	–0,023	0,028	–0,843	0,411
D _{ср} деревьев верхнего яруса, см	0,387	0,119	0,023	0,007	3,230	0,005
N экземпляров подроста, шт.	0,329	0,086	0,002	0,001	3,823	0,001
N погибших деревьев <i>B. colchica</i> , шт.	0,035	0,107	0,001	0,003	0,325	0,749
H _{ср} экземпляров подроста, см	–0,029	0,119	–0,000	0,002	–0,246	0,808
N погибшего подроста <i>B. colchica</i> , шт.	–0,092	0,109	–0,005	0,006	–0,838	0,415

Примечания. 1. b* – стандартизованные регрессионные коэффициенты (бета-коэффициенты); b – обычные регрессионные коэффициенты; Std. Err. – стандартная ошибка; t(16) – критерий Стьюдента, применяемый для проверки нулевой гипотезы; 16 – число степеней свободы; 2. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

Для северного макросклона значимость результатов множественной регрессии несколько ниже ($R = 0,82985$; $R^2 = 0,68866$; скорректир. $R^2 = 0,50468$; $F(13,22) = 3,7432$; $p < 0,00317$; станд. ошибка оценки – 0,58950). Число статистически значимых предикторов всего 3, из которых наибольший вклад, как и для фитоценозов южного макросклона, вносят ОПП подлеска и травяного покрова, отрицательно влияющие на число всходов самшита (табл. 8).

Таблица 8

Результаты регрессионного анализа влияния параметров ПП на число всходов *B. colchica* на северном макросклоне

Параметр	b*	Std. Err. of b*	b	Std. Err. of b	t(16)	p-value
Свободный член	–	–	1,364	1,425	0,957	0,348
Экспозиция склона, ... °	–0,181	0,159	–0,001	0,001	–1,137	0,267
Высота над уровнем моря, м	0,140	0,209	0,001	0,001	0,669	0,510
Крутизна склона, ... °	0,304	0,135	0,015	0,006	2,240	0,035
ОПП, %:						
подлеска	–0,667	0,207	–0,017	0,005	–3,215	0,003
травяного покрова	–0,954	0,219	–0,024	0,005	–4,339	0,000
Сомкнутость крон	–0,493	0,318	–1,798	1,162	–1,547	0,136
N деревьев верхнего яруса, шт.	–0,276	0,234	–0,020	0,017	–1,179	0,251
$H_{\text{ср}}$ деревьев верхнего яруса, м	0,296	0,184	0,051	0,032	1,600	0,123
$D_{\text{ср}}$ деревьев верхнего яруса, см	–0,138	0,141	–0,007	0,007	–0,980	0,337
N экземпляров подроста, шт.	0,253	0,148	0,002	0,001	1,709	0,101
N погибших деревьев <i>B. colchica</i> , шт.	–0,019	0,155	–0,000	0,001	–0,124	0,902
$H_{\text{ср}}$ экземпляров подроста, см	–0,006	0,187	–0,000	0,002	–0,033	0,973
N погибшего подроста <i>B. colchica</i> , шт.	0,076	0,170	0,006	0,014	0,446	0,659

Примечание. Выделенные полужирным значения достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

В то же время прямого влияния фактора сомкнутости крон основных пород, непосредственно определяющего уровень инсоляции в нижнем ярусе леса, на число всходов *B. colchica* на ПП фитоценозов обоих макросклонов не выявлено. Вероятно, это связано с тем, что, с одной стороны, затенение со стороны полога верхнего яруса сдерживает разрастание живого напочвенного покрова, с другой – препятствует появлению всходов самшита (особенно в фитоценозах северного макросклона с более плотным древостоем).

Схожая реакция параметров семенного возобновления главных пород на изменение условий освещения нижних ярусов характерна и для других типов леса Западного Кавказа. Так, сильное разрастание травяного покрова и подлеска после рубки губительно влияет на появление всходов и подроста главных пород в пихтарниках и буково-пихтовых лесах [2]. Даже спустя 40 лет после рубки восстановление древостоя на лесосеках протекает неудовлетворительно и требует содействия со стороны человека.

Заключение

В условиях смены сообществ, вызванной экспансией *C. perspectalis* и последовавшей эпифитотией самшитников Западного Кавказа, для *B. colchica* характерна крайне низкая интенсивность семенного возобновления. Максимальное отмеченное число всходов самшита в фитоценозах южного макро-

склона – 320 шт./га, северного – 87 шт./га. Основным фактором, препятствующим появлению и развитию всходов *B. colchica*, является интенсивное разрастание под пологом осветленных лесов травяно-кустарничкового покрова из *Ruscus colchicus*, *Rubus anatolicus*, *Hedera colchica*, *Geranium robertianum*, *Allium ursinum*, *Symphytum grandiflorum*, *Asarum intermedium* и др. Наличие семенного возобновления самшита в основном отмечено на участках леса с ОПП подлеска до 50 % на обоих макросклонах. Максимальное ОПП травяного покрова на площадках со всходами самшита составляет 15 % на южном и 40 % на северном макросклонах. При дальнейшем разрастании живого напочвенного покрова в лесных фитоценозах и сокращении почвенного банка жизнеспособных семян *B. colchica* естественное восстановление самшитников Западного Кавказа маловероятно.

Рекомендацией по искусственному поддержанию семенного возобновления вида является ограничение разрастания подлеска и травянистых растений на сохранившихся участках леса со слабым развитием живого напочвенного покрова (например, механическое удаление растений). Эффективными данные мероприятия могут быть в том числе и на территории Кавказского государственного природного биосферного заповедника им. Х.Г. Шапошникова, сотрудники которого, согласно Положению о федеральном государственном учреждении [11], вправе осуществлять деятельность, направленную на сохранение в естественном состоянии и восстановление природных комплексов.

Результаты, полученные в ходе данных исследований, составят основу последующего мониторинга динамических процессов в лесных фитоценозах региона в направлении возможной коренной смены сообществ или восстановления самшитовых лесов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Акатова Ю.С., Резчикова О.Н., Грабенко Е.А. Отклик биоценозов Хостинской тисо-самшитовой рощи на гибель самшита колхидского // Актуальные проблемы сохранения биоразнообразия и экологически сбалансированного природопользования на Западном Кавказе: материалы междунар. конф. Нальчик, 2019. С. 94–95. [Akatova Yu.S., Rezchikova O.N., Grabenko E.A. Response of Biotic Communities of the Khosta Yew-Boxwood Grove to the *Buxus colchica* Destruction. *Current Issues of Biodiversity Conservation and Environmentally Sustainable Nature Management in the Western Caucasus: Proceedings of the International Conference*. Nalchik, 2019, pp. 94–95].

2. Бебия С.М. Лесные ресурсы Черноморского побережья Кавказа: проблемы и перспективы их рационального использования // Сиб. лесн. журн. 2015. № 1. С. 9–24. [Bebia S.M. Forest Resources of the Caucasian Black Sea Coast: Problems and Prospects of Rational Use. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2015, no. 1, pp. 9–24].

3. Бормотов И.В. Лагонакское нагорье: стратегия развития: горно-рекреационное природопользование. Майкоп: Адыгея, 2008. 167 с. [Bormotov I.V. *Lagonaki Highlands: Development Strategy. Mountain and Recreational Use of Natural Resources*. Maykop, Adygea Publ., 2008. 167 p.].

4. Гасич Е.Л., Казарцев И.А., Ганнибал Ф.Б., Коваль А.Г., Шупилова Н.П., Хлопунова Л.Б., Овсянникова Е.И. Новый для Абхазии вид *Calonectria pseudonaviculata* – возбудитель ожога самшита // Микология и фитопатология. 2013. Т. 47, вып. 2. С. 129–131. [Gasich E.L., Kazartsev I.A., Gannibal Ph.B., Koval A.G., Shipilova N.P., Khlopunova L.B., Ovsyannikova E.I. *Calonectria pseudonaviculata* – A New for Abkhazia Species, the Causal Agent of Boxwood Blight. *Mikologiya i Fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2013, vol. 47, iss. 2, pp. 129–131].

5. Дворецкая Е.В. Влияние природно-климатических факторов на обилие и распределение подроста самшита колхидского // Лесоведение. 2010. № 4. С. 27–33. [Dvoretzskaya E.V. The Influence of Natural Climatic Factors on the Number and Distribution of Box Regrowth. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2010, no. 4, pp. 27–33].

6. Дворецкая Е.В. Характеристика древостоев *Buxus colchica* и их состояние с 2005 по 2009 год // Самшит колхидский: ретроспектива и современное состояние популяций: науч. тр. Сочинского национального парка. Вып. 7. М.: Буки Веди, 2016. С. 41–53. [Dvoretzskaya E.V. Characteristics of *Buxus colchica* Stands and Their Condition from 2005 to 2009. *Buxus colchica: Retrospective and Current State of Populations: Proceedings of the Sochi National Park*. Moscow, Buki Vedi Publ., 2016, iss. 7, pp. 41–53].

7. Гниненко Ю.И., Сергеева Ю.А., Ширяева Н.В., Лянгузов М.Е. Самшитовая огневка – опасный инвазивный вредитель самшита // Лесохоз. инф. 2016. № 3. С. 25–35. Режим доступа: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 29.11.19). [Gninenko Yu.I., Sergeyeva Yu.A., Shiryayeva N.V., Lyanguzov M.E. Boxwood Moth *Cydalima perspectalis* – A Dangerous Invasive Pest of Boxwood. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2016, no. 3, pp. 25–35].

8. Жукова А.И., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Ледяева А.С. Лесное ресурсоведение. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 213 с. [Zhukova A.I., Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Ledyayeva A.S. *Forest Resource Management*. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2008. 213 p.].

9. Колганихина Г.Б., Ран И. Годичная динамика состояния самшита колхидского и развитие цилиндрокладииоза в Сочинском национальном парке // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. Т. 18, № 6. С. 202–209. [Kolganikhina G.B. Year Dynamics of the Colchis Box Health Status and Cylindrocladium Box Blight Development in the Sochi National Park. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2014, vol. 18, no. 6, pp. 202–209].

10. Неронов В.В. Полевая практика по геоботанике в средней полосе Европейской России. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2002. 139 с. [Neronov V.V. *Field Practice on Geobotany in Central Russia*. Moscow, BCC Publ., 2002. 139 p.].

11. Положение о федеральном государственном учреждении «Кавказский государственный природный биосферный заповедник» им. Х.Г. Шапошникова. Режим доступа: <http://www.alppp.ru/law/okruzhayuschaja-sreda-i-prirodnye-resursy/ohrana-okruzhayuschej-sredy-i-obespechenie-ekologicheskoy-bezopasnosti/4/polozhenie-o-federalnom-gosudarstvennom-uchrezhdenii-kavkazskij-gosudarstvennyj-prirodnyj-.html> (дата обращения: 29.11.19). [Regulation on the Federal State Institution “Caucasian State Natural Biosphere Reserve” named after H.G. Shaposhnikov].

12. Резчикова О.Н. Характер возобновления *Taxus baccata* на Западном Кавказе // Вестн. Адыгейского гос. ун-та. Сер. 4: Естеств.-математ. и техн. науки. 2017. Вып. 3(206). С. 88–94. [Rezchikova O.N. The Nature of the Renewal of *Taxus baccata* in the Western Caucasus. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta, seriya «Estestvenno-matematicheskiye i tekhnicheskkiye nauki»* [The Bulletin of the Adyghe State University, the series “Natural-Mathematical and Technical Sciences”], 2017, iss. 3(206), pp. 88–94].

13. Рыбак Е.А. Общая характеристика климата и климатообразующих факторов района исследований // Самшит колхидский: ретроспектива и современное состояние популяций: науч. тр. Сочинского национального парка. Вып. 7. М.: Буки Веди, 2016. С. 26–31. [Rybak E.A. General Characteristics of Climate and Climate-Forming Factors in the Research Area. *Buxus colchica: Retrospective and Current State of Populations: Proceedings of the Sochi National Park*. Moscow, Buki Vedi Publ., 2016, vol. 7, pp. 26–31].

14. Семагина Р.Н. Растительность колхидских субтропических лесов Сочинского побережья Кавказа // Почвенно-биогеоценологические исследования: тр. Кавказского государственного заповедника. Вып. 14. М., 1990. С. 33–44. [Semagina R.N. Vegetation of the Colchian Subtropical Forests of the Sochi Coast of the Caucasus. *Soil and Biogeocenological Studies: Proceedings of the Caucasus State Reserve*. Moscow, 1990, iss. 14, pp. 33–44].

15. Солтани Г.А., Рыбак Е.А. Прогнозирование направления сукцессии самшитников Черноморского побережья Кавказа // Социальные, экономические, технологические и

экологические аспекты устойчивого развития регионов России: сб. науч. ст. Всерос. науч. конф. Сочи, 23–26 окт. 2018 г. Сочи: ИП Кривлякин С.П., тип. «Оптима», 2018. С. 275–281. [Soltani G.A., Rybak E.A. Predicting the Direction of Succession of Boxwood on the Black Sea Coast of Caucasus. *Social, Economic, Technological and Environmental Aspects of Sustainable Development of the Russian Regions: Collection of Academic Papers of the All-Russian Conference, Sochi, October 23–26, 2018*. Sochi, Optima Publ., 2018. pp. 275–281].

16. Щуров В.И., Вибе Е.Н., Щурова А.В., Бондаренко А.С. Динамика численности самшитовой огневки *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) и состояния лесных популяций самшита *Buxus colchica* Pojarkov, 1947 на Северо-Западном Кавказе в 2017–2018 гг. // X чтения памяти О.А. Катаева: Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах. Т. 1. Насекомые и прочие беспозвоночные животные: материалы междунар. конф. Санкт-Петербург, 22–25 окт. 2018 г. / под ред. Д.Л. Мусолина и А.В. Селиховкина. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С. 123–124. [Shchurov V.I., Vibe E.N., Shchurova A.V., Bondarenko A.S. Population Dynamics of *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) and the State of Populations of *Buxus colchica* Pojarkov, 1947 in the North-Western Caucasus in 2017–2018. *The Kataev Memorial Readings – X. Dendrobiotic Invertebrates and Fungi and Their Role in Forest Ecosystems. Vol. 1. Insects and Other Invertebrates: Proceedings of the International Conference, Saint Petersburg, October 22–25, 2018*. Saint Petersburg, SPbFTU Publ., 2018, pp. 123–124]. DOI: [10.21266/SPBFTU.2018.KATAEV.1](https://doi.org/10.21266/SPBFTU.2018.KATAEV.1)

17. Щуров В., Скворцов М., Радченко К., Семенов А., Жуков Е., Щурова А. Инвентаризация мест обитания и популяций самшита колхидского как потенциальных участков ЛВПЦ на южном макросклоне Северо-Западного Кавказа в условиях продолжающейся инвазии самшитовой огневки // Устойчивое лесопользование. 2017. № 4(52). С. 13–21. [Shchurov V., Skvortsov M., Radchenko K., Semenov A., Zhukov E., Shchurova A. Inventory of *Buxus colchica* Habitats and Populations as Potential High Conservation Value Forests Sites on the Southern Macroslope of the Western Caucasus under the Ongoing Invasion of Boxwood Moth. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye*, 2017, no. 4(52). pp. 13–21].

18. Щуров В., Бондаренко А., Жуков Е., Шелест В., Алентьев Н., Скворцов М., Мухина С. Уточнение ареала самшита колхидского на северном макросклоне Западного Кавказа с целью учреждения лесных генетических резерватов в условиях экспансии самшитовой огневки // Устойчивое лесопользование. 2016. № 2(46). С. 25–30. [Shchurov V.I., Bondarenko A., Zhukov E., Shelest V., Alent'yev N., Skvortsov M., Mukhina S. Inventory of the *Buxus colchica* Area within the Northern Macroslope of the Western Caucasus for Establishing Forest Genetic Reserves in the Context of *Cydalima perspectalis* Expansion. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye*, 2016, no. 2(46), pp. 25–30].

19. Badano D., Caracciolo D., Mariotti M., Raineri V. Destruction of a Protected Habitat by an Invasive Alien Species: The Case of *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) in the Box Tree Formations of Liguria (North-West Italy) (Lepidoptera: Crambidae). *SHILAP*, 2019, vol. 47(185), pp. 87–95.

20. Baur B., Jung J., Rusterholz H.-P. Defoliation of Wild Native Box Trees (*Buxus sempervirens*): Does Box Rust (*Puccinia buxi*) Infection Influence Herbivory, Survival and Growth of the Invasive *Cydalima perspectalis*? *Journal of Applied Entomology*, 2019, vol. 143, iss. 7, pp. 766–775. DOI: [10.1111/jen.12640](https://doi.org/10.1111/jen.12640)

21. Bras A., Avtzis D.N., Kenis M., Li H., Véték G., Bernard A. et al. A Complex Invasion Story Underlies the Fast Spread of the Invasive Box Tree Moth (*Cydalima perspectalis*) across Europe. *Journal of Pest Science*, 2019, vol. 92, iss. 3, pp. 1187–1202. DOI: [10.1007/s10340-019-01111-x](https://doi.org/10.1007/s10340-019-01111-x)

22. Kenis M., Nacambo S., Leuthardt F.L.G., di Domenico F., Haye T. The Box Tree Moth, *Cydalima perspectalis*, in Europe: Horticultural Pest or Environmental Disaster? *Aliens: The Invasive Species Bulletin*, 2013, iss. 33, pp. 38–41.

23. López C., Eizaguirre M. Diapause and Biological Cycle of *Cydalima perspectalis* (Walker) in the Eastern Pyrenees. *Journal of Applied Entomology*, 2019, vol. 143, iss. 10, pp. 1096–1104. DOI: [10.1111/jen.12709](https://doi.org/10.1111/jen.12709)

24. Martini A., Vitantonio C.D., Dindo M.L. Acceptance and Suitability of the Box Tree Moth *Cydalima perspectalis* as Host for the Tachinid Parasitoid *Exorista larvarum*. *Bulletin of Insectology*, 2019, vol. 72(1), pp. 150–160.
25. Mitchell R., Chitanava S., Dbar R., Kramarets V., Lehtijärvi A., Matchutadze I. et al. Identifying the Ecological and Societal Consequences of a Decline in *Buxus* Forests in Europe and the Caucasus. *Biological Invasions*, 2018, vol. 20, iss. 12, pp. 3605–3620. DOI: [10.1007/s10530-018-1799-8](https://doi.org/10.1007/s10530-018-1799-8)
26. Mostini L. Bird Predation on Larvae of the Box Tree Moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859). *Rivista italiana di Ornitologia* [Research in Ornithology], 2019, vol. 88, no. 2, pp. 45–46. DOI: [10.4081/rio.2018.372](https://doi.org/10.4081/rio.2018.372)
27. Nacambo S., Leuthardt F.L.G., Wan H., Li H., Haye T., Baur B., Weiss R.M., Kenis M. Development Characteristics of the Box-Tree Moth *Cydalima perspectalis* and Its Potential Distribution in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 2014, vol. 138, iss. 1-2, pp. 14–26. DOI: [10.1111/jen.12078](https://doi.org/10.1111/jen.12078)
28. Nagy A., Szarukán I., Csabai J., Molnár A., Molnár B.P., Kárpáti Z., Tóth M. Distribution of the Box Tree Moth (*Cydalima perspectalis* Walker 1859) in the North-Eastern Part of the Carpathian Basin with a New Ukrainian Record and Hungarian Data. *EPPO Bulletin*, 2017, vol. 47, iss. 2, pp. 279–282. DOI: [10.1111/epp.12384](https://doi.org/10.1111/epp.12384)
29. *The Plant List*. Version 1.1. 2013. Available at: <http://www.theplantlist.org> (accessed 29.11.19).
30. Wan H., Haye T., Kenis M., Nacambo S., Xu H., Zhang F., Li H. Biology and Natural Enemies of *Cydalima perspectalis* in Asia: Is There Biological Control Potential in Europe? *Journal of Applied Entomology*, 2014, vol. 138, iss. 10, pp. 715–722. DOI: [10.1111/jen.12132](https://doi.org/10.1111/jen.12132)

SEED REGENERATION OF *Buxus colchica* Pojark. UNDER THE CONDITIONS OF EPIPHYTICS OF BOXWOOD FORESTS

V.A. Chadaeva, Doctor of Biology; ResearcherID: [AAF-3095-2019](https://orcid.org/0000-0002-0788-1395),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0788-1395>

R.H. Pshegusov, Candidate of Biology; ResearcherID: [I-8766-2012](https://orcid.org/0000-0002-6204-2690),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6204-2690>

Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of Russian Academy of Sciences,
ul. I. Armand, 37a, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, 360051, Russian Federation;
e-mail: v_chadayeva@mail.ru, p_rustem@inbox.ru

In response to expansion of *Cydalima perspectalis* Walker, 1859, mass scale drying of *Buxus colchica* Pojark. resulted in succession of forest communities of the Western Caucasus in 2014–2017. Changes in illumination of the forest low storeys were conducive to intensive growth of such herbaceous plants as *Symphytum grandiflorum* DC., *Asarum intermedium* (C. A. Mey. ex Ledeb.) Grossh., *Festuca drymeja* Mert. & W.D.J. Koch, *Allium ursinum* L., etc. and *Ruscus colchicus* Yeo, *Geranium robertianum* L., *Rubus anatolicus* Focke, *Hedera colchica* (K. Koch) K. Koch in the undergrowth. The ground vegetation with total projective cover up to 100 % was formed. Under current conditions the total number of *B. colchica* seedlings 2–15 cm high is only 10–320 pcs/ha on the southern macroslope and 5–87 pcs/ha on the northern macroslope. It is hundreds and thousands of times less as it was before boxwood forests extinction. The research purpose was to determine the factors effecting seed regeneration of *B. colchica* in the Western Caucasus under the conditions of succession caused by *C. perspectalis* expansion and further epiphytotics of boxwood forests. We carried out the studies on the southern and northern macroslopes of the Western Caucasus in the basins of the Khosta, Kurdzhips, and Tsitsa rivers in 2018–2019. The number of *B. colchica* seedlings was determined by their complete enumeration within 66 sampling plots; the area of each plot comprised 400 m². When revealing the factors which effect seed regeneration

of *B. colchica*, we analyzed 17 landscape and phytocenotic parameters: altitude above sea level; exposure and slope inclination; crown density of upper storey; parameters of undergrowth, main species stands, and dead boxwood; total projective cover of undergrowth and herbage. The principal factor preventing development of *B. colchica* seedlings is growth-inhibition due to the herb-shrub storey. The total projective cover of undergrowth and herbage are the most important predictors for the number of *B. colchica* seedlings on the sampling plots. For the mentioned parameters we revealed the maximum regression coefficients b^* at the significance level $p < 0.05$: -0.589 and -0.478 for the southern macroslope, and -0.667 and -0.954 for the northern macroslope. The maximum projective cover of undergrowth in forest areas with boxwood regeneration is 50 % for both macroslopes. The maximum acceptable herbage cover is 15 % in the basin of the Khosta river, and 40 % in the basins of the Tsitsa and Kurdzhips rivers. Shading from the side of the forest upper storey suppresses growth of ground vegetation, and also prevents the development of *B. colchica* seedlings. Therefore the crown density, within the complex of factors, has no direct effect on the parameters of seed regeneration of *B. colchica*. In case of further intensive growth of the herb-shrub storey in forest phytocenoses, natural boxwood forests regeneration is highly improbable in the Western Caucasus. Artificial removal of undergrowth and herbage in forest areas will facilitate seed regeneration of the species. The research results are the basis for further monitoring of the regeneration processes of boxwood forests or their possible aboriginal change in the region.

For citation: Chadaeva V.A., Pshegusov R.H. Seed Regeneration of *Buxus colchica* Pojark. under the Conditions of Epiphytotics of Boxwood Forests. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 55–73. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-55-73

Funding: The research was carried out with the financial support from the RFBR grant No. 18-04-00961 and within the framework of the state assignment No. 075-00347-19-00 on the topic “Regularities of the Spatiotemporal Dynamics of Meadow and Forest Ecosystems in Mountainous Areas (The Russian Western and Central Caucasus)”.

Acknowledgements: We gratefully acknowledge I.B. Rapoport, candidate of biology, the head of the Laboratory for Ecology of Invertebrate Species and Communities of the Tembotov Institute of Ecology of Mountain Territories of the Russian Academy of Sciences, for comprehensive assistance in collecting the field data.

Keywords: forest phytocenosis, succession, regeneration of *Buxus colchica*, ground vegetation, *Cydalima perspectalis*, Western Caucasus.

Поступила 29.11.19 / Received on November 29, 2019

УДК 630*235.41

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-74-87

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОЦЕНКА МНОГОЛЕТНЕЙ ИНТРОДУКЦИИ НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ЮЖНО-ТАЕЖНОГО РАЙОНА

Н.А. Дружинин^{1,2}, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [S-7473-2019](https://orcid.org/0000-0002-0899-7015),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0899-7015>

Ф.Н. Дружинин^{1,2}, д-р с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [R-3622-2019](https://orcid.org/0000-0003-4645-4270),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4645-4270>

Д.М. Корякина^{1,2}, аспирант, инж.-исследователь; ResearcherID: [P-6030-2019](https://orcid.org/0000-0001-7649-4594),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7649-4594>

С.В. Цыпилев^{1,2}, аспирант, инж.-исследователь; ResearcherID: [AAZ-1022-2020](https://orcid.org/0000-0002-3498-4250),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3498-4250>

О.В. Чухина¹, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [ABE-7966-2020](https://orcid.org/0000-0003-0318-4549),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0318-4549>

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; e-mail: drujinin@mail.ru, drujinin.n.a@yandex.ru, koryakina.dary@yandex.ru, zipilev_tsv@mail.ru

²Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062

В работе отражены результаты анализа жизненного состояния и устойчивости насаждений с участием в их составе пород-интродуцентов на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района в условиях Вологодской области. Цель исследования – обобщение имеющихся сведений и проведение лесоводственной оценки многолетней интродукции в насаждениях на этих территориях. Выявлен видовой состав, проанализировано санитарное и декоративное состояние древесной и кустарниковой растительности. Объектами исследования являлись насаждения, произрастающие на территории парков, расположенных в г. Устюжна, поселках Даниловское и Можайское, а также в с. Куркино. Установлено, что породный состав изученных насаждений на особо охраняемых природных территориях представлен 34 видами древесно-кустарниковой растительности: 4 вида хвойных деревьев, 16 видов лиственных деревьев, 14 видов кустарников. Доля интродуцентов среди них составляет более 60 %. В ходе учетных работ зафиксировано 12 разновидностей повреждений, которые по степени влияния разделены на 3 группы, % от общего количества поврежденных растений: значительно снижающие устойчивость – 18; снижающие декоративность – 38; снижающие санитарное состояние – 44. В целях улучшения санитарного состояния насаждений, обеспечения выполнения ими своих целевых функций, а также для уменьшения экономического ущерба от воздействия неблагоприятных антропогенных факторов, в обследованных насаждениях на особо охраняемых природных территориях требуется проведение санитарно-оздоровительных мероприятий в виде удаления аварийных, усыхающих и сухостойных деревьев. Отобраны растения по признаку старовозрастности и исторической ценности, выполнена их паспортизация. Оценено биологическое разнообразие древесной и кустарниковой растительности посредством определения индексов биоразнообразия. Выявлена взаимосвязь между составом древостоя и его устойчивостью к неблагоприятным экологическим факторам. Результаты исследования могут быть использованы органами исполнительной власти других субъектов Российской Федерации при планировании и организации работ по обустройству защитных лесов, в том числе зеленых зон городов.

Для цитирования: Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Корякина Д.М., Цыпилев С.В., Чухина О.В. Результаты и оценка многолетней интродукции на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 74–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-74-87

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного контракта от 29 мая 2018 г. по теме: «Состояние наземных природных комплексов ООПТ областного и регионального значений», отчет о проделанной работе предоставлен в Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, защитные леса, зеленые зоны, насаждения, интродуценты, санитарное состояние, биологическое разнообразие, жизненное состояние.

Введение

Проблема повышения продуктивности лесов стала актуальна в нашей стране с осознанием факта истощения лесных ресурсов. При этом одной из главных задач является повышение ее экологической составляющей, а именно: ландшафтно- и биосферно-стабилизирующей, кислородно-продуцирующей, водоохранно-водорегулирующей и других функций леса. Весь комплекс мероприятий, направленных в том числе на решение этой задачи, подразделяется на 7 групп, одна из которых затрагивает обновление и улучшение состава лесов и включает следующее:

- использование быстрорастущих и высокопродуктивных пород;
- размножение и использование внутривидовых форм древесных пород, отличающихся быстротой роста, морозо-, засухо- и солеустойчивостью, смолопродуктивностью и др.;
- интродукцию инорайонной флоры;
- создание лесных культур из орехоплодных, технических и лекарственных растений.

Из всего перечня мероприятий, направленных на повышение экологической продуктивности лесов, в рамках исследования рассматривается интродукция растений, которая представляет собой деятельность по введению в культуру новых видов, форм и сортов путем разведения их за пределами естественного ареала или продвижения в новые районы [2].

Первые попытки организации работ по целенаправленной интродукции растений в России относятся к началу XVIII в. В это время по указанию Петра I в Санкт-Петербурге, Москве, Лубнах и других местах организуются «аптекарские огороды» – прообразы нынешних ботанических садов, закладываются первые лесные культуры из интродуцентов – дубовая роща «Дубки» у Таганрога и знаменитая роща лиственницы недалеко от Санкт-Петербурга [5]. Во второй половине XVIII в. массово создаются парки и сады, принадлежащие частным лицам, преимущественно из высшего сословия (Демидову, Разумовскому, Трубецкому, Орлову, Уварову и др.). Здесь собираются коллекции редких привозных растений, как оранжерейных, так и открытого грунта. Эти сады по праву могли называться ботаническими [1].

При решении задачи повышения экологической продуктивности лесов важную роль играют мероприятия по увеличению биологического разнообразия и расширению породного состава древесных пород в защитных лесах, в первую очередь за счет интродукции устойчивых и ценных древесных растений. Связано это с тем, что в лесах таежной зоны видовой состав естественно

произрастающих древесных пород ограничен, а для увеличения привлекательности и устойчивости насаждений, особенно в зеленых зонах городов, необходимо и оправданно расширение и введение новых пород в культуру. В связи с этим следует использовать имеющийся опыт многолетней интродукции, который позволяет комплексно решать стоящую перед лесным хозяйством задачу.

Леса, расположенные на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), являются одной из категорий защитных лесов, в которых соблюдается специальный правовой режим использования [6]. По своему назначению защитные леса выполняют водоохранную, почво- и климатозащитную, санитарно-гигиеническую, эстетическую и другие специальные функции. Важнейшая задача лесного хозяйства – проектирование в них такой системы лесохозяйственной деятельности, которая бы обеспечивала [4]:

увеличение лесопокрытой площади за счет немедленного восстановления лесов на не покрытых лесом землях;

улучшение породного состава насаждений путем реконструкции и системного ухода за лесами;

формирование и выращивание смешанных и сложных насаждений с повышенными водоохранными, почво- и ветрозащитными и другими полезными функциями;

создание в зеленых зонах и курортных лесах привлекательных ландшафтов и насаждений с высокими санитарно-гигиеническими и эстетическими свойствами, характеризующихся устойчивостью к различного рода воздействиям;

совершенствование способов и средств охраны и защиты насаждений от вредных насекомых, грибов, пожаров, болезней, способов и средств их воспроизводства и лесоразведения.

Санитарное состояние лесов зеленых зон в последнее время постоянно ухудшается под влиянием ряда факторов: отсутствия должной охраны, ухода и контроля; осуществления незаконных рубок; вовлечения части площадей в сельскохозяйственное использование местным населением; естественного старения. Большинство рассматриваемых насаждений относятся к спелой и перестойной хозяйственным группам возраста. Они находятся в расстроенном и неухоженном состоянии, частично происходит смена пород, присутствует выраженная трансформация условий местопроизрастания, что подтверждается материалами Лесного плана Вологодской области [7].

Вопросы восстановления и сбережения лесов рассматриваются на федеральном уровне. В настоящее время реализуется национальный проект «Экология» (федеральный проект «Сохранение лесов»). В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 г., утвержденной постановлением Правительства Вологодской области от 17.10.2016 г. № 920, рассматриваемый нами субъект Российской Федерации – один из регионов-лидеров культурно-познавательного, религиозного, событийного, круизного, сельского, охотничьего, экологического, лечебно-оздоровительного и спортивного туризма. В связи с этим все мероприятия в регионе должны быть направлены на сохранение и улучшение экологии, санитарного состояния насаждений зеленых зон городов, расположенных на его территории.

Зеленые зоны устанавливаются в целях обеспечения социальной функции – защиты населения от неблагоприятных природных и техногенных воз-

действий, сохранения и оздоровления окружающей среды. К таким территориям относятся выделенные в установленном порядке, за пределами городской черты, площади, занятые лесами, лесопарками и озеленительными насаждениями, выполняющими защитные и санитарно-гигиенические функции, а также места отдыха населения. Эти территории подвержены постоянному антропогенному воздействию, однако зон рекреационных насаждений до сих пор не выделено. Наиболее посещаемыми являются леса, имеющие научное или историческое значение, особо ценные лесные массивы, участки леса вдоль дорог, а также ООПТ [7, 11].

Поэтому весьма актуальны вопросы, связанные с изучением и комплексной оценкой санитарного состояния таких насаждений, разработкой системного подхода и поиском путей улучшения качества насаждений в защитных лесах, в том числе и в зеленых зонах.

Комплексная лесоводственная оценка результатов многолетней интродукции на ООПТ позволит перенять имеющийся опыт для последующего применения при ведении лесного хозяйства в лесах с ограниченным режимом использования (защитные леса). Введение в культуру интродуцентов при целенаправленном и научно обоснованном воспроизводстве и лесоразведении повысит не только привлекательность, но и устойчивость этих насаждений.

Цель исследования – обобщение имеющихся сведений и проведение лесоводственной оценки многолетней интродукции в насаждениях на ООПТ южно-таежного района в условиях Вологодской области.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования стали насаждения, произрастающие на ООПТ регионального значения, относящиеся к категории памятников природы (рис. 1). Их подбор осуществлялся на основании исторической значимости объекта, наличия интродуцентов в составе насаждения, статуса ООПТ [12, 15]. Обследования выполнялись в весенне-летний период 2017–2018 гг.

Климат изучаемой территории благоприятен для успешного произрастания сосны (*Pinus sylvestris*), ели (*Picea abies*), березы повислой (*Betula pendula*) и пушистой (*Betula pubescens*), осины (*Populus tremula*) и других древесных и кустарниковых пород, типичных не только для зоны таежных лесов. К неблагоприятным климатическим факторам, отрицательно влияющим на рост и развитие древесной растительности, которые необходимо учитывать при введении интродуцентов в культуру, следует отнести:

- изменение суммы положительных температур воздуха выше 10 °С в диапазоне 1550...1650 °С на большей части территории;

- поздние весенние (до 20 мая) и ранние осенние (до 15 сентября) заморозки, побивающие цветки и молодые побеги древесных пород, приводящие к искривлению побегов и многовершинности некоторых деревьев;

- низкие температуры зимой (абсолютный минимум при –32 °С), вызывающие глубокие морозобойные трещины;

- зимние оттепели, способствующие повреждению деревьев ожеледью и снеговалом;

- сильные ветра, вызывающие ветроломы и буреломы;

- избыток влаги, способствующий образованию заболоченных земель и болот.

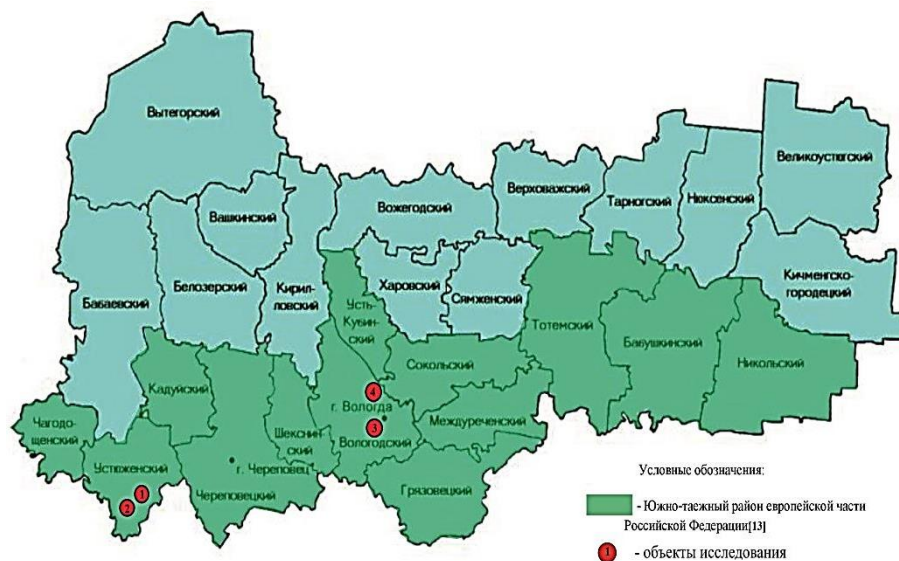


Рис. 1. Карта-схема расположения исследованных ООПТ в южно-таежном районе Вологодской области

Fig. 1. Schematic map of the location of the studied specially protected natural areas in the south taiga zone of the Vologda region

Объектами исследования являлись насаждения, произрастающие на территории парков: «Дендропарк» в г. Устюжна, «Старый парк» в пос. Даниловское, «Старый парк» в пос. Можайское, «Старый парк» в с. Куркино. В настоящее время на рассматриваемых территориях произрастают древесные и кустарниковые растения как искусственного, так и естественного происхождения.

Городской парк в г. Устюжна был заложен в 1950 г. главным лесничим Устюженского лесхоза В.В. Дьячковым. Семена древесно-кустарниковых растений были получены из Тимирязевской сельскохозяйственной академии благодаря посредничеству проф. Г.Р. Эйтингена; из Московского научно-исследовательского института лесного хозяйства – от проф. А.С. Яблокова; из дальневосточных научных учреждений и Одессы. Цель создания парка – формирование учебной базы для студентов Лесной школы и создание культурного места отдыха в г. Устюжна.

«Старый парк» пос. Даниловское заложен (1813 г.) в родовом поместье семьи Батюшковых в честь победы в Отечественной войне 1812 г. Парк непосредственно связан с жизнью и литературной деятельностью поэта К.И. Батюшкова и писателя А.И. Куприна. В настоящее время в пос. Даниловское находится филиал Устюженского краеведческого музея [13].

«Старый парк» в пос. Можайское является памятником садово-паркового искусства (Решение исполнительного комитета Вологодского областного Совета народных депутатов № 98 от 29.01.1963 г.). Из дневника владелицы усадьбы Е.Н. Кузьминой следует, что началом проектирования парка (на тот момент сада) можно считать 24 августа 1859 г. Далее усадьбой владел А.Ф. Можайский, доверивший проект парка и посадки мастеру-садовнику А.И. Роози.

Основной особенностью английского «Старого парка» в с. Куркино является его форма в виде герба Российской империи – двуглавого орла. Объект был заложен в 80-х гг. XIX в., статус памятника природы ему присвоен в 1963 г., ООПТ – в 2008 г. [5].

Исследованные насаждения всех ООПТ расположены на землях муниципальных поселений (табл. 1). За их охрану и функционирование отвечает департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Вологодской области.

Таблица 1

**Общая характеристика исследованных ООПТ южно-таежного района
Вологодской области**

№ п/п	ООПТ	Муниципальный район	Площадь, га	Количество растений, шт.
1	«Дендропарк» г. Устюжна	Устюженский	4,0	28
2	«Старый парк» пос. Даниловское	Устюженский	3,9	18
3	«Старый парк» пос. Можайское	Вологодский	2,8	20
4	«Старый парк» с. Куркино	Вологодский	5,0	14

Методической базой исследования послужили труды ученых, которые занимались изучением зеленых насаждений в городской среде. Среди них следует отметить тех, чьи работы затрагивали вопросы интродукции в городах и населенных пунктах Севера: И.С. Мелехов (1934) [9], Ф.Б. Орлов (1955) [11], Г.М. Илькун (1972) [8], Т.Б. Сродных (2004) [13], Е.Б. Карбасникова, И.С. Долинская (2012) и др.

В ходе комплексного лесоводственного исследования проведена сплошная инвентаризация древесно-кустарниковой растительности. В основе оценки санитарного состояния насаждений лежало отнесение составляющих его деревьев и кустарников к той или иной категории жизненного состояния по шкале, приведенной в Санитарных правилах в лесах Российской Федерации [14]. Декоративное состояние древесно-кустарниковой растительности оценивалось по 4-бальной шкале [10].

Дендрометрическая оценка включала:

идентификацию видового названия;

фиксацию диаметра ствола (на высоте 1,3 м), числа стволов для многоствольных экземпляров, высоты штамба (протяженность ствола без сучьев) для деревьев и класса высоты (для деревьев: I класс – от 20 м и выше, II класс – от 10 до 20 м, III класс – до 10 м; для кустарников: I класс – от 3 м и выше, II класс – от 1 до 3 м, III класс – до 1 м);

установление высоты растения (на основании замера высот у 3–5 деревьев каждой породы) и его возраста (отбирались керны возрастным буравом на высоте 30...60 см от шейки корня, а возраст определялся подсчетом годичных колец на кернах).

Видовую принадлежность устанавливали по распространенной филогенетической систематике С.К. Черепанова [16]. Оценку биологического разнообразия выполняли с применением индексов: Жаккара (индекс общности); видового богатства (без учета доминирования), видового богатства Менхиника, Маргалефа; индексов биоразнообразия, учитывающих выравненность (меру доминирования), Макинтоша и Симпсона (мера разнообразия); Бергера–Паркера (выравненности) [17–23].

Обработку полевых материалов осуществляли с использованием общепринятых в лесоводстве и таксации методов. Статистический анализ данных выполняли с применением современной вычислительной техники и программного обеспечения Excel с пакетом описательной статистики.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе работ обследовано 15,7 га, занятых зелеными насаждениями на ООПТ. Идентифицирован видовой состав растительности и определена доля участия видов в составе насаждений (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

Видовой состав дендрофлоры на ООПТ (%)

Порода	«Дендропарк» г. Устюжна	«Старый парк» пос. Даниловское	«Старый парк» пос. Можай- ское	«Старый парк» с. Куркино
<i>Хвойные</i>				
Ель европейская (<i>Picea abies</i>)	5,6	1,1	4,4	13,6
Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i>)	33,2	0,7	1,1	1,6
Пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i>)	0,8	–	0,7	0,1
Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	6,8	0,4	8,0	1,6
<i>Лиственные</i>				
Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	28,7	2,2	11,9	19,5
Вяз шершавый (<i>Ulmus glabra</i>)	1,5	3,6	2,8	4,2
Дуб черешчатый (<i>Quercus robur</i>)	–	–	12,4	2,0
Ива козья (<i>Salix caprea</i>)	0,3	0,7	2,3	1,2
Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i>)	1,5	6,5	4,6	3,5
Клен ясенелистный (<i>Acer negundo</i>)	7,8	–	–	–
Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i>)	5,0	72,0	42,2	50,9
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	0,3	–	2,8	–
Тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i>)	1,3	–	–	1,1
Тополь белый (<i>Populus alba</i>)	–	3,3	1,6	–
Тополь дрожащий (<i>Populus tremula</i>)	2,8	2,2	0,4	–
Тополь душистый (<i>Populus suaveolens</i>)	–	4,7	–	–
Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i>)	2,5	0,4	4,3	0,7
Яблоня домашняя (<i>Malus domestica</i>)	0,3	–	0,2	–
Ясень зеленый (<i>Fraxinus lanceolate</i>)	–	0,7	–	–
Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i>)	1,5	1,5	0,4	–

Примечание. Шрифтом полужирного начертания выделены породы-интродуценты.

Общее количество деревьев и кустарников на обследованных ООПТ составляет 2201 экз. Определены основные таксационные показатели, осуществлена оценка санитарного состояния насаждений, зафиксированы повреждения, отобраны ценные растения (по признаку старовозрастности и исторической ценности) и выполнена паспортизация этих деревьев [3].

Хвойные включают семейства Pinaceae (*Picea abies*, *Larix sibirica*, *Abies sibirica*, *Pinus sylvestris*) и Cupressaceae (*Thuja occidentalis*), лиственные – семейства Rosaceae (*Crataegus sanguinea*, *Physocarpus opulifolius*, *Sorbus aucuparia*, *Sorbaria sorbifolia*, *Spiraea betulifolia*, *Prunus padus*, *Rosa cinnamomea*, *Malus sylvestris*), Salicaceae (*Salix caprea*, *Populus balsamifera*, *Populus alba*, *Populus tremula*, *Populus suaveolens*), Oleaceae (*Syringa vulgaris*, *Fraxinus excelsior*, *Fraxinus lanceolata*), Grossulariaceae (*Ribes rubrum*, *nigrum*), Aceraceae (*Acer platanoides*, *Acer tataricum*).

Одним видом представлены следующие семейства: Betulaceae (*Betula pendula*), Celastraceae (*Euonymus europaeus*), Ulmaceae (*Ulmus glabra*), Cornaceae (*Cornus alba*), Fabaceae (*Caragana arborescens*), Sambucaceae (*Sambucus racemosa*), Fagaceae (*Quercus robur*), Tiliaceae (*Tilia cordata*).

Среди деревьев и кустарников преобладают инорайонные виды. К ним относятся 12 видов древесных растений и 9 видов кустарников. Их доля в составе насаждений – 60 % от видового разнообразия деревьев и кустарников.

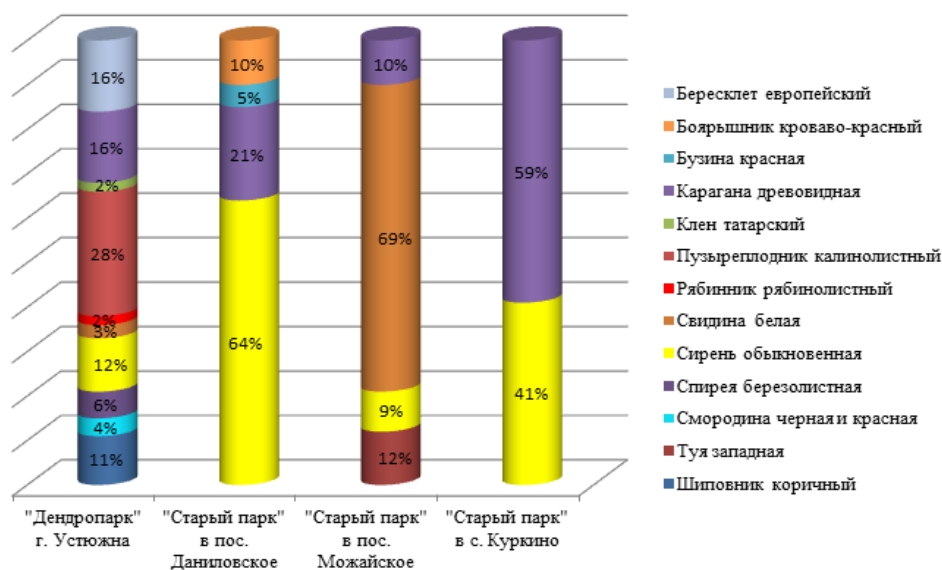


Рис. 2. Видовой состав кустарниковых растений в насаждениях на ООПТ

Fig. 2. Species composition of shrubby plants in the plantings of specially protected natural areas

Доминантными породами среди деревьев являются: ель европейская, лиственница сибирская, береза повислая, дуб черешчатый, липа мелколистная. Доля этих растений от общего количества составляет более 50 %, представленность остальных пород менее 10 %.

В общей структуре древесно-кустарниковой растительности преобладают виды, естественный ареал которых относится к европейской части России, Европе, Северной Америке. Такую закономерность переселения растений из

одного района в другой можно объяснить теорией климатических аналогов, предложенной Г. Майром, которая основывалась на таблицах параллельных климатических зон для лесных областей северного полушария и каталоге аналогичных климатов [24].

Значение метода аналогов и иллюстрирующих его климатических схем заключается в том, что этот метод дает общие ориентировочные границы наиболее вероятных возможностей акклиматизации и намечает приближенные в той или иной степени страны, которые являются наиболее верным источником для переноса растений.

При выборе исходного материала для интродукции необходимо обязательно учитывать климатические условия. Информация о климатических переменных района, откуда привлекается исходный материал, имеет существенное значение.

Для оценки видового разнообразия насаждений парков (табл. 3) рассчитаны индексы биоразнообразия [17–23]. При этом учитывались следующие показатели: число видов, общее число растений, число растений каждого вида.

Таблица 3

Оценка дендрофлоры по индексам биологического разнообразия

№ п/п	Индексы видового богатства и разнообразия	«Дендропарк» г. Устюжна	«Старый парк» пос. Даниловское	«Старый парк» пос. Можайское	«Старый парк» с. Куркино
1	Маргалефа	2,34	2,31	2,36	1,66
2	Шеннона–Уивера	2,81	1,76	2,86	2,22
3	Симпсона	0,79	0,47	0,78	0,68
4	Бергера–Паркера	0,33	0,72	0,42	0,55
5	Макинтоша	277,00	199,90	266,00	428,97

Парки в пос. Можайское и г. Устюжна имеют самые высокие значения индексов Маргалефа и Шеннона–Уивера, что позволяет говорить о значительном видовом богатстве дендрофлоры на этих объектах по сравнению с другими. Чем больше значение индекса Шеннона–Уивера, тем разнообразнее сообщество. Увеличение индекса Макинтоша означает уменьшение разнообразия древесных растений и повышение степени доминирования одного вида деревьев. Такая закономерность выявлена для дендрофлоры парка в с. Куркино, где видовой состав ограничен, преобладает один вид – липа мелколистная.

Индекс доминирования Бергера–Паркера является наиболее точной мерой оценки биоразнообразия, так как он не зависит от размера выборки. Этот показатель выражает относительную значимость наиболее обильного вида. На основании выполненных расчетов для парка в пос. Даниловское необходимо рекомендовать мероприятия по обогащению видового состава насаждений.

По мере увеличения индекса Симпсона (С) разнообразие уменьшается. В связи с этим индекс часто используют в форме $(1-C)$. Он очень чувствителен к присутствию в выборке наиболее представленных видов, но слабо зависит от видового богатства. Наименьшее его значение определено для насаждений парка в пос. Даниловское (0,47). Это объясняется малым видовым раз-

нообразием и доминированием одного вида – липы мелколистной. Расчет индекса общности (индекса Жаккара) показал, что при попарном сравнении объектов исследования все насаждения характеризуются сходным видовым составом (от 43 до 62 %).

В ходе обследования выявлено 12 разновидностей повреждений дендрофлоры (табл. 4).

Таблица 4

Повреждаемость дендрофлоры на ООПТ

Объект	Доля поврежденных деревьев, %														
	м.т.	м.в.	г.	д.	к.с.	мп.	о.к.	с.с.	т.с.	с.	п.т.	и.т.	о.в.	с.в.	э.в.
«Дендро-парк» г. Устюжна	9/1	16/10	5/–	3/1	15/15	22/15	5/15	10/24	15/4	–/13	–	–		–/6	–
«Старый парк» пос. Дани-ловское	–	14/–	4/–	27/–	–/21	8/20	–	24/80	–	–	–	–	–	–	–
«Старый парк» пос. Мо-жайское	9/–	35/–	1/–	10/–	–	34/81	4/1	1/–	–	–	5/–	–	–	–	–
«Старый парк» с. Куркино	5/–	–	–	5/–	37/–	11/15	8/–	20/85	–	9/–	–	5/–	–	–	–

Примечания. 1. В числителе приведены лиственные породы, в знаменателе – хвойные. 2. м.т. – морозобойные трещины (морозобоины); м.в. – многовершинность; г. – гниль; д. – дупло; к.с. – кривизна ствола; м.п. – механические повреждения; о.к. – одностокость кроны; с.с. – сухие сучья; т.с. – табачные сучья; с. – сухобочина (сухобокость); п.т. – плодовые тела, и.т. – инородные тела; о.в. – облом вершины; с.в. – суховершинность; э.в. – энтомофитовредители.

Наиболее распространенными являются механические повреждения, многоствольность и многовершинность, вызванные абиотическими факторами. Среди древесных пород лидирующее положение по этому критерию занимают тополь бальзамический и липа мелколистная.

Выявленные в ходе обследования повреждения по степени влияния на функционирование дерева можно условно разделить на 3 группы: первая – значительно снижающие устойчивость (гниль, дупло, табачные сучья); вторая – снижающие санитарное состояние древесных пород (механические повреждения, инородные тела, суховершинность, морозобойные трещины, энтомо- и фитовредители); третья – снижающие декоративность (кривизна ствола, одностокость кроны, сухобочина, сухие сучья, облом вершины).

Поврежденная древесно-кустарниковая растительность на основании предложенной градации распределяется следующим образом. Совокупность деревьев, характеризующихся повреждениями первой группы, составляет 5...31 %, второй группы – 21...84 %, третьей группы – 4...74 %.

Наибольшая доля видов повреждений, которые значительно снижают санитарное состояние растений, зафиксирована в парке пос. Можайское (84 %). По санитарному состоянию насаждения оценены нами как сильно ослабленные.

Средний балл санитарной оценки – II, 6. Декоративность обследованных насаждений достаточно высокая и характеризуется в доминирующем большинстве 3-м и 4-м классами.

«Дендропарк» г. Устюжны исключен из дальнейшего анализа, так как по времени создания является самым молодым из исследованных насаждений. Другие объекты (парки в поселках Даниловское и Можайское и в с. Куркино) можно сопоставлять между собой, а данные количественной оценки могут быть обобщены и использованы для сравнения.

Для оценки устойчивости насаждений были сопоставлены и проанализированы следующие показатели: количество видов, в том числе отдельно и по интродуцентам; их долевое участие в составе насаждения; доля поврежденных растений.

Выполненный анализ позволил выявить определенные закономерности: увеличение количества видов в составе древостоев, в том числе и долевого участия интродуцентов, отражается, помимо влияния других экологических факторов, на повреждаемости растений;

при увеличении густоты насаждения уменьшается количество поврежденных особей.

В парке пос. Даниловское общее количество видов деревьев и кустарников – 18, интродуценты составляют 67 % от общего их числа. Доля поврежденных деревьев здесь более 40 % от общего количества растений, 96 % из них – интродуценты.

Для сравнения, в парке с. Куркино общее количество видов – 14 (интродуценты – 64 %), количество поврежденных деревьев – 39 %, из них только 34 % интродуцентов повреждены. Меньше поврежденных интродуцентов отмечено в парке с меньшим количеством растений – до 14 видов.

Заключение

В результате обобщения имеющихся сведений установлено, что породный состав исследованных насаждений на ООПТ представлен 34 видами древесно-кустарниковой растительности: хвойные – 4 вида, лиственные – 16 видов, кустарники – 14 видов. Доля интродуцентов составляет более 60 %.

При выполнении инвентаризационных работ выявлено 12 разновидностей повреждений, которые можно условно разделить на 3 группы: значительно снижающие устойчивость деревьев и кустарников (18 % от общего количества растений); снижающие декоративность деревьев и кустарников (38 %); снижающие санитарное состояние древесных пород (44 %).

В целях улучшения санитарного состояния насаждений, обеспечения выполнения ими своих целевых функций, а также для снижения экономического ущерба от воздействия неблагоприятных антропогенных факторов, в обследованных парках требуется проведение санитарно-оздоровительных мероприятий в виде удаления аварийных, усыхающих и сухостойных деревьев.

Интродуценты в обследованных насаждениях прошли акклиматизацию, имеют повреждения, которые возникли из-за отсутствия своевременных и комплексных уходов. На основании этого можно сделать вывод о целесообразности использования интродуцентов (лиственница сибирская, вяз шершавый, дуб черешчатый, клен остролистный, липа мелколистная) для

создания новых насаждений или дополнения ими существующих зеленых зон городов.

Выполненный нами анализ позволил выявить некоторые закономерности: увеличение количества видов в составе древостоев, в том числе и долевого участия интродуцентов, отражается, помимо влияния других экологических факторов, на повреждаемости растений; при увеличении густоты насаждения уменьшается количество поврежденных особей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Базилевская Н.А. Об основах адаптации растений при интродукции. М.: Наука, 1964. 132 с. [Bazilevskaya N.A. *On the Basics of Adaptation of Plants during Introduction*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 132 p.].
2. Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2003. 528 с. [Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrology*. Moscow, MGUL Publ., 2003. 528 p.].
3. Дружинин Ф.Н., Макаров Ю.И., Корякина Д.М. Паспортизация как средство мониторинга ценных древесных и кустарниковых растений // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 5. С. 94–104. [Druzhinin F.N., Makarov Yu.I., Koryakina D.M. Certification as a Means of Monitoring of the Most Valuable Arboreal Plants and Shrubs. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 5, pp. 94–104]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.5.94](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.5.94), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/317/94_104.pdf
4. Жукова А.И., Григорьев И.В., Григорьева О.И., Ледяева А.С. Лесное ресурсоведение. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 213 с. [Zhukova A.I., Grigorev I.V., Grigoreva O.I., Ledyayeva A.S. *Forest Resource Studies*. Saint Petersburg, SPbFTU Publ., 2008. 213 p.].
5. Касьяненко Т. Страницы жизни. Избранные заметки о сохранившемся дневнике Е.Н. Кузьминой // Материалы по истории вологодского дворянства. Вологда, 2001. Режим доступа: https://www.booksite.ru/usadba_new/kotel/11_01.htm (дата обращения: 02.03.19). [Kas'yanenko T. Page of Life. Selected Notes on the Extant Diary of E.N. Kuz'mina. *Materials on the History of the Vologda Nobility*. Vologda, 2001].
6. Лапин П.И., Калущий К.К., Калущкая О.Н. Интродукция лесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 224 с. [Lapin P.I., Kalutskiy K.K., Kalutskaya O.N. *Introduction of Forest Species*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 224 p.].
7. Лесной план Вологодской области: утв. распоряжением губернатора области от 30 ноября 2018 г. № 4807-р «Об утверждении Лесного плана Вологодской области». Режим доступа: <https://vologda-oblast.ru/upload/iblock/bfb/Распоряжение%20Губернатора%20ВО%20№%204807-р%20от%2030.11.2018.PDF> (дата обращения: 28.03.19). [*Forest Plan of the Vologda Region: Approved by the Order of the Governor of the Region Dated November 30, 2018 No. 4807-p "On Approval of the Forest Plan of the Vologda Region"*].
8. Илькун Г.М. Газоустойчивость растений. Вопросы экологии и физиологии. Киев: Наукова думка, 1972. 178 с. [Il'kun G.M. *Gas Resistance of Plants. Issues of Ecology and Physiology*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1972. 178 p.].
9. Мелехов И.С. Озеленение городов и поселков в Северном крае // Хоз-во Севера. 1934. № 4. С. 47–50. [Melekhov I.S. Landscaping of Cities and Towns in Northern Krai. *Khozyaystvo Severa*, 1934, no. 4, pp. 47–50].
10. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. М.: Акад. коммунал. хоз-ва им. К.Д. Памфилова, 1997. 15 с. [Methodology for Inventorying Urban Green Areas. Moscow, Akademiya kommunal'nogo khozyaystva im. K.D. Pamfilova Publ., 1997. 15 p.].
11. Орлов Ф.Б. Деревья и кустарники для зеленого строительства Архангельской области. Архангельск: Арханг. кн. изд-во, 1955. 60 с. [Orlov F.B. *Trees and Shrubs for Green Construction in the Arkhangelsk Region*. Arkhangelsk, Arkhangel'skoye knizhnoye izdatel'stvo, 1955. 60 p.].
12. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: приказ М-ва природных ресурсов и

экологии РФ от 18 августа 2014 г. № 367. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 04.03.19). [On Approval of the List of Forest Growing Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation Dated August 18, 2014 No. 367].

13. Об утверждении Положения об определении функциональных зон в лесопарковых зонах, площади и границ лесопарковых зон, зеленых зон (с изм. на 25 авг. 2017 г.): постановление Правительства Российской Федерации от 14 декабря 2009 г. № 1007. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902190306> (дата обращения: 10.02.2019). [On Approval of the Regulation on the Determination of Functional Zones in Forest Park Zones, Area and Boundaries of Forest Park Zones, Green Zones (As Amended on August 25, 2017): Resolution of the Government of the Russian Federation Dated December 14, 2009 No. 1007].

14. О правилах санитарной безопасности в лесах: постановление Правительства РФ от 20 мая 2017 г. № 607. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/436736467> (дата обращения: 07.02.19). [On the Rules of Sanitary Safety in Forests: Resolution of the Government of the Russian Federation Dated May 20, 2017 No. 607].

15. Сайт информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России». Режим доступа: <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения: 15.03.19). [The Website of Data Analytics System "Specially Protected Natural Areas of Russia"]].

16. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). 2-е изд. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с. [Cherepanov S.K. Vascular Plants of Russia and Neighboring Countries (within the Former USSR). Saint Petersburg, Mir I sem'ya Publ., 1995. 990 p.].

17. Chen X., Li B.-L., Zhang X.-S. Using Spatial Analysis to Monitor Tree Diversity at a Large Scale: A Case Study in Northeast China Transect. *Journal of Plant Ecology*, 2008, vol. 1, iss. 2, pp. 137–141. DOI: [10.1093/jpe/rtn010](https://doi.org/10.1093/jpe/rtn010)

18. Chiarucci A., Palmer M.W. The Inventory and Estimation of Plant Species Richness. *Encyclopedia of Life Support Systems*. Oxford, UK, Eolss Publishers, 2009, pp. 94–116.

19. Ellison A.M. Partitioning Diversity. *Ecology*, 2010, vol. 91, iss. 7, pp. 1962–1963. DOI: [10.1890/09-1692.1](https://doi.org/10.1890/09-1692.1)

20. Gotelli N.J., Chao A. Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data. *Encyclopedia of Biodiversity*. Vol. 5. Ed. by S.A. Levin. Waltham, MA, Academic Press, 2013, pp. 195–211.

21. Herzele A.V., Wiedeman T. A Monitoring Tool for the Provision of Accessible and Attractive Green Spaces. *Landscape and Urban Planning*, 2003, vol. 63, iss. 2, pp. 109–126. DOI: [10.1016/S0169-2046\(02\)00192-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(02)00192-5)

22. Li B.-L. Why is the Holistic Approach Becoming so Important in Landscape Ecology? *Landscape Urban Planning*, 2000, vol. 50, iss. 1-3, pp. 27–47. DOI: [10.1016/S0169-2046\(00\)00078-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00078-5)

23. Magurran A.E. *Measuring Biological Diversity*. Malden, MA, Blackwell, 2004. 256 p.

24. Mayr H. *Walbau auf naturgeschichtlicher Grundlage*. Berlin, Pareyd, 1909. 568 S.

RESULTS AND ASSESSMENT OF LONG-TERM INTRODUCTION TO SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS OF THE SOUTH TAIGA ZONE

N.A. Druzhinin^{1,2}, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [S-7473-2019](https://orcid.org/0000-0002-0899-7015),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0899-7015>

F.N. Druzhinin^{1,2}, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [R-3622-2019](https://orcid.org/0000-0003-4645-4270),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4645-4270>

D.M. Koryakina^{1,2}, Postgraduate Student, Research Engineer; ResearcherID: [P-6030-2019](https://orcid.org/0000-0001-7649-4594), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7649-4594>

S.V. Tsypilev^{1,2}, Postgraduate Student, Research Engineer; ResearcherID: [AAZ-1022-2020](https://orcid.org/0000-0002-3498-4250), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3498-4250>

O.V. Chukhina¹, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0318-4549>

¹Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9a, korp. 7, s. Molochnoye, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: druzhinin@mail.ru, druzhinin.n.a@yandex.ru, koryakina.dary@yandex.ru, zipilev_tsv@mail.ru

²Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation

The article shows the analysis results of the vitality and sustainability of the plantings having introduced species in their composition in specially protected natural areas of the south taiga zone (Vologda region). The research purpose is to summarize the available information and carry out the silvicultural assessment of long-term introduction to the plantings in these territories. The species composition is revealed and the sanitary and decorative state of tree and shrub vegetation is estimated. The research objects were the plantings growing in the following parks: Arboretum in Ustyuzhna, Old Park in the settlement of Danilovskoye, Old Park in the settlement of Mozhaiskoye, and Old Park in the village of Kurkino. It was found that the species composition of the suited specially protected natural areas is represented by 34 tree and shrub species: 4 coniferous tree species, 16 deciduous tree species, and 14 species of shrubs. The share of introduced species, in the whole, for all the objects under study is more than 60 %. During the recordings, 12 types of damage were found. According to the degree of influence they were divided into 3 groups: significantly reducing the stability in the plantings (18 % of the total number of damaged trees), reducing the decorative effect (38 %), and reducing the sanitary state of wood species (44 %). In order to improve the sanitary state of the plantings, to ensure that the plantings perform their target functions, and to reduce the economic damage caused by negative anthropogenic factors, it is necessary to take sanitary and recreational measures such as removing dangerous, drying and dead trees. Valuable plants (those of old age or having historical value) were selected; certification of valuable trees was carried out. The biological diversity of tree and shrub vegetation was estimated through determining biodiversity indices. The relationship between the forest stand composition and its resistance to negative environmental factors was revealed. The results of the research can be used by the executive authorities of the constituent entities of the Russian Federation in planning and organizing the works on arranging protection forests, including urban green zones.

For citation: Druzhinin N.A., Druzhinin F.N., Koryakina D.M., Tsypilev S.V., Chukhina O.V. Results and Assessment of Long-Term Introduction to Specially Protected Natural Areas of the South Taiga Zone. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 74–87. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-74-87

Funding: The research was carried out within the framework of the state contract dated May 29, 2018 under the topic “The State of Ground Natural Systems of Specially Protected Natural Areas of Regional Significance”; the status report was submitted to the Department of Natural Resources and Environmental Protection of the Vologda Region.

Keywords: specially protected natural areas, protection forests, green zones, plantings, introduced species, sanitary state, biological diversity, vitality.

Поступила 02.08.19 / Received on August 2, 2019

УДК 630*26:630*561:502.131

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-88-97

ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПРИРОДООХРАННАЯ РОЛЬ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ *Robinia pseudoacacia* L. ПРИКУБАНСКОЙ РАВНИНЫ

В.В. Таниюкевич¹, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAG-2488-2019](https://orcid.org/0000-0003-4427-8357),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4427-8357>

А.С. Рулев², д-р с.-х. наук, акад. РАН; ResearcherID: [AAU-8035-2020](https://orcid.org/0000-0002-5092-5007),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5092-5007>

В.В. Бородычев³, д-р с.-х. наук, акад. РАН, заслуж. деятель науки РФ; ResearcherID: [AAU-8802-2020](https://orcid.org/0000-0002-0279-8090), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>

С.В. Тюрин¹, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2273-2758>

Д.В. Хмелева¹, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7066-9939>

А.А. Кваша¹, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3199-7195>

¹Донской государственный аграрный университет, ул. Кривошлыкова, д. 24, пос. Персиановский, Октябрьский р-н, Ростовская обл., Россия, 346493; e-mail: vadimlug79@mail.ru, tyurin-74@list.ru, mahovatka@yandex.ru, kwasha93@yandex.ru

²ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, просп. Университетский, д. 97, г. Волгоград, Россия, 400062; e-mail: rulev54@rambler.ru

³ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2, Москва, Россия, 127550; e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Для защиты сельскохозяйственных угодий от процессов деградации, а также улучшения микроклимата земель проводятся работы по защитному лесоразведению. Цель исследования – изучить биологическую продуктивность и природоохранную роль полезащитных лесополос *Robinia pseudoacacia* L. в условиях Прикубанской равнины. Применялись апробированные и общепринятые методики лесной таксации, лесомелиорации, ботаники, математической статистики. Насаждения созданы по стандартной для степной зоны Российской Федерации технологии. Площадь лесополос – 62,4 тыс. га, в том числе: 5 % – молодняки (I класс состояния), 80 % – средневозрастные лесонасаждения (II класс), 10 % – приспевающие (III класс), 5 % – спелые и перестойные (III класс). Живой напочвенный покров формируют: *Koeleria pyramidata* L., *Poa pratensis* L., *Festuca pratensis* H., *Elytrigia repens* L., *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L. Надземная фитомасса составляет 100...300 г/м², высота – 25...32 см. Молодняки характеризуются I–II классами бонитета, средневозрастные и приспевающие – III классом, спелые и перестойные – IV. В возрасте естественной спелости (70 лет) ствол робинии достигает средней высоты 15,1 м при среднем диаметре 22,1 см. Общий запас древесины – 18 440 тыс. м³, в том числе: молодняки – 68 тыс. м³, средневозрастные насаждения – 14 871 тыс. м³, приспевающие – 2 187 тыс. м³, спелые и перестойные – 1 314 тыс. м³. Надземная фитомасса в молодняках составляет 20,2 т/га, в спелых и перестойных насаждениях – 391,2 т/га. В целом по региону она оценивается в 17 070 тыс. т, в том числе: молодняки – 64 тыс. т, средневозрастные – 13 753 тыс. т, приспевающие – 2 032 тыс. т, спелые и перестойные – 1 221 тыс. т. Доля стволовой массы достигает 84,5...80,8 %, древесной зелени – 4,2...1,5 %, ветвей – 11,3...17,7 %. Коэффициенты пересчета запаса в надземную фитомассу: для молодняков – 0,936, для спелых и перестойных лесополос – 0,929. Фитонасыщенность лесополос варьирует в пределах 0,314...2,474 кг/м³. Полезащитными лесополосами накоплено 8 534 тыс. т углерода, что оценивается в 145,1 млн долл. Область применения результатов исследований – лесное хозяйство Краснодарского края, которому рекомендовано дополнительное создание 60 тыс. га полезащитных лесонасаждений, что обеспечит нормативную защитную лесистость пашни 5 % и ежегодное секвестирование углерода до 3,4 т/га.

Для цитирования: Танюкевич В.В., Рулев А.С., Бородычев В.В., Тюрин С.В., Хмелева Д.В., Кваша А.А. Продуктивность и природоохранная роль полезащитных лесонасаждений *Robinia pseudoacacia* L. Прикубанской равнины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 88–97. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-88-97

Ключевые слова: *Robinia pseudoacacia* L., полезащитные лесонасаждения, запас древесины, надземная фитомасса, депонирование углерода.

Введение

Прикубанская равнина, расположенная в Западном Предкавказье, занимает важнейшее место в экономике Российской Федерации. Площадь пахотных земель здесь составляет 3,7 млн га [3, 9].

Для защиты сельскохозяйственных угодий от процессов деградации, а также для улучшения микроклимата земель с начала 30-х гг. XX в. по 2004 г. в регионе были проведены масштабные работы по защитному лесоразведению. Анализ результатов агролесомелиоративного устройства, проведенного ФНЦ агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (ВНИАЛМИ) в 2007–2011 гг., позволяет говорить о 127,3 тыс. га полезащитных насаждений, обеспечивающих защитную лесистость пашни в размере 3,4 %.

Регион характеризуется очень благоприятными природно-климатическими условиями для лесоразведения. Преобладающие почвы – черноземы обыкновенные, слабогумусные, мощные и сверхмощные; климат умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха +9 °С. Сумма температур за период активной вегетации составляет 3200 °С. Годовое количество осадков – 500...600 мм. Рельеф равнинный со средней высотой над уровнем моря около 100 м [2, 3].

Одной из основных пород полезащитного лесоразведения является *Robinia pseudoacacia* L. Лесные полосы с ее участием занимают, по нашим оценкам, 62,4 тыс. га, т. е. 49 % от общей площади насаждений. Большая их часть – это пятирядные, чистые по составу насаждения, со схемой посадки 3×1 м, с одинаковой длиной гона 667 м, созданные по стандартной для степной зоны технологии [3, 9]. Из материалов агролесомелиоративного устройства следует, что на текущий момент около 5 % площади занимают молодняки, 80 % – средневозрастные лесонасаждения, 10 % – приспевающие, 5 % – спелые и перестойные.

Природоохранная роль лесных насаждений тесно связана с их биологической продуктивностью [8, 12, 16–22], под которой понимается запас ствольной древесины (м³/га), а также величина надземной фитомассы (т/га) и фитонасыщенности (кг/м³) надземного профиля насаждений [12]. Оценка продуктивности распространенных робиниевых лесополос позволит оценить их региональную природоохранную роль, заключающуюся в депонировании углерода: стационарные и передвижные источники Краснодарского края ежегодно эмитируют 131,9 тыс. т этого элемента [2].

Цель работы – изучить биологическую продуктивность и природоохранную роль робинии лжеакакии (*Robinia pseudoacacia* L.), произрастающей в полезащитных лесных полосах Прикубанской равнины.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований в 2014–2018 гг. являлись пятирядные чистые по составу полезащитные насаждения из робинии лжеакакии (*Robinia*

pseudoacacia L.), созданные по стандартной технологии в условиях Прикубанской равнины Краснодарского края. С использованием материалов агролесомелиоративного устройства по административным районам региона отбирали средние статистические насаждения с типичными для каждой из возрастных групп параметрами по возрасту, конструкции, таксационным показателям и сохранности. С помощью ГИС «ObjectLand 2.6» устанавливали географическое местоположение выбранных насаждений, которые затем обследовали визуально.

Ход роста ствола древесной породы изучали по общепринятой методике [5, 10] на 20 пробных площадях (ПП), заложенных в типичных насаждениях с учетом строения полога. Выполняли пересчетную таксацию деревьев, по результатам которой находили среднюю высоту и диаметр стволов, густоту древостоя, запас и состав насаждений. Подбор модельных деревьев в количестве 100 экз. выполняли методом пропорционального представительства. Модели распределяли по ступеням толщины, пропорционально сумме площадей сечений каждой ступени [10]. Состояние лесополос определяли по общепринятой шкале [7], визуальную плотность конструкции насаждений – в облиственном состоянии при помощи оптического метода [11].

Живой напочвенный покров исследовали в соответствии с апробированными методиками на учетных площадках размером 1 м² [5], которые располагались в центральных (60 шт.) и опушечных (120 шт.) рядах. Здесь изучалось видовое разнообразие живого напочвенного покрова, а также его высота и надземная фитомасса в абсолютно сухом состоянии.

Исследования надземной фитомассы лесных полос проводили на ранее заложенных ПП с учетом общепринятых методик [13, 14]. Отбор модельных деревьев (100 экз.) производили в каждом ряду насаждений. Фитомассу разделяли на 3 укрупненные фракции: ствол с корой, ветви, древесная зелень. Массу каждой фракции определяли в свежесрубленном состоянии на платформенных электронных весах, с точностью ±100 г. Из древесных фракций делали стандартные спилы для установления содержания сухого вещества термовесовым методом, а также отбирали древесную зелень для последующей сушки и определения массы в абсолютно сухом состоянии. Фитонасыщенность насаждения находили как отношение надземной фитомассы к объему надземной части лесной полосы (V , м³), который устанавливали по следующей формуле:

$$V = BLH, \quad (1)$$

где B – ширина лесополосы, м; L – длина лесополосы, м; H – средняя высота древостоя, м.

Надземную фитомассу пересчитывали на углерод по состоянию на 2018 г. [1, 4].

Экономическую ценность природоохранного ресурса определяли с учетом принципов, рекомендованных ООН и адаптированных к условиям России [15, 23]. Ценность депонированного углерода принимали по [12]. Полученные в ходе исследований данные обрабатывали с помощью программы Statistica-6.

Результаты исследования и их обсуждение

ПП № 1–5 (с инвентарными номерами лесных полос 15, 29, 30, 37, 103) были заложены в Ейском административном районе, в молодняках 15–20-летнего возраста. Средняя густота древостоев составила 2255 стволов на 1 га при сохранности 68 %. Насаждения отнесены к I классу состояния. Конструкция лесополос – ажурная. В архитектонике кроны деревьев наблюдается формирование опу-

печного эффекта, который заключается в наибольшем по сравнению с кронами деревьев центральных рядов, развитии ветвей, направленных в сторону примыкающих сельскохозяйственных угодий. Подрост и подлесок в насаждении отсутствуют, что связано с технологией лесопосадки. Живой напочвенный покров, сформированный *Koeleria pyramidata* L., *Poa pratensis* L., *Festuca pratensis* H. и *Elytrigia repens* L., выражен достаточно хорошо и равномерно заполняет подпологовое пространство лесополос, имея высоту 25...28 см и значение абсолютно сухой фитомассы 100...200 г/м². Проникновение в лесонасаждения и развитие в них степных трав связаны с ранним прекращением агротехнических уходов после посадки лесных полос, а также хорошей освещенностью подпологового пространства, обусловленной ажурностью крон робинии лжеакации.

ПП № 6–10 (с инвентарными номерами 1, 18, 19, 129, 132) были заложены в 40-летних средневозрастных лесных полосах Выселковского административного района. Средняя сохранность на ПП составила 64 % при густоте древостоев 2135 экз./га. Исследуемые лесополосы были отнесены ко II классу состояния. Деревья опушечных рядов имели развитую крону с низко опущенными к закрайкам ветвями. Эта особенность обуславливала формирование плотной конструкции насаждений. Единичные самосевы робинии отмечаются в опушечных рядах. Живой напочвенный покров, сформированный ранее описанными видами трав, развит в меньшей степени, чем у молодняков: его высота 25...30 см при запасах надземной фитомассы 100...150 г/м² в абсолютно сухом состоянии. Проникновению травянистой растительности под полог насаждений мешает плотная конструкция лесополос.

ПП № 11–15 (приспевающие лесонасаждения 60-летнего возраста с инвентарными номерами 7, 9, 23, 25, 27) исследовались в Выселковском и Кореновском районах. Средняя сохранность древостоев составила 60 %. Данные насаждения, как и средневозрастные, принадлежат ко II классу состояния, характеризуются аналогичными конструктивными особенностями и развитием живого напочвенного покрова.

ПП № 16–20 (полезащитные насаждения с инвентарными номерами 77, 98, 102, 103, 106) были заложены в спелых и перестойных насаждениях (70 лет). Это лесополосы III класса состояния, с густотой древостоев 1218 экз./га при сохранности 34 %. В центральных рядах насаждений деревья активно суховершинят и усыхают: до 50 % экз. от общей густоты относятся к сухостойным и ослабленным. Опушечный эффект также проявляется, однако низкая густота древостоев обуславливает продуваемую конструкцию лесополос с развитым под их пологом живым напочвенным покровом, формируемым *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L., *Poa pratensis* L., *Elytrigia repens* L. Его фитопродуктивность – 250...300 г/м² при высоте травостоя 30...32 см.

Регрессионный анализ результатов таксационных исследований на ПП позволил получить математические уравнения, описывающие ход роста ствола *Robinia pseudoacacia* L. по высоте (h , м) и диаметру (d , см):

$$h = -0,00265n^2 + 0,39n + 0,763 \text{ при } R^2 = 0,875; \quad (2)$$

$$d = -0,003n^2 + 0,566n - 2,772 \text{ при } R^2 = 0,835, \quad (3)$$

где n – возраст насаждения, лет; R^2 – величина достоверности аппроксимации.

Уравнения (2) и (3) справедливы при $15 \leq n \leq 70$.

Исследования показали, что в условиях Прикубанской равнины молодые робиниевые полезащитные лесные насаждения растут по I–II классам бонитета, средневозрастные и приспевающие – по III, спелые и перестойные – по IV. Видовое число по группам возраста у этих насаждений составило 0,596; 0,495; 0,492; 0,480 соответственно, значения сумм площадей сечений стволов – $(5,73 \pm 0,2) \text{ м}^2$; $(45,08 \pm 0,1) \text{ м}^2$; $(52,30 \pm 0,3) \text{ м}^2$; $(53,19 \pm 0,2) \text{ м}^2$ соответственно. Активный рост стволов этой породы прекращается в 70-летнем возрасте, достигнув максимальных значений по высоте 15,1 м и диаметру на высоте груди 22,1 см, что указывает на наступление возраста естественной спелости *Robinia pseudoacacia* L. в условиях Прикубанской равнины.

С учетом установленных особенностей роста, сохранности насаждений, а также данных полевых и лабораторных исследований надземной фитомассы, удалось определить средние значения продуктивности робиниевых насаждений (*Robinia pseudoacacia* L.) по возрастным группам в условиях региона исследований (см. таблицу).

**Продуктивность робиниевых
полезащитных насаждений Прикубанской равнины**

Возрастная группа	Высота ствола, м	Диаметр ствола, см	Сумма площадей сечений, $\text{м}^2/\text{га}$	Запас, $\text{м}^3/\text{га}$	Надземная фитомасса					
					т/га	%			Коэффициент пересчета запаса в фитомассу	Фитонасыщенность, $\text{кг}/\text{м}^3$
						ствол	ветви	древесная зелень		
Молодняки	7,5	7,3	5,73	21,9	20,5	84,5	11,3	4,2	0,936	0,314
Средневозрастные	12,1	15,1	45,08	297,9	275,5	83,0	14,2	2,8	0,924	2,086
Приспевающие	14,6	20,4	52,30	350,4	325,6	81,8	16,5	1,7	0,929	2,388
Спелые и перестойные	15,1	22,1	53,19	421,1	391,2	80,8	17,7	1,5	0,929	2,474

Из представленных в таблице данных видно, что запас полезащитных лесополос изменяется от 21,9 (молодняки) до 421,1 $\text{м}^3/\text{га}$ (спелые и перестойные насаждения). Объем стволовой древесины робиниевых полезащитных насаждений региона исследований оценивается в 18 440 тыс. м^3 , в том числе, тыс. м^3 : молодняки – 68, средневозрастные – 14 871, приспевающие – 2 187, спелые и перестойные насаждения – 1 314. Надземная фитомасса колеблется в пределах 20,5...391,2 т/га. Если сравнивать эти показатели с данными сопредельной Ростовской области, то там максимальный запас стволовой древесины в возрасте спелости робинии не превышает 265 $\text{м}^3/\text{га}$, а надземная фитомасса составляет 118 т/га [12].

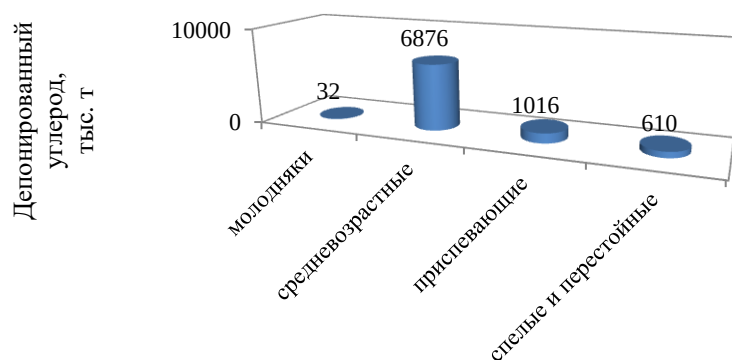
Надземная фитомасса полезащитных робиниевых лесонасаждений в условиях региона исследований оценивается в 17 070 тыс. т сухого вещества, в том числе по группам возраста, тыс. т: молодняки – 64, средневозрастные – 13 753, приспевающие – 2 032, спелые и перестойные полезащитные лесонасаждения – 1 221. Полученные значения можно сопоставить с имеющимися данными по Волгоградской области, где общая фитомасса лиственных защитных насаждений на площади 476 тыс. га – 26 347,5 тыс. т [8].

С увеличением возраста насаждений происходит уменьшение доли стволовой массы от 84,5 до 80,8 % и древесной зелени от 4,2 до 1,5 %, однако существенно возрастает масса ветвей (от 11,3 до 17,7 %). Это объясняется естественным старением породы, развитием суховершинности, увеличением отпада деревьев, на что указывают классы состояния насаждений различных возрастных групп, приведенные выше. Ранее аналогичная особенность процентного распределения надземной фитомассы уже отмечалась в лесных полосах Приазовского лесомелиоративного района Ростовской области [12].

Установленные в ходе исследований значения запаса и надземной фитомассы полезащитных лесонасаждений *Robinia pseudoacacia* L. позволили получить соответствующие коэффициенты пересчета. Они несколько снижаются с возрастом лесополос от 0,936 (возрастная группа молодняков) до 0,929 (возрастные группы приспевающих, спелых и перестойных лесополос). Эти значения можно соотнести с данными других авторов, рассчитавших их для определения общей, а не надземной фитомассы. Для насаждений твердолиственных пород они составляют 1,280–1,041 соответственно [4, 6]. Разница сопоставляемых значений коэффициентов соответствует массе корней в общей фитомассе лесополос.

Удалось установить существенное увеличение с возрастом фитонасыщенности, имеющей, как отмечалось ранее, важнейшее значение в мелиоративной эффективности полезащитных лесонасаждений. Она изменяется в широких пределах: от 0,314 (возрастная группа молодняков) до 2,474 кг/м³ – (возрастные группы спелых и перестойных лесополос). Это обусловлено естественными ростовыми процессами породы, относительно высокой сохранностью насаждений в условиях региона исследований, что подчеркивалось выше. Установленное с возрастом увеличение физической плотности надземного профиля насаждений соотносится с серьезной проблемой защитного лесоразведения, описанной в агролесомелиорации, – уплотнением конструкций лесных полос, вызванным отсутствием регулярных рубок ухода, что в итоге приводит к снижению эффективности полезащитных насаждений [12].

Полученные данные по надземной фитомассе позволили дать укрупненную оценку количества углерода, депонированного к 2018 г. робиниевыми лесополосами в регионе исследований (см. рисунок).



Запас углерода в надземной фитомассе робиниевых полезащитных насаждений
Carbon stock in the aboveground phytomass of the *Robinia* shelterbelt plantings

Расчеты показывают, что надземной фитомассой полезащитных робиновых насаждений в условиях региона исследований к 2018 г. накоплено 8534 тыс. т углерода, при этом основная его часть, около 81 %, сосредоточена в средневозрастных лесополосах. Ценность природоохранного ресурса исследуемых защитных лесонасаждений в 2018 г составила 145,1 млн долл.

Заключение

Главная порода полезащитного лесоразведения Прикубанской равнины – *Robinia pseudoacacia* L. Площадь чистых по составу пятирядных насаждений со схемой посадки 3 м×1 м составляет 62,4 тыс. га. Возрастная структура: 5 % площади – молодняки ажурной конструкции, I–II класса бонитета; 80 % – средневозрастные лесонасаждения плотной конструкции, III класса бонитета; 10 % – приспевающие лесополосы плотной конструкции, III класса бонитета; 5 % – спелые и перестойные лесные полосы продуваемой конструкции, IV класса бонитета. Запас древесины составляет 18 440 тыс. м³, надземная фитомасса – 17 070 тыс. т, фитонасыщенность – 0,314...2,474 кг/м³, количество депонированного углерода – 8 534 тыс. т, что оценивается в 145,1 млн долл.

Лесному хозяйству региона рекомендуется создание полезащитных насаждений на площади 60 тыс. га, что не только позволит выйти на нормативную величину защитной лесистости пашни (5 %), повысит мелиоративную эффективность лесополос, но и обеспечит ежегодное секвестирование углерода в объеме 0,5...3,4 т/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гитарский М.Л., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н. Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесах России в связи с выполнением обязательств по климатической конвенции ООН // Лесоведение. 2006. № 6. С. 34–44. [Gitarsky M.L., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Karaban R.T. Emission and Absorption of Greenhouse Gases in Forests of Russia Related to the Implement of Obligations under the U.N.O. Climate Convention. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 6, pp. 34–44].
2. Доклад о состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2017 году. Режим доступа: http://www.mprkk.ru/media/main/attachment/attach/doklad_krkr_2017_itog.pdf (дата обращения: 21.01.19). [*Report on the Status of Nature Management and Environmental Protection of Krasnodar Krai in 2017*. Krasnodar, 2018].
3. Дубенок Н.Н., Танюкевич В.В., Тюрин С.В. Состояние и мелиоративная эффективность полезащитных лесонасаждений Краснодарского края // Рос. с.-х. наука. 2017. № 1. С. 36–38. [Dubenok N.N., Tanyukevich V.V., Tyurin S.V. State and Reclamation Efficiency of Forest Shelterbelts of Krasnodar Territory. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka* [Russian Agricultural Sciences], 2017, no. 1, pp. 36–38]. DOI: [10.3103/S1068367417020070](https://doi.org/10.3103/S1068367417020070)
4. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу основных лесообразующих пород России // Лесн. таксация и лесоустройство. 2003. Т. 1(32). С. 119–127. [Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Chestnykh O.V. Conversion Coefficients of Stocks of Plantations into Phytomass of the Main Forest-Forming Species of Russia. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo*, 2003, vol. 1(32), pp. 119–127].
5. Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д. Лесомелиорация ландшафтов. Научные исследования. Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2003. 150 с. [Ivonin V.M., Pen'kovskiy N.D. *Forest Reclamation of Landscapes. Scientific Research*. Rostov-on-Don, SKNTs VSh Publ., 2003. 150 p.].

6. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10. [Isayev A.S., Korovin G.N., Utkin A.I. Estimation of Carbon Reserves and Annual Carbon Deposition in the Phytomass of Forest Ecosystems of Russia. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1993, no. 5, pp. 3–10].

7. Кудряшев П.В., Ерусалимский В.И., Князева Л.А. Ведение хозяйства в государственных лесных полосах. М.: Агропромиздат, 1985. 79 с. [Kudryashev P.V., Eru-salimskiy V.I., Knyazeva L.A. *Forest Management in State Forest Belts*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 79 p.].

8. Кулик К.Н., Петров В.И., Кретинин В.М. Защитные лесные насаждения и баланс углерода в аридной зоне России // Теория и практика агролесомелиорации: материалы междунар. науч.-практ. конф. к 125-летию Н.И. Суся, г. Саратов, 6–8 сент. 2005 г. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2005. С. 9–16. [Kulik K.N., Petrov V.I., Kretinin V.M. Protective Forest Plantations and Carbon Balance in the Arid Zone of Russia. *Theory and Practice of Agroforestry: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference to the 125th Anniversary of N.I. Sus, Saratov, September 6–8, 2005*. Volgograd, VNIALMI Publ., 2005, pp. 9–16].

9. Нетребенко В.Г. Состояние полезащитного лесоразведения в Краснодарском крае // Агролесомелиорация – проблемы, пути их решения, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. С. 101–103. [Netrebenko V.G. State of Agricultural Afforestation in Krasnodar Krai. *Land and Forest Reclamation – Issues, Solutions, and Prospects: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Volgograd, VNIALMI Publ., 2001, pp. 101–103].

10. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. 60 с. [Industrial Standard. OST 56-69–83. *Forest Inventory Test Sites. Laying out Method*. Moscow, TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1984. 60 p.].

11. Патент 2285389 Российская Федерация, МПК A01G 23/00. Способ определения оптической плотности ветрозащитного барьера и ажурности лесных полос: № 2004126910/12; заявл. 07.09.2004, опубл. 20.10.2006 / Сухановский Ю.П., Олешицкий В.В.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии. Бюл. № 29. 3 с. [Sukhanovskij Ju.P., Oleshitskij V.V. *Method for Determining Optical Density of Wind Barrier and Extent of Openwork Pattern of Forest Strips*. Patent RF no. RU 2285389 C2, 2006].

12. Танюкевич В.В. Продуктивность и мелиоративная роль лесных полос степных агролесоландшафтов. Новочеркасск: Лик, 2012. 175 с. [Tanyukevich V.V. *Productivity and Land-Improvement Role of Forest Belts of Steppe Agrarian Forest Landscapes*. Novocherkassk, Lik Publ., 2012. 175 p.].

13. Усольцев В.А. Биоэкологические аспекты таксации фитомассы деревьев. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997. 216 с. [Usol'tsev V.A. *Bioecological Aspects of Valuation of Tree Plant Biomass*. Yekaterinburg, UrO RAN Publ., 1997. 216 p.].

14. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 707 с. [Usol'tsev V.A. *Forest Phytomass of Northern Eurasia: Database and Geography*. Yekaterinburg, UrO RAN Publ., 2001. 707 p.].

15. Фоменко Г.А., Фоменко М.А., Лошадкин К.А. Денежная оценка природных ресурсов и экосистемных услуг в территориальном развитии: адаптация в России методологических подходов ООН. Ярославль: Кадастр, 2000. 128 с. [Fomenko G.A., Fomenko M.A., Loshadkin K.A. *Monetary Valuation of Natural Resources and Ecosystem Services in Territorial Development: Adaptation of UN Methodological Approaches in Russia*. Yaroslavl, Kadastr Publ., 2000. 128 p.].

16. *Climate Change and Biodiversity*. IPCC Technical Paper V. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2002. 77 p.

17. *Forestry Projects: Lessons Learned and Implications for CDM Modalities*. OECD and IEA Information Paper. Paris, OECD, 2003. 49 p.

18. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck V., Jonas M., Obersteiner M. *Full Carbon Account for Russia*. Working Papers ir00021. Laxenburg, Austria, IIASA, 2000. 181 p.
19. Quegan S., Beer C., Shvidenko A., Mccallum I., Handoh I.C., Peylin P. et al. Estimating the Carbon Balance of Central Siberia using a Landscape–Ecosystem Approach, Atmospheric Inversion and Dynamic Global Vegetation Models. *Global Change Biology*, 2011, vol. 17, iss. 1, pp. 351–365. DOI: [10.1111/j.1365-2486.2010.02275.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02275.x)
20. Shvidenko A., Nilsson S. Dynamics of Russian Forests and the Carbon Budget in 1961–1998: An Assessment Based on Long-Term Forest Inventory Data. *Climatic Change*, 2002, vol. 55, iss. 1-2, pp. 5–37. DOI: [10.1023/A:1020243304744](https://doi.org/10.1023/A:1020243304744)
21. Shvidenko A., Schepaschenko D., Maksyutov S. Impact of Terrestrial Ecosystems of Russia on the Global Carbon Cycle from 2003–2008: An Attempt of Synthesis. *Proceedings of the International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information ENVIROMIS–2010, Tomsk, July 5–11, 2010*. Tomsk, EGU, 2010, pp. 48–52.
22. Shvidenko A., Schepaschenko D., McCallum I., Santoro M., Schmillius C. Use of Remote Sensing Products in a Terrestrial Ecosystems Verified Full Carbon Account: Experiences from Russia. *Proceedings of the International Conference “Earth Observation for Land–Atmosphere Interaction Science”, Frascati, Italy, November 3–5, 2010 (ESA SP–688)*. Rome, 2011. 8 p.
23. *State of the World's Forests: Enhancing the Socioeconomic Benefits from Forests*. Rome, FAO, 2014. 121 p.

PRODUCTIVITY AND ENVIRONMENTAL ROLE OF FOREST SHELTERBELTS OF *Robinia pseudoacacia* L. OF THE KUBAN LOWLAND

V.V. Tanyukevich¹, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAG-2488-2019](https://orcid.org/0000-0003-4427-8357),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4427-8357>

A.S. Rulev², Doctor of Agriculture, Academician of RAS; ResearcherID: [AAU-8035-2020](https://orcid.org/0000-0002-5092-5007),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5092-5007>

V.V. Borodychev³, Doctor of Agriculture, Academician of RAS, RF Honored Scientist;
ResearcherID: [AAU-8802-2020](https://orcid.org/0000-0002-0279-8090), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0279-8090>

S.V. Tyurin¹, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2273-2758>

D.V. Khmeleva¹, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7066-9939>

A.A. Kvasha¹, Postgraduate Student; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3199-7195>

¹Don State Agrarian University, ul. Krivoshlykova, 24, pos. Persianovskiy, Oktyabr'skiy district, Rostov region, 346493, Russian Federation; e-mail: vadimlug79@mail.ru, tyurin-74@list.ru, mahovatka@yandex.ru, kwasha93@yandex.ru

²Federal Research Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, prosp. Universitetskiy, 97, Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: rulev54@rambler.ru

³All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, ul. Bol'shaya Akademicheskaya, 44, korp. 2, Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: vkovniigim@yandex.ru

Works on protective afforestation are carried out in order to protect agricultural land from degradation processes, as well as to improve the microclimate of land. The research purpose is to study the bioproductivity and environmental role of *Robinia pseudoacacia* L. forest shelterbelts in the conditions of the Kuban lowland. The approved and generally accepted methods of forest valuation, forest land reclamation, botany, and mathematical statistics were applied. Plantings were created according to the standard technology for the steppe zone of the Russian Federation. The area of forest shelterbelts is 62.4 ths ha, including 5 % of the young growth (I state class), 80 % of middle-aged forest plantings (II state class), 10 %

of maturing plantings (II state class), 5 % of mature and overmature plantings (III state class). Living ground cover is formed by the following species: *Koeleria pyramidata* L., *Poa pratensis* L., *Festuca pratensis* H., *Elytrigia repens* L., *Dactylis glomerata* L., and *Phlum pratense* L. Aboveground phytomass is 100–300 g/m²; height is 25–32 cm. Plantings are characterized by the quality classes: young growth – I and II; middle-aged and maturing – III; mature and overmature – IV. At the age of natural maturity (70 years), the *Robinia* trunk reaches the average height of 15.1 m with the average diameter of 22.1 cm. The total stock of wood reaches 18, (ths m³), including (ths m³): young growth – 68 (ths m³); middle-aged plantings – 14,871 (ths m³); maturing plantings – 2,187 (ths m³); mature and overmature plantings – 1,314 (ths m³). Aboveground phytomass in young growth is 20.2 t/ha; in mature and overmature plantings it is 391.2 t/ha. In the region it is estimated at 17,070 ths t, including (ths t): young growth – 64; middle-aged plantings – 13,753; maturing plantings – 2,032; mature and overmature plantings – 1,221. The share of stem mass reaches 84.5–80.8 %; woody greenery – 4.2–1.5 %; branches – 11.3–17.7 %. Recalculation coefficients of the stock into aboveground phytomass are the following for: young growth – 0.936; mature and overmature forest shelterbelts – 0.929. Phytosaturation of forest shelterbelts varies within 0.314–2.474 kg/m³. Forest shelterbelts have accumulated 8,534 ths t of carbon, which is estimated at 145.1 mln dollars. The sphere of application of the research results is the Krasnodar Krai forestry, which is recommended to create an additional 60 ths ha of forest shelterbelts, which will provide a normative protective forest cover of arable land of 5 % and annual carbon sequestration up to 3.4 t/ha.

For citation: Tanyukevich V.V., Rulev A.S., Borodychev V.V., Tyurin S.V., Khmeleva D.V., Kvasha A.A. Productivity and Environmental Role of Forest Shelterbelts of *Robinia pseudoacacia* L. of the Kuban Lowland. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 88–97. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-88-97

Keywords: *Robinia pseudoacacia* L., forest shelterbelts, wood stock, aboveground phytomass, carbon sequestration.

Поступила 30.09.19 / Received on September 30, 2019

УДК 635.9

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110

ОЦЕНКА ДЕКОРАТИВНОСТИ НАСАЖДЕНИЙ

О.С. Залывская, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAU-4901-2020](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-6295>

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

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

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: o--s@yandex.ru

Проблема биоразнообразия и устойчивости древесных и кустарниковых насаждений в крупных городах важна как в России, так и за рубежом. Их декоративность является показателем адаптации и возможности в полной мере выполнять свои функции. Актуальным является предложение создавать насаждения, декоративные в течение всего календарного года. Цель исследования – разработка шкалы оценки декоративности насаждений в городских условиях. Данная методика основана на балльной оценке следующих признаков зеленых насаждений: санитарное состояние; декоративные качества ствола и кроны; характеристика цветения (по продолжительности, обилию, окраске и величине цветков); характеристика облиствения (разнообразие летней и осенней окраски, общая продолжительность облиствения). Выделено 5 наиболее распространенных типов насаждений: однопородные древесные, однопородные кустарниковые, смешанные древесные, смешанные кустарниковые, а также древесно-кустарниковые группы. Наивысшей степенью декоративности насаждений в северных условиях (24,8 балла) обладает смешанная группа из ели колючей (*Picea pungens* Eng.), черемухи обыкновенной (*Padus racemosa* Lam.) и сирени венгерской (*Syringe josikae* Jacq.). Наименьшую оценку декоративности (13,1 балла) получило однопородное насаждение из пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolius* L.), что связано с его санитарным состоянием. Суммарный балл зависит не только от ассортимента пород, но и от санитарного состояния насаждения. При удалении от автодороги балл декоративности повышается, что связано с улучшением санитарного состояния деревьев и кустарников (22,8 балла на удалении против 21,4 балла вблизи автодороги). Среди всех исследуемых типов насаждений в городах Архангельской агломерации 50 % обладают высокой степенью декоративности, 45 % – средней, 5 % – низкой. Одропородные насаждения в целом менее декоративны, чем смешанные (20,5 балла против 23,4 балла). Городские насаждения в той или иной степени обладают декоративностью в течение всего календарного года. Предлагаемая схема методологии предполагает оценку в каждый из сезонов. Весной следует фиксировать начало периода облиствения и цветения, летом – оценивать санитарное состояние, цветение (продолжительность, обилие, окраску и величину цветков), осенью – цветовую гамму окраски листьев, общую продолжительность облиствения, зимой – декоративные качества ствола и кроны (архитектоника кроны, окраска ветвей).

Для цитирования: Залывская О.С., Бабич Н.А. Оценка декоративности насаждений // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 98–110. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110

Ключевые слова: биоразнообразие, устойчивость, дендрофлора, урбаносистема, оценка декоративности.

Введение

Биоразнообразие признается основным фактором устойчивости экосистем, в том числе и урбаносистем. Проблема устойчивости древесных и кустарниковых насаждений в крупных городах актуальна как в России, так и за рубежом [15–20]. Насаждения могут быть достаточно декоративны только тогда, когда адаптированы в данных условиях.

Система древесно-кустарниковых насаждений объектов озеленения состоит из солитеров, древесных групп, древесных массивов, аллей, живых изгородей, бордюров, боскетов, выющихся древесных растений и др. Имеются методики оценки отдельных экземпляров деревьев и кустарников [1, 10, 12]. Ранее нами была разработана шкала для оценки отдельных видов деревьев и кустарников [2, 8], применяемая российскими исследователями [5, 7, 9, 13]. Однако в современных условиях городского паркостроения, когда следует создавать насаждения, характеризующиеся наиболее длительным периодом декоративности в течение всего календарного года, необходимо производить оценку декоративности насаждений в целом.

Цель исследования – разработка шкалы оценки декоративности насаждений в условиях городов.

Объекты и методы исследования

Предлагаемая нами методика основана на балльной оценке следующих признаков зеленых насаждений: санитарное состояние, декоративные качества ствола и кроны, характеристика цветения (по продолжительности, обилию, окраске и величине цветков), характеристика облиствения (разнообразие летней и осенней окраски, общая продолжительность облиствения).

Декоративные особенности отдельных древесных пород, наиболее ярко выявляемые при использовании их в виде солитеров, сохраняются и в насаждениях, оказывая решающее влияние на их архитектурный облик – очертание, структуру и цвет крон.

Санитарное состояние. Санитарное состояние растений влияет на их внешний вид. Поврежденность растений включает в себя наличие или отсутствие дупел, суховершинности, усыхание больших скелетных сучьев и механические повреждения, наличие или отсутствие повреждений вредителями или болезнями. Однако иногда необычная для вида форма ствола или даже очевидный «порок» дерева может быть весьма декоративен (рис. 1) и оцениваться как «оригинальность строения» в 4 балла. Дупла являются местом гнездования птиц в городских условиях.



Рис. 1. Необычная форма ветки сосны обыкновенной

Fig. 1. The unusual shape of the Scots pine branch

Обязательно учитывается встречаемость разного рода патологий на листьях и хвое. Санитарная оценка дается на основании шкалы категорий их состояния [11], адаптированной нами для балльной оценки городских насаждений (табл. 1).

Таблица 1

Шкала категорий санитарного состояния насаждений

Категория насаждений	Признаки	Балл декоративности
Условно здоровые	Без признаков отклонения от нормального развития	4
Ослабленные	На листьях имеется пятнистость, повреждения листогрызущими (до 25 %). Отмирание ветвей (до 15 %). На стволе встречаются водяные побеги, пороки непаразитарного происхождения (искривлен или наклонен ствол, обдир ствола и др.)	3
Сильно ослабленные	Повреждение листьев пятнистостью, листогрызущими и сосущими насекомыми (до 50 %). Отмирание ветвей в кроне – до 50 %. Суховершинность. Многочисленные водяные побеги на стволе и поросль у основания ствола. Сухобочина, опухолевый рак ветвей и ствола	2
Усыхающие	Листья поражены пятнистостью, повреждены листогрызущими и сосущими насекомыми (свыше 50 %). Суховершинность. Многочисленные водяные побеги на стволе и поросль у основания ствола. На ветвях и стволе признаки плодоношения возбудителей болезней	1
Сухостой	Листья усохли, но сохранились или преждевременно опали. Мелкие веточки и кора сохранились. Ствол и ветви заселены стволовыми вредителями	0

Расчет балла санитарного состояния производится как среднее арифметическое совокупности баллов всех деревьев каждой породы, затем баллы складываются по насаждению в целом. Например, средний балл санитарного состояния однопородного насаждения из 6 деревьев березы пушистой вычисляется следующим образом:

$$(4 + 3 + 2 + 4 + 3 + 3) / 6 = 3,2.$$

Аналогично рассчитываются баллы и по другим показателям шкалы (декоративные качества ствола и кроны, характеристика цветения, характеристика облиствения). При большом количестве деревьев (кустарников) на объекте исследований оценивается каждое n -е растение для последующей возможности статистической обработки полученных данных методами малой и большой выборки [6].

Декоративные качества ствола и кроны. Архитектоника кроны (строение и форма кроны) занимает важное место по декоративной значимости. Различают естественную форму кроны и искусственную (полученную в результате обрезки). Все встречающиеся естественные формы крон древесных пород могут быть сведены к следующим: раскидистая (неправильная); пирамидальная (конусовидная, веретенообразная, колонновидная);

овальная или эллипсоидальная (яйцевидная, обратнаяйцевидная); зонтичная; шаровидная (штамбовая, кустовая); плакучая; вьющаяся (лианообразная); стелющаяся; подушечная [10].

Форма ствола, фактура и цвет коры (рис. 2) и геометрия ветвей являются важными декоративными качествами, особенно в зимний период, когда нет листьев, что необходимо учитывать при проектировании насаждений.



Рис. 2. Кора клена зеленокорого

Fig. 2. Manchurian striped maple bark

Прямой стройный ствол правильной округлой формы является неперменным качеством древесных пород, используемых в аллеиных посадках и уличных насаждениях. У деревьев ствол виден от его основания до кроны, а у деревьев с ажурной кроной – и в самой кроны. Для аллеиных и уличных посадок применяются деревья со стволами, которые в процессе их роста становятся свободными от ветвей и сучьев на большую высоту, тогда как в одиночных редких посадках и в небольших группах нередко предпочтительны деревья с кроной, опущенной почти до самой земли. Молодые деревья имеют гладкую кору, с возрастом она становится трещиноватой.

В зависимости от формы крон деревьев, составляющих насаждение, форма зеленого полога всей группы может быть: округлой, если группа состоит из древесных пород, имеющих округлую крону; остроконечной, если группу составляют древесные породы с остроконечными кронами; контрастной, если входящие в группу древесные породы имеют кроны различных форм.

В декоративном облике групп различают также структуру (плотность) зеленого полога всей группы. В зависимости от густоты ветвления и листвы входящих в группу пород структура может быть: плотной – с густым ветвлением и густым облиствением кроны; средней плотности – ветвление кроны и облиствение средней густоты; ажурной – с легкой, тонкой и негустой структурой ветвления и негустым облиствением.

Многоярусность – это результат сложного состава входящих в насаждение древесных пород, отличающихся разной энергией роста, или различного возраста насаждений одной или нескольких пород.

Сложные по строению и составу пород насаждения иногда теряют в своей архитектурной выразительности, но зато создают лучшие условия для произрастания растений и обеспечивают им большую устойчивость.

Для аллейных насаждений необходимо подбирать породы, у которых форма кроны соответствует характеру застройки и общему архитектурному ансамблю улицы. Кроме того, следует принимать во внимание фактуру кроны, орнамент и цвет листьев и их сочетание с цветом зданий. Уличные насаждения должны гармонизировать также с высотой строений, подчеркивать ее невысокими посадками шаровидной и зонтичной формы или, наоборот, закрывать их за счет создания крытой аллеи. Полосы газона усиливают декоративный эффект зеленых насаждений, обеспечивая лучшие условия для развития и уходов за ними.

Оценка декоративности крон в насаждении производится по 4-балльной системе [10]:

4 балла – насаждения отличаются четко выраженной общей формой кроны, оригинальностью ее строения (в том числе необычная форма);

3 балла – насаждения, сохранившие свою структуру и имеющие хорошо сформированные стволы и ветви крон;

2 балла – насаждения с заметным угнетением и деформированными кронами, имеются сухие побеги и ветви, стволы повреждены;

1 балл – насаждения сильно угнетены, ветви отмирают на 60...70 %, кроны сильно деформированы, стволы сильно повреждены.

Характеристика цветения. В насаждении цветки являются важной, иногда решающей декоративной деталью, особенно это относится к цветущим кустарникам.

По продолжительности цветения древесные породы разделены на категории, оценивать которые предлагается в баллах:

5 баллов – продолжительно цветущие (более 1 мес.);

4 балла – со средней продолжительностью цветения (2 нед.–1 мес.);

3 балла – непродолжительно цветущие (1–2 нед.);

2 балла – короткоцветущие (до 1 нед.);

1 балл – цветущие несколько дней;

0 баллов – не цветущие в данных условиях.

Дополнительно оценивается обилие цветения в баллах по общепринятой шкале В.Г. Каппера (1930). Предлагаем дифференциацию на баллы по окраске и величине цветков:

5 баллов – цветки или соцветия весьма крупные (11 см и более), окраска заметно выражена, весьма привлекательна, не изменяется под действием солнечных лучей с момента распускания до опадения;

4 балла – цветки или соцветия крупные (6...10 см), окраска привлекательная;

3 балла – цветки или соцветия небольшие (2...5 см), окраска тусклая;

2 балла – цветки или соцветия мелкие (до 2 см), невзрачные;

1 балл – цветки практически незаметны, ослаблены или поникли.

Характеристика облиствения. Окраска листьев (светло-, темно-, серо-, сизо-, голубовато-зеленая, зеленая, серебристо-белая и т.д.) – наиболее заметный фактор декоративности, оттенки цветов и их названия подробно изучались ранее [3, 4]. При оценке насаждений, наряду с декоративными цветками и плодами, следует учитывать оригинальность орнамента и размеры листьев, окраску крон (листьев) – однотонную или контрастную (в разнопородных насаждениях) – не только в летний, но и в осенний период (рис. 3).



Рис. 3. Боярышник кроваво-красный в осенний период: *а* – листья, *б* – плоды

Fig. 3. Siberian hawthorn in autumn: *a* – leaves; *b* – fruits

Оказалось, что некоторым систематическим группам (семействам, родам, видам) соответствуют определенные изменения осенней окраски листвы. Для семейства розоцветных характерны красноватые тона (от розового до малинового и пурпурного), у представителей семейства буковых преобладают бурые тона, у масличных – фиолетовые, у березовых и кленовых – желтые. Родственные генетические связи у растений хорошо подчеркиваются общностью в составе пигментов [14].

Цветовая гамма осенней окраски листьев многих древесных пород заслуживает тщательного изучения и использования при проектировании зеленых насаждений, так как может придать неповторимость любому участку города. Однако эффект осенней окраски нередко не учитывается. По разнообразию осенней окраски листьев древесные породы можно подразделить на 2 группы [10]:

1 – породы, у которых все листья растений данного вида осенью имеют один доминирующий цвет;

2 – породы, имеющие разнообразную осеннюю цветовую гамму у растений одного вида, на одном и том же экземпляре (а иногда у одного и того же листа) бывает от 3 до 7 и более различных расцветок листьев.

Таким образом, дифференциация по баллам зависит от разнообразия летней и осенней окраски, яркости и продолжительности ее сохранения. Оценка дается визуально; максимальный балл – 4, минимальный – 1. Цвет определяется по шкале цветов А.С. Бондарцева (1954).

Кроме сроков осеннего листопада существенное значение для зеленого строительства имеет общая продолжительность облиствения древесных пород в течение всего вегетационного периода. Предлагаем следующую градацию:

4 балла – в насаждении доминируют вечнозеленые растения;

3 балла – насаждение состоит из древесных пород с рано распускающимися и поздно опадающими листьями;

2 балла – насаждение состоит из деревьев и кустарников с рано рас-

пускающимися и рано опадающими, а также с поздно распускающимися и поздно опадающими листьями;

1 балл – насаждения преимущественно построены из видов с поздно распускающимися и рано опадающими листьями.

Для получения общего балла декоративности баллы, присвоенные насаждению по всем критериям, суммируются (табл. 2).

Таблица 2

Оценка декоративности насаждений

Суммарный балл	<6,0	6,0–16,9	17,0–23,0	>23,0
Степень декоративности	Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая

Результаты исследования и их обсуждение

Апробация данной шкалы декоративности насаждений произведена в 2016–2019 гг. в условиях городов Архангельской агломерации.

Результаты исследования представлены в табл. 3, 4, где серым цветом отмечены насаждения на удалении от автодороги. Нами выделено 5 типов насаждений: однопорodные древесные, однопорodные кустарниковые, смешанные древесные, смешанные кустарниковые, древесно-кустарниковые группы.

Таблица 3

Оценка декоративности насаждений в условиях Архангельской агломерации

Тип насаждений	Декоративность, балл	Характеристика
Однопорodные: древесные кустарниковые	21,3	Средняя
	19,6	Средняя
Смешанные: древесные кустарниковые	24,1	Высокая
	23,4	Высокая
Древесно-кустарниковые	22,8	Средняя

В случае однопорodного насаждения итоговый балл является суммой баллов по критериям оценки, в смешанном насаждении сумма баллов декоративности пород, входящих в насаждение, умножится на долю каждой породы в насаждении.

Однопорodные насаждения в течение всего календарного года менее декоративны, чем смешанные (20,5 балла против 23,4 балла соответственно). Однако в отдельные периоды вегетации (весна, лето, зима или осень) однопорodная группа может выполнять свои функции не менее эффективно, чем смешанная. Примерами являются насаждения из ели колючей на просп. Троицком (г. Архангельск) в зимний период, аллея из рябины обыкновенной на ул. Воскресенской осенью, кустарниковая группа из розы морщинистой летом на ул. Шубина, насаждения из ивы на наб. Северной Двины в весенний период.

Таблица 4

Декоративность насаждений в условиях Архангельской агломерации*

№ п/п	Породный состав	Тип насаждений	Местонахождение	Оценка декоративности, балл				Итоговый балл	Степень декоративности	
				Санитарное состояние	Декоративные качества ствола и кроны	Характеристика				
						цветения	облиствения			
Однопородные древесные насаждения										
1	Береза пушистая (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.) 10 Б	Рядовая посадка	г. Архангельск, просп. Обводный канал – ул. Розы Люксембург	3,1	3,2	3,1 4,2 3,0	3,0 3,4	23,0	Средняя	
2	Сосна обыкновенная (<i>Pinus silvestris</i> L.) 10 С	Древесный массив	г. Северодвинск, сосновый бор, о. Ягры	3,5	2,1	3,8 4,5 2,7	2,7 3,8	23,1	Высокая	
Однопородные кустарниковые насаждения										
3	Роза собачья (<i>Rosa canina</i> L.) 10 Р	Живая изгородь	г. Архангельск, ул. Розы Люксембург – просп. Новгородский	3,5	3,1	3,6 3,5 3,8	2,9 2,7	23,1	Высокая	
4	Пузыреплодник калинолистный (<i>Physocarpus opulifolius</i> L.) 10 П	Живая изгородь	г. Архангельск, просп. Троицкий, здание Правительства области, мэрии	1,4	1,3	2,7 1,1 3,7	1,8 1,1	13,1	Низкая	
5	Спирея японская (<i>Spiraea japonica</i> L.) 10 С	Живая изгородь	г. Архангельск, просп. Чумбарова-Лучинского	4,8	3,4	3,3 3,2 3,4	1,4 3,2	22,7	Средняя	
Смешанные кустарниковые насаждения										
6	Сирень венгерская (<i>Syringa josikaea</i> Jacq.)	Кустарниковая группа	г. Архангельск, ул. Розы Люксембург – просп. Ломоносова	3,4	4,2	4,1 5,1 5,3	1,3 3,2	0,7× 26,6 +	Высокая	
	Рябинник рябинолистный (<i>Sorbaria sorbifolia</i> L.) 7 С 3 Р			4,3	3,1	3,2 3,2 4,4	2,2 2,4	0,3× 18,4 = 24,1		

Окончание табл. 4

№ п/п	Породный состав	Тип насаждений	Местонахождение	Оценка декоративности, балл				Итоговый балл	Степень декоративности
				Санитарное состояние	Декоративные качества ствола и кроны	Характеристика			
						цветения	облиственности		
Смешанные древесные насаждения									
7	Ель колочая (<i>Picea pungens</i> Eng.)	Рядовая посадка	г. Архангельск, наб. Северной Двины (вблизи Красной пристани)	4,5	4,0	3,1 3,9 2,8	2,8 4,1	0,7× 25,2 +	Высокая
	Липа мелколистная (<i>Tilia cordata</i> Mill.) 7 Е 3 Л			4,4	3,0	3,0 3,2 2,1	3,0 2,0	0,3× 20,7 =23,9	
Древесно-кустарниковые насаждения									
8	Береза пушистая (<i>Betula pubescens</i> Ehrh.)	Древесно-кустарниковая группа	г. Новодвинск, ул. Мельникова, д. 23 (территория двора)	4,7	3,0	3,6 3,1 3,6	3,1 3,6	0,5× 24,7 +	Высокая
	Жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i> L.) 5 Б 5 Ж			3,2	2,0	3,6 3,6 3,1	3,6 3,1	0,5× 22,2 =23,4	
9	Сирень венгерская (<i>Syringe josikae</i> Jacq.)	Древесно-кустарниковая группа	г. Архангельск, просп. Чумбарова-Лучинского	3,1	4,0	3,6 5,0 4,5	1,5 3,1	0,6× 24,8+	Высокая
	Ель колочая (<i>Picea pungens</i> Eng.)			3,4	3,0	3,6 3,8 3,6	3,7 3,9	0,3× 25,0	
	Черемуха обыкновенная (<i>Radus racemosa</i> Lam.) 6 С 3 Е 1 Ч			3,2	2,0	3,6 3,6 3,5	2,0 2,0	0,1× 24,3 =24,8	

На основании проведенной апробации шкалы декоративности насаждений нами предлагается схема методологии оценки по сезонам года. Так, весной следует фиксировать начало периода облиствения и цветения, летом оценивать санитарное состояние, цветение (продолжительность, обилие, окраску и величину цветков), осенью – цветовую гамму окраски листьев, общую продолжительность облиствения, зимой – декоративные качества ствола и кроны (архитектоника кроны, окраска ветвей).

Выводы

1. Наивысшей степенью декоративности насаждений обладает смешанная группа из ели колючей, черемухи обыкновенной и сирени венгерской (24,8 балла), наименьшей – однопородное насаждение из пузыреплодника калинолистного (13,1 балла), что связано с его санитарным состоянием.

2. Суммарный балл зависит не только от ассортимента пород, но и от санитарного состояния насаждения. При удалении от автодороги балл декоративности повышается, что связано с улучшением санитарного состояния деревьев и кустарников (22,8 балла на удалении от дороги против 21,4 балла вблизи нее).

3. 50 % всех исследуемых типов насаждений в городах Архангельской агломерации (однопородные древесные, однопородные кустарниковые, смешанные древесные, смешанные кустарниковые, древесно-кустарниковые группы) обладают высокой степенью декоративности, 45 % – средней, 5 % – низкой.

4. Одропородные насаждения в целом менее декоративны, чем смешанные (20,5 балла против 23,4 балла соответственно).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агальцова В.А. Сохранение мемориальных лесопарков. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 254 с. [Agal'tsova V.A. *Preservation of Memorial Forest Parks*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 254 p.].
2. Бабич Н.А., Залывская О.С., Травникова Г.И. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов: моногр. Архангельск: АГТУ, 2008. 144 с. [Babich N.A., Zalyvskaya O.S., Travnikova G.I. *Introduced Species in Green Construction of Northern Cities: Monograph*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2008. 144 p.].
3. Бондарцев А.С. Шкала цветов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 27 с. [Bondartsev A.S. *Color Scale*. Moscow, AN SSSR Publ., 1954. 27 p.].
4. Голощапов Г.В. Декоративные особенности древесных растений «природного лесопарка» в Заилийском Алатау // Материалы науч.-пед. конф. 1971. С. 249–256. [Goloshchapov G.V. Ornamental Features of Woody Plants of the Natural Forest Park of Trans-Ili Alatau. *Proceedings of the Scientific and Pedagogical Conference*. 1971, pp. 249–256].
5. Городняя Е.В., Кравчук Е.А., Печерский В.А. Оценка успешности интродукции и декоративности представителей рода *Cotoneaster* Medik. в условиях предгорной зоны Крыма // Новости науки в АПК. 2019. № 1-1(12). С. 26–30. [Gorodnyaya E.V., Kravchuk E.A., Pecherskiy V.A. Success Evaluation of Introduction and Ornamentality of the Genus *Cotoneaster* Medik. Representatives in the Crimea Piedmont Zone. *Novosti nauki v APK*, 2019, no. 1-1(12), pp. 26–30]. DOI: [10.25930/x2sw-zj34](https://doi.org/10.25930/x2sw-zj34)

6. Дворецкий М.Л. Пособие по вариационной статистике М.: Лесн. пром-сть, 1971. 104 с. [Dvoretzkiy M.L. *Manual on Variation Statistics*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 104 p.].

7. Евтушенко Н.А., Кочергина М.В., Чекуленева Ю.В. Перспективы применения представителей рода *Acer* L. в ландшафтной архитектуре // Проблемы природоохранной организации ландшафтов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Новочеркасск, 24–27 дек. 2018 г.). Новочеркасск: Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А.К. Кортунова, Донской гос. аграр. ун-т, 2018. С. 52–56. [Yevtushenko N.A., Kochergina M.V., Chekmeneva Y.V. The Prospect of Using Members of the Genus *Acer* L. in Landscape Architecture. *Issues of Environmental Organization of Landscapes: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Novocherkassk, December 24–27, 2018)*. Novocherkassk, DSAU Publ., 2018, pp. 52–56].

8. Залывская О.С., Бабич Н.А. Шкала комплексной оценки декоративности деревьев и кустарников в городских условиях на Севере // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2012. № 1(15). С. 96–104. [Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Scale of Complex Assessment of Trees and Shrub Decorativeness in Northern Cities. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2012, no. 1(15), pp. 96–104].

9. Клытина А.А. Оценка декоративности ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в урбанизированной среде // Молодые исследователи – развитию молочного-хозяйственной отрасли. Ч. 2.: сб. науч. тр. по результатам работы II Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., Вологда–Молочное: ВГМХА, 2018. С. 67–69. [Klypina A.A. Assessment of Decorativeness of Blue Spruce (*Picea pungens* Engelm.) in an Urbanized Environment. *Young Scientists for the Development of the Dairy Industry. Part 2: Collection of Scientific Papers Based on the Results of the 2nd All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Vologda, Vologda SDFA Publ., 2018, pp. 67–69].

10. Колесников А.И. Декоративная дендрология. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 704 с. [Kolesnikov A.I. *Ornamental Dendrology*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 704 p.].

11. Линдеман Г.В. Что такое «ослабленные деревья и древостои»? // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2003. № 2. С. 34–40. [Lindeman G.V. Essence of the Notion “Trees and Forest Stands Weakening”. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2003, no. 2, pp. 34–40].

12. Маркевич И.А., Шужмов А.А. Методика эстетической оценки элементарных ландшафтов при движении по маршрутам // Изв. вузов. Лесн. журн. 1993. № 1. С. 17–22. [Markevich I.A., Shuzhmov A.A. Aesthetic Assessment Procedure of Elementary Landscapes When Moving Along Routes. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1993, no. 1, pp. 17–22]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1993/1993%20%E2%84%96%201.pdf>

13. Михалищев Р.В., Сродных Т.Б. Декоративные качества спирей (*Spiraea* L.) в условиях города Екатеринбурга // Ландшафтная архитектура и природообустройство: от проекта до экономики – 2019: материалы междунар. науч.-техн. конф. / под ред. О.Б. Сокольской и И.Л. Воротникова. Саратов: ООО «ЦеСАин», 2019. С. 87–89. [Mikhalishchev R.V., Srodnykh T.B. Ornamental Qualities of Meadowsweets (*Spiraea* L.) in the City of Yekaterinburg. *Landscape Architecture and Environmental Engineering: From Project to Economy – 2019. Proceedings of the International Scientific and Engineering Conference*. Ed. by O.B. Sokolskaya, I.L. Vorotnikov. Saratov, TseSAin Publ., 2019, pp. 87–89].

14. Молотков П.И. Шкала изменения осенних окрасок листвы деревьев и кустарников // Лесн. хоз-во. 1962. № 9. С. 5–6. [Molotkov P.I. Scale of Changes in Autumn Colors of Trees and Shrubs Foliage. *Lesnoye khozyaystvo*, 1962, no. 9, pp. 5–6].
15. Aanderaa R., Rolstad J., Søyen S.M. *Biological Diversity in Forests*. Oslo, Norges Skogeierforbund og A/S Landbruksforlaget, 1996. 112 p.
16. Cadotte M.W., McMahon S.M., Fukami T. *Conceptual Ecology and Invasion Biology: Reciprocal Approaches to Nature*. Netherlands, Springer, 2006. 487 p. DOI: [10.1007/1-4020-4925-0](https://doi.org/10.1007/1-4020-4925-0)
17. Cowett F., Bassuk N. Street Tree Diversity in Three Northeastern U.S. States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2017, vol. 43, no. 1, pp. 1–14.
18. Ghafari S., Kaviani B., Sedaghatshoor Sh., Allahyari M.S. Ecological Potentials of Trees, Shrubs and Hedge Species for Urban Green Spaces by Multi Criteria Decision Making. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, vol. 55, art. 126824. DOI: [10.1016/j.ufug.2020.126824](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126824)
19. Sjöman H., Hirons A.D., Bassuk N.L. Urban Forest Resilience through Tree Selection – Variation in Drought Tolerance in *Acer*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, vol. 14, iss. 4, pp. 858–865. DOI: [10.1016/j.ufug.2015.08.004](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.08.004)
20. Vink A.P.A. *Landscape Ecology and Land Use*. London, Longman, 1983. 264 p.

ASSESSMENT OF PLANTATIONS ORNAMENTALITY

O.S. Zalyvskaya, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAY-4901-2020](https://orcid.org/0000-0002-7520-6295),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7520-6295>

N.A. Babich, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [G-7384-2019](https://orcid.org/0000-0001-7463-2519),

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

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: o--s@yandex.ru

The issue of biodiversity and sustainability of tree and shrub plantations in large cities is relevant both in Russia and abroad. Their ornamentality is an indicator of adaptation and ability to fully perform their functions. It is relevant to create plantations, decorative throughout the calendar year. The research purpose is to develop a scale for assessing the ornamentality of plantations in urban conditions. This procedure is based on scoring the following characteristics of green spaces: sanitary state; decorative qualities of trunk and crown; characteristics of flowering (according to duration, abundance, color and size of flowers); characteristics of leafing (variety of summer and autumn colors, total duration of leafing). There are 5 most common types of plantations: single-breed arboreal; single-breed shrub; mixed wood; mixed shrub; and wood-shrub groups, in which the research was carried out. A mixed group of blue spruce (*Picea pungens* Eng.), bird cherry (*Padus racemosa* Lam.) and Hungarian lilac (*Syringe josikae* Jacq.) has the highest degree of ornamentality in northern conditions (24.8 points). A single-breed plantation of common ninebark (*Physocarpus opulifolius* L.) has the least ornamentality score (13.1 points), which is due to its sanitary state. The total score depends not only on the species assortment, but also on the plantation sanitary state. The ornamentality score increases with distance from the road, which is due to the improvement in the sanitary state of trees and shrubs (22.8 points at a distance versus 21.4 points near the road). Among all the studied types of plantations in the cities of the Arkhangelsk agglomeration, 50 % have a high degree of ornamentality, 45 % – medium and 5 % – low. Single-breed plantations are generally less decorative than mixed (20.5 points versus 23.4 points). Urban plantations are more or less

decorative throughout the entire calendar year. The proposed scheme of the procedure assumes an assessment of decorative effect during all seasons of the year. So, the following should be recorded: the beginning of the period of leafing and flowering in spring; the sanitary state, flowering (duration, abundance, color and size of flowers) in summer; the color scheme of the leaves, the total duration of leafing in autumn; the decorative qualities of trunk and crown (architectonics of crown, coloring of branches) in winter.

For citation: Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Assessment of Plantations Ornamentality. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 98–110. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-98-110

Keywords: biodiversity, sustainability, dendroflora, urban system, ornamentality, assessment.

Поступила 28.10.19 / Received on October 28, 2019

УДК 630*228.7

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-111-119

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫСОТЫ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*Quercus robur* L.) И КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО (*Acer platanoides* L.) В ПОЛЕЗАЩИТНОЙ ПОЛОСЕ

О.В. Грибачева¹, канд. биол. наук, доц.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5428-143X>

А.И. Чернодубов², д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: [AAS-8110-2020](https://orcid.org/0000-0001-9195-8895),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9195-8895>

¹Луганский национальный аграрный университет, городок ЛНАУ-1, г. Луганск, Луганская народная республика, Украина, 91008; e-mail: olesya_koraneva_78@mail.ru

²Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: chernodubov2010@yandex.ru

Организующей основой адаптивно-ландшафтного земледелия является защитное лесоразведение. Изучение состояния полезащитных полос необходимо для установления их защитной высоты в связи с резко меняющимися климатическими условиями. Цель исследования – осуществить распределение деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.) по высоте для установления структуры древостоя, а также предложить мероприятия по улучшению состояния дуба черешчатого. Полезащитная полоса, пространственную структуру которой изучали, расположена в окрестностях с. Золотаревка Станично-Луганского района Луганской области Украины (65 км от г. Луганска). Архивные данные о времени создания и возрасте лесополосы не выявлены. В соответствии со сталинским планом преобразования природы, который был рассчитан на 1949–1965 гг., создавались полезащитные полосы и в этом районе. Пробные площади закладывались в соответствии с ОСТ 56-69–83. По результатам перечислительной таксации определялись состав полезащитной полосы, средние диаметр и высота деревьев. Коэффициенты асимметрии и эксцесса древостоев изучаемых пород рассчитывались с использованием общепринятых методов биометрии. Распределение деревьев клена остролистного и дуба черешчатого по высоте сверялось с нормальным распределением деревьев в насаждении по W-критерию Шапиро–Уилка. Выявлено, что среднеарифметическая и графическая высоты древостоев дуба черешчатого и клена остролистного на двух постоянных пробных площадях отличаются незначительно. Установлено, что древостой клена остролистного на пробных площадях характеризуется положительной правосторонней симметрией и положительным эксцессом. Анализируя состояние древостоя, можно утверждать, что коэффициент асимметрии древостоя дуба черешчатого на обеих площадях по знаку и численному значению неодинаков: на первой площадке – левосторонний отрицательный ($As = -2,026$), на второй – правосторонний положительный ($As = 0,973$). Особое внимание акцентировалось на том, что наибольшее значение коэффициента эксцесса древостоев дуба черешчатого отмечено на первой площадке – 3,044. На основе применения W-критерия Шапиро–Уилка показано, что кривая распределения древостоев клена остролистного по высоте на обеих пробных площадях не соответствует кривой нормального распределения для насаждений, а кривая распределения древостоев дуба черешчатого по высоте на второй площадке приближается к показателю W-критерия Шапиро–Уилка для нормальных насаждений и составляет 0,823 (при $p = 0,05$, $W = 0,842$, $n = 10$).

Для цитирования: Грибачева О.В., Чернодубов А.И. Изменчивость высоты дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в полезащитной полосе // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 111–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-111-119

Ключевые слова: полезащитная полоса, *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., древостой, средний диаметр, средняя арифметическая высота, средняя таксационная высота, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса, W-критерий Шапиро–Уилка.

Введение

Организующей основой адаптивно-ландшафтного земледелия является защитное лесоразведение. Защитные лесные насаждения преобразуют условия местопроизрастания и прилегающих к ним территорий, которые сами по себе являются динамичными насаждениями, постоянно изменяющимися с возрастом. При этом оптимальные мелиоративные функции выполняют те, которые имеют хороший рост и состояние. Однако в последнее десятилетие в лесоаграрных ландшафтах все более актуальна проблема ухудшения состояния и сохранности защитных лесных насаждений, утраты ими защитно-мелиорирующих функций по причине отсутствия их лесохозяйственного обслуживания [13]. Полезащитные лесные насаждения даже на небольших территориях, прилегающих к населенным пунктам, возле которых интенсивно ведется сельское хозяйство, способствуют прекращению снижения уровня грунтовых вод и уменьшению числа засух. Дуб черешчатый, составляющий основу полос, является проблемной породой для лесокультурного производства из-за периодичности плодоношения, трудностей с получением качественного посадочного материала и низкой сохранности семян и растений в ювенильный период развития. Но при соблюдении технологии выращивания и ухода за культурами дуб черешчатый в степной зоне служит основной лесообразующей породой и способен переносить сильные и длительные засухи. Даже при сильной засухе в Каменной Степи (2010 г.) массовая гибель дуба в лесных полосах не отмечена [10].

Закономерности строения полезащитных насаждений исследовали многие отечественные и зарубежные ученые [6, 10, 12–22].

Цель работы – осуществить распределение деревьев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.) по высоте для установления структуры древостоя, а также предложить мероприятия по улучшению состояния дуба черешчатого.

Объекты и методы исследования

Полезащитная полоса, пространственную структуру которой изучали, расположена в окрестностях с. Золотаревка (65 км от г. Луганска). По Б.И. Логгину, территория, на которой она произрастает, относится к шестому агролесомелиоративному району Украины [7]. Почвы района – неглубокие с укороченным профилем, малогумусные обыкновенные черноземы. Этот район расположен на территории, которая наиболее подвержена суховеям, где количество дней с ними достигает 16–24, а в отдельные годы – даже 60. Преобладающее направление ветра при суховеях – восточное и юго-восточное. Научно-разработанное и рекомендованное направление размещения продольных полезащитных полос ССВ–ЮЮЗ.

В исследуемом насаждении были заложены постоянные пробные площади в соответствии с ОСТ 56-69–83 [8]. При их ревизии использовались геоботанические и общепринятые лесоводственные методики [9]. На этих площадях

нами неоднократно производился пересчет древостоя, выявлялось видовое разнообразие, определялись ранговые классы высот, редуциционные числа и ранги [2].

На первой пробной площади было изучено 45 деревьев клена остролистного и 44 дерева дуба черешчатого, на второй – 50 деревьев клена и 32 дерева дуба. Отбор учетных деревьев выполняли методом случайной выборки из всех ступеней толщины. Диаметр деревьев измеряли стандартной мерной вилкой. Для определения среднего диаметра древостоя в пологозащитной полосе в расчет брали деревья исследуемых пород с диаметром 5 см и более. Вычисление средней высоты для каждой породы производили через сумму площадей сечения на высоте груди (1,3 м) и, получив средний диаметр, определяли среднюю высоту для каждой породы по графику высот.

При построении графиков и обработке результатов использовали программу Statistica-6,0 и методику Б.А. Доспехова [3]. Коэффициенты асимметрии и эксцесса древостоев рассчитывали общепринятыми методами биометрии [1]. Распределение деревьев клена и дуба по высоте сверяли с нормальным распределением деревьев в насаждении по W-критерию Шапиро–Уилка [5].

Первая и вторая пробные площади отличаются друг от друга толщиной лесной подстилки, степенью проективного покрытия почвы травянистой растительностью, обилием травянистой растительности, расстоянием между посадочными местами в ряду. На первой пробной площади толщина лесной подстилки составляет 0,24 см, на второй – 0,11 см. По шкале обилия Друде и проективного покрытия травянистая растительность на первой пробной площади встречается единично (проективное покрытие 16 %), на второй – встречается вдовольно обильная (58 %).

Дуб черешчатый занимает три центральных ряда, а клен остролистный – два крайних ряда. Дуб высевали в лесополосу гнездовым способом с последующим вводом сопутствующих и быстрорастущих пород, клен остролистный высаживали однолетними саженцами. На первой пробной площади расстояние между деревьями в ряду составляет в среднем 2,3 м, на второй – 1,4 м. Тогда как расстояние между рядами в пологозащитной полосе на обеих пробных площадях – 2,0 м. Размеры прямоугольных пробных площадей: первой – 1170,0 м², второй – 1502,8 м². Конструкция пологозащитной полосы – ажурно-продуваемая. Состав насаждения – 6Дч4Кло. Кустарниковый ярус представлен терном колючим. Выявлен в небольшом количестве семенной и вегетативный подрост дуба черешчатого. Тип лесорастительных условий – сухая кленовая дубрава (D₁). Полнота насаждения – 0,5–0,6. Тип почвы – обыкновенные черноземы.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время строение древостоев принято оценивать характером распределения количества деревьев по их таксационным признакам, наиболее важное значение имеет распределение деревьев по диаметру и высоте. Для деревьев клена остролистного и дуба черешчатого по этим показателям приведено в табл. 1.

Амплитуда колебания среднеарифметической высоты деревьев клена остролистного в лесополосе на первой и второй пробных площадях достаточно высокая: на первой – от 4,0 до 25,7 м, на второй – от 9,0 до 21,7 м. Коэффициент вариации высоты деревьев на первой площади – 36,0 %, на второй – 22,2 %. Большой коэффициент вариации на первой площади объясняется большей дифференциацией деревьев.

Таблица 1

**Распределение деревьев дуба черешчатого и клена остролистного
по среднему диаметру и среднеарифметической высоте**

Порода	Диаметр стволов деревьев, см				Средне- арифме- тическая высота, м	Кэффи- циент вариации, %
	средний в рядах	средний в полосе	мини- мальный	макси- мальный		
Первая пробная площадь						
<i>Acer platanoides</i> L.	14,05±0,64; 14,46±0,70*	14,2±0,67	4,0	25,7	13,6±4,91	36,0
<i>Quercus robur</i> L.	19,20±0,76	19,2±0,76	4,0	29,0	22,2±5,63	25,3
Вторая пробная площадь						
<i>Acer platanoides</i> L.	16,41±0,80; 17,10±0,93	16,7±0,86	9,0	21,7	14,4±3,20	22,2
<i>Quercus robur</i> L.	22,00±1,03	22,0±1,03	7,0	27,0	17,7±4,17	23,6

*2 ряда *Acer platanoides* L. и 1 ряд *Quercus robur* L.

На второй пробной площади отмечено преобладание деревьев клена остролистного с более высокими значениями высот и диаметров. Это подтверждается исследованиями С.С. Шанина. В молодняках европейской части б. СССР, Урала и Сибири коэффициент вариации высоты деревьев почти везде изменяется от 40 до 55 %, уменьшаясь к возрасту спелости до 20 % [16]. Среднеарифметическая высота клена остролистного на второй пробной площади в 1,1 раза больше, чем на первой.

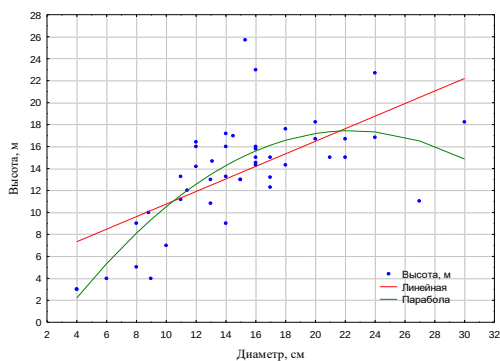
Амплитуда колебания среднеарифметической высоты деревьев дуба черешчатого на второй пробной площади ниже (7,0...27,0 м), чем на первой (4,0...29,0 м). Коэффициент вариации на первой и второй пробных площадях составляет 25,3 и 23,6 % соответственно. Среднеарифметическая высота дуба черешчатого на второй пробной площади в 1,25 раза ниже, чем на первой. По литературным источникам [4], коэффициент вариации высоты деревьев дуба черешчатого изменяется от 32,4 до 52,8 %.

Таксационная средняя высота (графическая высота), установленная по графику распределения высот, для древостоя клена остролистного на первой пробной площади – 13,0 м, на второй – 14,9 м (см. рисунок а, б), для дуба черешчатого – соответственно 22,6 м и 17,9 м (см. рисунок в, г).

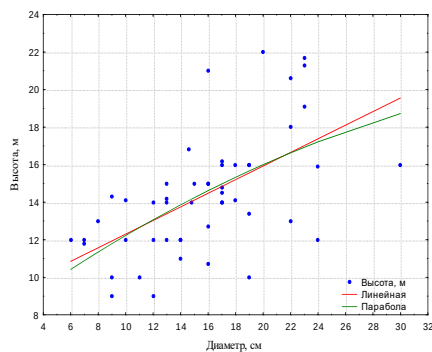
Для древостоев дуба черешчатого на первой пробной площади таксационная средняя высота достигает 22,6 м, а на второй – 17,9 м. Среднеарифметическая и графическая высоты древостоев дуба черешчатого и клена остролистного отличаются незначительно. Так, среднеарифметическая высота дуба черешчатого на первой площади – (22,2±5,63) м, графическая высота – 22,6 м (табл. 1).

По таблицам для установления разрядов высот древостоев при средних диаметре (19,2±0,76) см и высоте 22,6 м (границы разряда – 20,0...22,4 м) древостой дуба черешчатого на первой пробной площади имеет первый класс бонитета [11], на второй пробной площади при средних диаметре (22,0±1,03) см и высоте 17,9 м (границы разряда – 22,0...18,6 м) – третий класс.

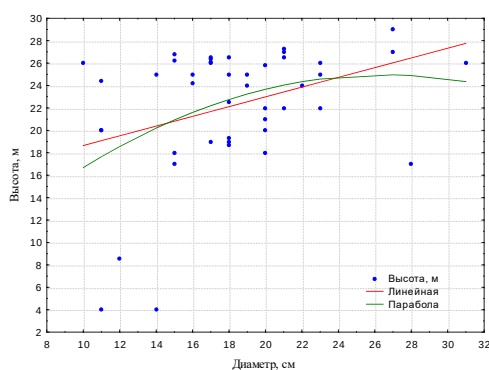
При статистической обработке средних арифметических высот древостоя клена остролистного на первой и второй пробных площадях значение t-критерия составило 0,32 при $p = 0,748819$, а при аналогичной обработке для дуба черешчатого – 0,64 при $p = 0,522694$.



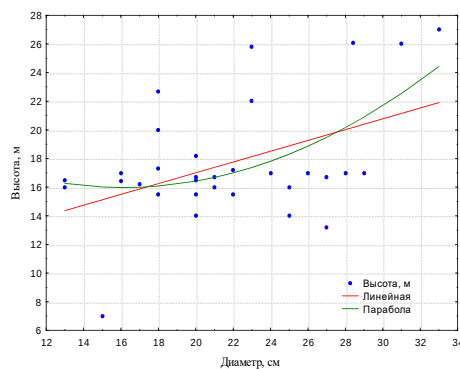
а



б



в



г

Высотная структура клена остролистного (а, б) и дуба черешчатого (в, г): а, в – первая пробная площадь ($n = 45$ и 44); б, г – вторая ($n = 50$ и 32)

Height structure of Norway maple (а, б) and English oak (в, г) on sampling areas: а, в – first sampling area ($n = 45$ and 44); б, г – second sampling area ($n = 50$ and 32)

Установлено, что древостой клена остролистного на первой и второй пробных площадях характеризуется положительными правосторонней симметрией и эксцессом (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели распределения клена остролистного и дуба черешчатого в ползащитной полосе по высоте

Порода	Коэффициент асимметрии (As)	Коэффициент эксцесса (Ek)	W-критерий Шапиро–Уилка
<i>Первая пробная площадь</i>			
<i>Acer platanoides</i> L.	0,973	0,206	0,905
<i>Quercus robur</i> L.	–2,026	3,044	0,754
<i>Вторая пробная площадь</i>			
<i>Acer platanoides</i> L.	1,699	1,275	0,455
<i>Quercus robur</i> L.	1,388	0,374	0,823

Для клена остролистного значение коэффициента асимметрии (A_s) на первой пробной площади составляет 0,973, на второй – 1,699. Такая асимметрия свидетельствует, о том, что большая часть деревьев характеризуется высотами выше средних, т. е. происходит смещение в сторону больших значений признака. Наиболее выраженная островершинность отмечена при распределении клена остролистного по высоте на второй пробной площади ($E_k = 1,275$).

Коэффициент асимметрии древостоя дуба черешчатого на обеих пробных площадях по знаку и численному значению неодинаков: на первой площади – левосторонний отрицательный ($A_s = -2,026$), на второй – правосторонний положительный ($A_s = 1,388$). Наибольшее количество деревьев дуба черешчатого с модальной высотой на первой пробной площади отмечено в интервале 24...28 м, а на второй – 17...21 м. Значение коэффициента эксцесса древостоев дуба черешчатого наибольшее на первой пробной площади – 3,044.

Коэффициенты асимметрии и эксцесса являются критериями проверки только на симметричность и не могут служить подтверждением нормальности распределения, поэтому был проведен дополнительный анализ распределения деревьев по высоте [14]. Кривые распределения древостоев клена остролистного по высоте на первой и второй пробных площадях не соответствуют кривым нормального распределения для насаждений, что подтверждает и W -критерий Шапиро–Уилка – 0,905 и 0,455 соответственно (при $p = 0,05$, $W = 0,842$, $n = 10$). Тогда как кривая распределения древостоев дуба черешчатого по высоте на второй пробной площади приближается к показателю W -критерия Шапиро–Уилка для нормальных насаждений и составляет 0,823 (при $p = 0,05$, $n = 10$), на первой пробной площади она отклоняется от нормальной и значение W -критерия Шапиро–Уилка составляет 0,754.

В целях улучшения произрастания дуба черешчатого в данном насаждении необходимо осуществлять комплекс следующих мероприятий: проводить вырубку подлеска и поросли сопутствующих пород вокруг взрослых деревьев дуба; постоянно вести мониторинг за вредоносными заболеваниями грибкового и бактериального происхождений; периодически производить реконструкцию насаждения для выведения дуба в первый ярус.

Выводы

1. Таксационная средняя высота (графическая высота), установленная по графику распределения высот, для древостоя клена остролистного на первой пробной площади составляет 13,0 м, на второй – 14,9 м, для древостоев дуба черешчатого – соответственно 22,6 м и 17,9 м.

2. Древостой клена остролистного на первой и второй пробных площадях характеризуется положительной правосторонней симметрией и положительным эксцессом.

3. Коэффициент асимметрии древостоя дуба черешчатого на обеих пробных площадях по знаку и численному значению неодинаков: на первой пробной площади – левосторонний отрицательный ($A_s = -2,026$), на второй – правосторонний положительный ($A_s = 1,388$). Значение коэффициента эксцесса древостоев дуба черешчатого наибольшее на первой пробной площади – 3,044.

4. Кривая распределения древостоев клена остролистного по высоте на первой и второй пробных площадях не соответствует кривой нормального

распределения для насаждений, что подтверждает и W-критерий Шапиро–Уилка – 0,905 и 0,455 соответственно (при $p = 0,05$, $W = 0,842$, $n = 10$).

5. Кривая распределения древостоев дуба черешчатого по высоте на второй пробной площади приближается к показателю W-критерия Шапиро–Уилка для нормальных насаждений при $p = 0,05$ и составляет 0,823 (при $p = 0,05$, $n = 10$).

6. Данные по распределению деревьев дуба черешчатого и клена остролистного по высоте в изучаемой полевосадовой полосе могут использоваться аграриями Станично-Луганского района (Украина) для проведения реконструкции лесополос, созданных в этом регионе, и повышения урожайности зерновых и эфиромасличных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Багинский В.Ф., Лапицкая О.В. Биометрия в лесном хозяйстве: Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. 416 с. [Baginskiy V.F., Lapitskaya O.V. *Biometrics in Forestry*. Gomel, GSU Publ., 2011. 416 p.].

2. Грибачева О.В., Чернодубов А.И., Сотников Д.В. Динамика рангового распределения деревьев по высоте в полевосадовой полосе с участием дуба черешчатого и клена остролистного // Лесотехн. журн. 2020. № 1(37). С. 15–25. [Gribacheva O.V., Chernodubov A.I., Sotnikov D.V. Dynamics of Height Range Distribution of Trees in the Forest Shelter Belt with Participation of English Oak (*Quercus robur* L.) and Norway Maple (*Acer platanoides* L.). *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2020. no. 1(37), pp. 15–25]. DOI: [10.34220/issn.2222-7962/2020.1/2](https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.1/2)

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov B.A. *Field Experiment Procedure (with the Basics of Statistical Processing of Research Results)*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p.].

4. Каган Д.И., Ковалевич О.А., Сердюкова К.С. Оценка роста деревьев дуба черешчатого в лесосеменных плантациях Брестского ГПЛХО // Тр. БГТУ. 2015. № 1(174). С. 133–136. [Kogan D.I., Kovalevich O.A., Serdyukova K.S. Assessment of Tree Growth of Pedunculate Oak in Seed Orchards of the Brest State Forestry Production Association. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1(174), pp. 133–136].

5. Лемешко Б.Ю. Критерии проверки отклонения распределения от нормального закона: рук-во по применению. Новосибирск: НГТУ, 2014. 192 с. [Lemeshko B.Yu. *Testing Criteria for the Distribution Deviation from the Normal Distribution Law: Application Manual*. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 192 p.].

6. Лепехин А.А., Петров П.Г. К оценке роста и лесопатологического состояния дуба после изреживания полевосадовых лесополос рубками ухода // Изв. вузов. Лесн. журн. 1987. № 4. С. 16–20. [Lepekhin A.A., Petrov P.G. On the Assessment of Growth and Forest Pathology Condition of Oak after Improvement Thinning of Shelter Belts. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1987, no. 4, pp. 16–20]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1987/%E2%84%964-1987.pdf>

7. Логгинов Б.И. Агроресурсоформирующее районирование Украинской ССР. Киев: Госсельхозиздат УССР, 1991. С. 307–319. [Logginov B.I. *Agroforestry Zoning of the Ukrainian SSR*. Kiev, Gossel'khozizdat USSR Publ., 1991, pp. 307–319].

8. ОСТ 56–69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза, 1984. 50 с. [Industrial Standard. OST 56–69–83. *Forest Management Trial Areas. Method of Laying out*. Moscow, TsBNTI Gosleskhoza Publ., 1984. 50 p.].

9. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 620 с. [Ramenskiy L.G. *Introduction to the Integrated Soil-Geobotanical Research of Lands*. Moscow, Selkhozgiz Publ., 1938. 620 p.].

10. Сауткина М.Ю., Кузнецова Н.Ф., Тунякин В.Д. Современное состояние по-
лезазщитных лесных полос с преобладанием дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в
Каменной Степи // Лесохоз. информ. 2018. № 1. С. 78–89. [Sautkina M., Kuznetsova N.,
Tunjakin V. Current State of Forest Shelter Belts with Predominance of English Oak (*Quer-
cus robur* L.) of the Stone Steppe. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry infor-
mation], 2018, no. 1, pp. 78–89]. DOI: [10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.07](https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.07)
11. Сортиментные таблицы для таксации молодняков и средневозрастных дре-
востоев / отв. за вып. А.А. Строчинский. Киев: Изд-во УСХА, 1993. 464 с. [Assortment
Tables for Valuation of Young and Middle-Aged Stands. Responsible for release A.A.
Strochinskiy. Kiev, USKhA Publ., 1993. 464 p.]
12. Турусов В.И., Лепехин А.А., Чеканышкин А.С. Опыт лесной мелиорации
степных ландшафтов. Каменная Степь; Воронеж: Истоки, 2017. 228 с. [Turusov V.I.,
Lepekhin A.A., Chekanyshkin A.S. *Experience in Forest Reclamation of Steppe Land-
scapes*. Voronezh, Istoki Publ., 2017. 228 p.]
13. Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Тищенко В.В., Годунов С.И., Ялманов И.В.
Агроэкологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов. Каменная
Степь; М.: Тип. Россельхозакадемии, 2012. 191 с. [Turusov V.I., Chekanyshkin A.S.,
Tishchenko V.V., Godunov S.I., Yalmanov I.V. *Agroecological Role of Forest Belts in
Landscape Transformation*. Moscow, Tipografiya Rossel'khozakademii, 2012. 191 p.]
14. Чеканышкин А.С., Лепехин А.А. Состояние защитного лесоразведения в Цен-
трально-Черноземной зоне // Изв. вузов. Лесн. журн. 2015. № 4. С. 9–17. [Chekanyshkin
A.S., Lepyohin A.A. Condition of Protective Afforestation in Central Black Earth Territories.
Lesnoy Zhurnal [Russian Forestry Journal], 2015, no. 4, pp. 9–17]. DOI: [10.17238/issn0536-
1036.2015.4.9](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2015.4.9), URL: [http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/03f/chekanishkin_condition_of_pro-
tective_afforestation-.pdf](http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/03f/chekanishkin_condition_of_pro-
tective_afforestation-.pdf)
15. Чеканышкин А.С., Черенкова Г.П. Об улучшении качества по-
лезазщитных лесных полос // Лесн. хоз-во. 2004. № 2. С. 35–36. [Chekanyshkin A.S., Cherenkova G.P.
On the Quality Improvement of Shelter Belts. *Lesnoye khozyaystvo*, 2004, no. 2, pp. 35–36].
16. Шанин С.С. Строение сосновых и лиственничных древостоев Сибири. М.:
Лесн. пром-сть, 1965. 107 с. [Shanin S.S. *The Structure of Pine and Larch Stands in Sibe-
ria*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1965. 107 p.]
17. Bao Y., Li H., Zhao H. Effect of Shelterbelts on Winter Wheat Yields in Sanded
Farmland of North-Western Shandong Province, China. *Journal of Food, Agriculture and
Environment*, 2012, vol. 10, iss. 3-4, pp. 1399–1403. DOI: [10.1234/4.2012.3695](https://doi.org/10.1234/4.2012.3695)
18. Brenner A.J. Microclimatic Modifications in Agroforestry. *Tree-Crop Interac-
tions: A Physiological Approach*. Ed. by P.A. Huxley, C.K. Ong. Wallingford, CABI, 1996,
pp. 159–187.
19. Burke S. Effect of Shelterbelts on Crop Yields at Rutherglen, Victoria. *The Role
of Trees in Sustainable Agriculture. Proceedings of a National Conference*. Albury, NSW,
September 30 – October 3, 1991. Canberra, ACT, 1991, pp. 88–99.
20. Coates K.D. Tree Recruitment in Gaps of Various Size, Clearcuts and Undis-
turbed Mixed Forest of Interior British Columbia, Canada. *Forest Ecology and Manage-
ment*, 2002, vol. 155, iss. 1-3, pp. 387–398. DOI: [10.1016/S0378-1127\(01\)00574-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00574-6)
21. Jackson J.E. Tree and Crop Selection and Management to Optimize Overall Sys-
tem Productivity, Especially Light Utilization, in Agroforestry. *Meteorology and Agrofor-
estry. Proceedings of an International Workshop on the Application of Meteorology to Ag-
roforestry Systems Planning and Management, Nairobi, Kenya, February 9–13, 1987*. Nai-
robi, ICRAF, 1989, pp. 163–173.
22. Magnussen S., Smith V.G., Yeatman C.W. Tree Size, Biomass, and Volume
Growth of Twelve 34-Year-Old Ontario Jack Pine Provenances. *Canadian Journal of Forest
Research*, 1985, vol. 15, no. 6, pp. 1129–1136. DOI: [10.1139/x85-183](https://doi.org/10.1139/x85-183)

**DISTRIBUTION OF ENGLISH OAK (*Quercus robur* L.)
AND NORWAY MAPLE (*Acer platanoides* L.)
WITH HEIGHT IN A SHELTERBELT**

O.V. Gribacheva¹, Candidate of Biology, Assoc. Prof., Head of the Department;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5428-143X>

A.I. Chernodubov², Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [AAS-8110-2020](https://orcid.org/0000-0001-9195-8895),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9195-8895>

¹Lugansk National Agrarian University, gorodok LNAU-1, Lugansk, 91008, Lugansk People's Republic, Ukraine; e-mail: olesya_kopaneva_78@mail.ru

²Voronezh State University of Forestry named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: chernodubov2010@yandex.ru

The organizing framework of adaptive landscape agriculture is protective afforestation. The study of the shelterbelt state is necessary for detection of their protective height due to the dramatically changing climatic conditions. The research purpose is to carry out the distribution of trees of English oak (*Quercus robur* L.) and Norway maple (*Acer platanoides* L.) with height for the stand structure evaluation, as well as to propose the measures for the condition improvement of English oak. The shelterbelt, the spatial structure of which was studied, is located in the vicinity of the village of Zolotarevka (65 km from the city of Lugansk). Archival data on the creation time and age of the studied forest shelterbelt were not revealed. Shelterbelts in the Lugansk region were created in accordance with the "Great Plan for the Transformation of Nature", which was designed for 1949–1965. Sampling areas were laid out in accordance with the industrial standard OST 56-69-83. The composition of the shelterbelt, the diameter and average height of the trees were determined based on the results of enumerative valuation. The coefficients of skewness and kurtosis of stands of the studied species were calculated by the standard methods of biometrics. The distribution of Norway maple and English oak trees with height was checked with the normal distribution of trees in the plantation according to the Shapiro-Wilk test. The authors revealed that arithmetic and valuation mean heights of the stands of English oak and Norway maple on two permanent sampling areas differ slightly. It was found that the stand of Norway maple on the first and second sampling areas is characterized by positive right-side symmetry and positive kurtosis. Analyzing the stand condition, it is arguable that the coefficient of skewness of the English Oak stand on both areas is not the same in sign and numerical value: on the first sampling area – left-side negative ($As = -2.026$) and on the second – right-side positive ($As = 0.973$). The authors pay particular attention to the fact that the value of the coefficient of kurtosis of the English Oak stands is the highest on the first sampling area – 3.044. On the basis of the Shapiro-Wilk test it is shown that the curve of distribution of the Norway maple stands with height on the first and second sampling areas does not correspond to the normal distribution curve for the plantations. While the curve of distribution of the English Oak stands with height on the second sampling area is close to the indicator of the Shapiro-Wilk test for normal stands and is 0.823 (for $p = 0.05$, $W = 0.842$, $n = 10$).

For citation: Gribacheva O.V., Chernodubov A.I. Distribution of English Oak (*Quercus robur* L.) and Norway Maple (*Acer platanoides* L.) with Height in a Shelterbelt. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 111–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-111-119

Keywords: shelterbelt, *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., tree stand, average diameter, arithmetic mean height, valuation mean height, coefficient of skewness, coefficient of kurtosis, Shapiro-Wilk test.

Поступила 16.10.19 / Received on October 16, 2019

УДК 631.445.12(470.11)

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-120-131

**ПИГМЕНТНЫЙ СОСТАВ *Sphagnum fuscum* ЗАБОЛОЧЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

С.Б. Селянина¹, канд. техн. наук, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [AAG-4781-2019](https://orcid.org/0000-0003-0829-7518),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-7518>

В.Г. Татаринцева¹, аспирант, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAH-8581-2019](https://orcid.org/0000-0001-6499-9202),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6499-9202>

И.Н. Зубов¹, канд. хим. наук, ст. науч. сотр.; ResearcherID: [G-5351-2011](https://orcid.org/0000-0003-3037-2449),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3037-2449>

Н.А. Кутакова², канд. техн. наук, доц.; Researcher ID: [T-1150-2019](https://orcid.org/0000-0001-8195-2115),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8195-2115>

Т.И. Пономарева¹, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAG-4731-2019](https://orcid.org/0000-0001-7981-8072),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7981-8072>

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаврёрова УрО РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: gumin@fciarctic.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.kutakova@narfu.ru

Среди заболоченных территорий материковой части Севера России преобладают выпуклые сфагновые олиготрофные болота. Изучение реакции мохового покрова на рост техногенной нагрузки позволяет выявить смещение экологического равновесия в болотных экосистемах. Цель исследования состоит в выявлении изменений пигментного аппарата мохового покрова при осушении, дорожном строительстве и добыче полезных ископаемых на примере заболоченных территорий Архангельской области. В качестве основного объекта для изучения пигментного состава фотосинтезирующего аппарата использовали *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. При сравнении пигментов мха *S. fuscum* на ненарушенном Иласском болотном массиве и мелиорированном болотном массиве «Овечь» установлено изменение компонентного состава пигментов при осушении болот: содержание каротиноидов снижается, хлорофилла *a* – увеличивается. Влияние транспортной нагрузки исследовали на открытом заболоченном участке в Мезенском р-не, где отсутствует древесно-кустарниковый ярус. В непосредственной близости от дороги (34 м) наблюдается смена доминирующих видов в мохово-лишайниковом ярусе болота – проективное покрытие сфагновых мхов снижается до уровня менее 10 %, в доминанты выходят бриевые мхи. По мере удаленности от грунтовых автомагистралей содержание всех анализируемых пигментов в образцах мха увеличивается, особенно суммы хлорофиллов (>5 раз при удалении на 100 м и более). В качестве примера техногенного воздействия добывающего предприятия использованы терриконы отработанных пород Ломоносовского ГОК ПАО «Севералмаз», с которых происходит эоловый перенос пылевых частиц породы, содержащей сапонит. Вблизи источника загрязнения содержание суммы пигментов мха заметно ниже, чем на участке, защищенном лесополосой. В составе пигментного комплекса обнаружено снижение доли хлорофиллов *a* и *b* при некотором увеличении содержания каротиноидов. Изменения обусловлены переносом сапонита – глинистого минерала, активно поглощающего воду. Повышенное увлажнение обеспечивает благоприятные условия вегетации мхов, что смягчает негативное влияние загрязнителей на пигментный аппарат растений. Установлено, что изменение состава пигментов отражает адаптацию растений в экосистемах к неблагоприятным воздействиям и антропогенному прессингу.

Для цитирования: Селянина С.Б., Татаринцева В.Г., Зубов И.Н., Кутакова Н.А., Пономарева Т.И. Пигментный состав *Sphagnum fuscum* заболоченных территорий в условиях техногенного воздействия // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 120–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-120-131

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы № АААА-А18-118012390224-1 и РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-60151 (Арктика) и № 18-05-70087 (Ресурсы Арктики).

Ключевые слова: хлорофилл, каротиноиды, *Sphagnum fuscum*, освоение заболоченных северных территорий.

Введение

Освоение природных ресурсов Севера – одно из приоритетных направлений развития России [13]. При этом стратегическая цель состоит не только в увеличении вклада Арктической зоны в экономику, но и повышении качества жизни местного населения, сохранении и обеспечении защиты природной среды [6]. Реализация крупных проектов этого региона в совокупности со строительством и модернизацией транспортной инфраструктуры [3] может существенно влиять на состояние природных комплексов.

Степень заболоченности на материковой части Арктической зоны Российской Федерации достигает 34 % [10]. На данной территории преобладают выпуклые сфагновые олиготрофные болота [7]. В Архангельской области к такому типу можно отнести до 80 % болотных массивов [11]. Для верховых дистрофных болот Южно-Прибалтийской болотной провинции, заболоченной на 60...80 %, характерен грядово-мочажинно-озерковый тип микроландшафтов с хорошо развитым сфагновым моховым покровом и достаточно однородными по ботаническому составу торфяными залежами глубиной 4...7 м [2].

Биосферные функции болотных экосистем, их вклад в сохранение экологического равновесия как на локальном (региональном), так и на мировом уровне [18–22] определяют важность изучения их возможной реакции на рост техногенной нагрузки, неизбежный в современных экономических условиях. Многообразие функций болот в биосфере обеспечивают протекающие в них процессы, обусловленные вегетацией болотной растительности и биогеотрансформацией органического вещества при торфонакоплении. Логично ожидать, что специфика биосинтеза, с одной стороны, определяет свойства растительного покрова и продуктов его распада, с другой – достаточно чутко реагирует на изменение природной среды, в том числе в результате техногенного воздействия. На примере Западной Сибири показано [8, 9], что температурный и гидрологический режим среды обитания оказывает заметное влияние на состав липидной части бриофлоры. Авторами [1] выявлен рост накопления пигментов у исследованных болотных растений в результате осушения, что они связывают с уменьшением переувлажненности почвы и сокращением поступления солнечного света под полог к растениям мохово-лишайникового яруса.

В иностранных источниках применительно к болотным экосистемам арктических и приарктических территорий наиболее подробно рассмотрены вопросы гидро- и аэропереноса поллютантов [16, 17], влияние пожаров [19] и засухи [20] на удерживающую способность торфа. В России (за исключением геоботанических описаний) внимание исследователей уделяется в основном болотам, расположенным в Карелии и Западной Сибири, а также в средней полосе России. Учитывая тренд на интенсивное освоение северных террито-

рий, их высокую степень заболоченности и тот факт, что природные условия прежде всего влияют на процесс фотосинтеза, представляется важным рассмотреть, как он меняется в результате техногенных воздействий.

Цель исследования – выявление изменений пигментного аппарата мохового покрова при осушении, дорожном строительстве и добыче полезных ископаемых на примере заболоченных территорий Архангельской области.

Объекты и методы исследования

В качестве основного объекта для изучения пигментного аппарата использовали *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr., который доминирует на всех исследуемых площадках. Пробы отбирали в хорошую погоду утром в период вегетации (середина июля–начало августа 2019 г.), упаковывали в герметично закрывающиеся пакеты и светонепроницаемые термоконтейнеры. Пробы анализировали в течение суток с момента отбора.

Площадками для изучения выбраны выпуклые олиготрофные болота с разной степенью техногенной нагрузки в нескольких районах Архангельской области. Эти болотные образования относятся к Южно-Прибеломорской болотной провинции субокеанических болот.

В Приморском районе исследования проводили на стационаре Северного управления гидрометеослужбы – ненарушенном Иласском болотном массиве, входящем в сложную систему болотных массивов в понижении междуречья рек Брусовица, Шухта и Бабья (64°19'43" N, 40°36'45" E). Пробная площадь заложена в центре гряды высотой 50...60 см и шириной 3,0...3,5 м грядово-мочажинного комплекса на центральном плато массива. Древесный ярус представлен редкими деревцами *Pinus sylvestris* L., растительность – сосново-кустарничково-сфагновым сообществом с преобладанием *S. fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. (проективное покрытие до 90 %). Мощность торфяной залежи более 4,0 м, торф однородный сфагновый. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень болотных вод – на глубине 30 см.

Там же, в зоне особо ценных притундровых лесов, исследовали болотный массив, примыкающий к терриконам Ломоносовского ГОК ПАО «Севералмаз». Данный массив испытывает техногенную нагрузку в виде эоловых переносов пылевых частиц сапонитсодержащего материала с терриконов. Пробная площадь заложена на границе гряды и мочажины сглаженного грядово-мочажинным микрорельефом небольшого олиготрофного болотного массива (65°18'46.7"N, 41°04'04.7"E). Древесный ярус представлен редкими деревцами *Pinus sylvestris* L., растительность – сосново-кустарничково-моховым сообществом с преобладанием бриевых видов мхов на грядах и сфагновых мхов (в мочажинах преимущественно *S. magellanicum* Brid, в пограничных зонах – *S. fuscum*). Мощность торфяной залежи не более 1,5 м, торф однородный сфагновый. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень болотных вод подходит к поверхности.

В Холмогорском районе исследования проводили в болотном массиве «Овечье» (64°07'53.0"N, 41°35'10.7"E), расположенном на удалении 50 км от Иласского массива. В период с 1962 по 1970 г. на нем осуществлялись мелиоративные работы: территорию покрыли сетью открытых дренажных магистральных и карстовых каналов глубиной от 1,0 до 1,5 м на расстоянии от 60 до 210 м. Массив «Овечье» относится к балансовым месторождениям площадью менее 300 га в границе промышленной глубины торфяной залежи (0,7 м) с

наличием действующей осушительной сети. В естественном состоянии (на период исследований 1961 г.) болотный массив являлся типичным южно-прибеломорским олиготрофным образованием [15]. Пробная площадь заложена на гряде высотой до 20 см бывшего грядово-мочажинного комплекса в центре межканального пространства. Древесный ярус представлен сосново-березовым древостоем с сомкнутостью крон 0,2–0,3, растительное сообщество выбранного участка гряды относится к сосново-кустарничково-сфагновому типу. В мохово-лишайниковом ярусе преобладают сфагновые мхи (проективное покрытие *S. fuscum*. – до 30 %), однако из-за осушения отмечается повышенное развитие зеленых и печеночных мхов. Мощность торфяной залежи колеблется от 0,7 до 4,0 м, залежь сложена в основном медиум-торфом с преобладанием *S. magellanicum* Brid. Подстилающие породы – моренные пески, супеси и суглинки. Уровень болотных вод подходит к поверхности.

В Мезенском районе исследовали болотный массив, через центральную часть которого проходит грунтовая дорога круглогодичного действия (65°23'29.0"N, 44°08'25.6"E). Преобладающий рельеф массива – грядово-мочажинный с грядами до 30 см высотой и до 1,0 м шириной. Пробные площади заложены по трансекте перпендикулярно дорожному полотну на грядах, параллельных дороге, и на удалении от нее на 34, 80 и 140 м. Древесный ярус – единичные деревца *Pinus sylvestris* L., в мохово-лишайниковом ярусе доминируют сфагновые мхи (с участием *S. fuscum* – до 40 %). Мощность торфяной залежи не более 1,5 м, залежь однородная и сложена слаборазложившимися сфагновыми мхами с примесью травянистых растений. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Болотные воды подходят к поверхности.

Влажность и содержание пигментов (хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды) в пробах определяли фотометрическим методом без их разделения согласно [4] (с некоторыми изменениями) в течение суток с момента отбора проб.

Навеску растительного сырья массой от 1,0 до 1,5 г с точностью до $\pm 0,0002$ г помещали в маленькую ступку, добавляли небольшое количество (на кончике скальпеля) $MgCO_3$ и 4...5 мл 80 %-го ацетона и тщательно растирали. Полученную смесь количественно переносили в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводили до метки 80 %-м ацетоном. Смесь настаивали 15 мин при комнатной температуре и отфильтровывали через бумажный фильтр. Концентрацию пигментов в полученной ацетоновой вытяжке определяли на спектрофотометре UV-1800 («Shimadzu»). Запись спектров проводили в диапазоне 700...400 нм относительно 80 %-го ацетона. Максимум поглощения для хлорофилла *a* определяли при длине волны $\lambda = 665,0$ нм ($D_{665,0}$), для хлорофилла *b* – при $\lambda = 649,0$ нм ($D_{649,0}$), для каротиноидов – при $\lambda = 440,5$ нм ($D_{440,5}$). Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* (мг/л) в вытяжке рассчитывали по формуле Вернона с учетом коэффициентов экстинкции, полученных для 80 %-го ацетона:

$$C_a = 11,63D_{665,0} - 2,39D_{649,0};$$

$$C_b = 20,11D_{649,0} - 5,18D_{665,0};$$

$$C_{(a+b)} = 6,45D_{665,0} + 17,72D_{649,0},$$

где C_a , C_b – концентрация хлорофиллов *a* и *b*, мг/л; $C_{(a+b)}$ – суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* в растворе, мг/л.

Для определения концентрации каротиноидов ($C_{кар}$, мг/л) в суммарной вытяжке пигментов с учетом погрешности из-за присутствия хлорофиллов использовали формулу Веттштейна:

$$C_{\text{кар}} = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{(a+b)}.$$

Содержание пигментов в исследуемом материале (A , мг/г абсолютно сухого растительного материала (а. с. м.)) с учетом объема вытяжки и навески пробы рассчитывали по следующей формуле:

$$A = VC / (P \cdot 1000),$$

где C (C_a , C_b , $C_{(a+b)}$, $C_{\text{кар}}$) – концентрация пигментов, мг/л; V – объем вытяжки, мл (25 мл); P – навеска а.с.м., г.

Результаты исследования и их обсуждение

Освоение заболоченных территорий требует, прежде всего, их осушения, поэтому первый этап исследования сориентирован на оценку изменений пигментного аппарата мохового покрова в результате мелиоративных работ. Для изучения влияния осушения были выбраны расположенные достаточно близко друг от друга однотипные участки сходных болотных массивов – грядово-мочажинный комплекс ненарушенного Иласского болотного массива и осушенное болото «Овечье». Объект исследования (*S. fuscum*) является доминирующим на территории Иласского болота (проективное покрытие до 90 %) и одним из преобладающих на болоте «Овечье» (проективное покрытие до 30 %). Все образцы были отобраны на открытых освещенных территориях, чтобы исключить вклад различий в освещенность из числа факторов, влияющих на формирование пигментного комплекса. Результаты определения влажности и фотосинтетических пигментов в образцах приведены в таблице.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов (мкг/г а.с.м.) в *S. fuscum* в зависимости от осушения

Болото	Влажность, %	Хлорофилл			Каротиноиды	Сумма пигментов
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>		
Овечье	85,0±0,3	<u>55...168</u> 115	<u>37...95</u> 66	<u>92...263</u> 181	<u>59...92</u> 75	<u>152...355</u> 256
Иласское	88,5±0,1	<u>86...107</u> 93	<u>64...74</u> 70	<u>150...181</u> 164	<u>73...109</u> 90	<u>223...269</u> 253

Примечание: В числителе приведен массив значений, в знаменателе – среднее значение.

Из представленных данных видно, что суммарное содержание фотосинтетических пигментов *S. fuscum* после осушения болота варьируется в более широких пределах, чем в естественных условиях, хотя средние величины для двух участков близки между собой. Массовая доля отдельных пигментов в исследованных образцах мелиорированного участка также демонстрирует значительно больший разброс значений, чем в случае ненарушенного. Можно отметить ряд различий в составе пигментного комплекса. Содержание каротиноидов в *S. fuscum* на Иласском болоте в среднем достигает 90 мкг/г, их доля – до 40 % от суммы пигментов, тогда как на болоте «Овечье» их содержание заметно ниже, а доля не превышает 30 %. В отношении содержания хлорофилла *a* и суммы хлорофиллов (*a + b*) наблюдается обратная тенденция.

В литературе влияние осушения на особенности синтеза пигментов болотными растениями связывают как напрямую с изменением режима водного питания, так и с затененностью, вызванной интенсивным развитием древесного яруса на осушенных территориях. В частности, в [1] отмечен рост содержания пигментов у большинства видов болотных растений, в наибольшей

степени (в 2,9–3,1 раза) – у сфагнума (*S. magellanicum*). Аналогичные тенденции выявлены авторами [8, 9] при исследовании верховых болот Беларуси (рост содержания фотосинтетических пигментов в 8,9 раза в ряду естественные < осушенные < восстановленные), тогда как в условиях Западной Сибири они не прослеживаются.

Отсутствие подобных четко выраженных зависимостей у объектов нашего исследования, по-видимому, связано с тем, что образцы были отобраны на открытой местности с максимальным доступом солнечного света. Возможно, именно этот фактор вносит основной вклад в формирование фотосинтетического пигментного комплекса. Вместе с тем большой разброс полученных значений на осушенном участке указывает на значимый вклад гидрологических условий.

Выявленные колебания в содержании и составе пигментов можно интерпретировать следующим образом: одна часть растений опытной площадки находится в оптимальных условиях, другая – в стрессовых для данного вида условиях из-за недостаточного увлажнения. После мелиоративных мероприятий болотный массив не использовался, постепенно произошло частичное нарушение дренажной системы, в результате чего в настоящее время на отдельных участках протекают процессы обратного заболачивания. Таким образом, комплекс фотосинтетических пигментов сфагновых мхов достаточно чутко реагирует не только на изменения в освещенности, но и на водный режим места обитания.

Помимо светового и гидрологического факторов процесс биосинтеза способен откликаться и на загрязнение различными поллютантами. Северные территории России ввиду малой заселенности и удаленности от крупных промышленных узлов считаются экологически чистыми. При этом возможно поступление загрязняющих веществ путем атмосферного переноса от отдаленных промышленных предприятий, которое проявляется в адсорбции мхами этих соединений [17]. Влияние таких воздействий на пигментный аппарат достаточно сложно проследить и корректно интерпретировать. Более удобны для этого расположенные в непосредственной близости от осваиваемых заболоченных территорий локальные источники загрязнений, в частности автомобильные дороги. Это важно ввиду того, что освоение новых территорий неизбежно связано со строительством и эксплуатацией транспортной инфраструктуры.

Влияние транспортной нагрузки исследовали на открытом заболоченном участке в Мезенском р-не, где отсутствует древесно-кустарниковый ярус. Следует отметить, что в непосредственной близости от дороги (34 м) наблюдается смена доминирующих видов в мохово-лишайниковом ярусе болота – проективное покрытие сфагновых мхов снижается до уровня менее 10 %, а в доминанты выходят бриевые мхи. Возможно, это связано с повышением минерализации верхних слоев залежи за счет поступления минеральных частиц с дороги, а также с некоторым изменением уровня болотных вод вблизи искусственного водоема – отсыпки дорожного полотна.

На рис. 1 приведены результаты измерения содержания фотосинтетических пигментов в зависимости от удаления источника загрязнения – автодороги.

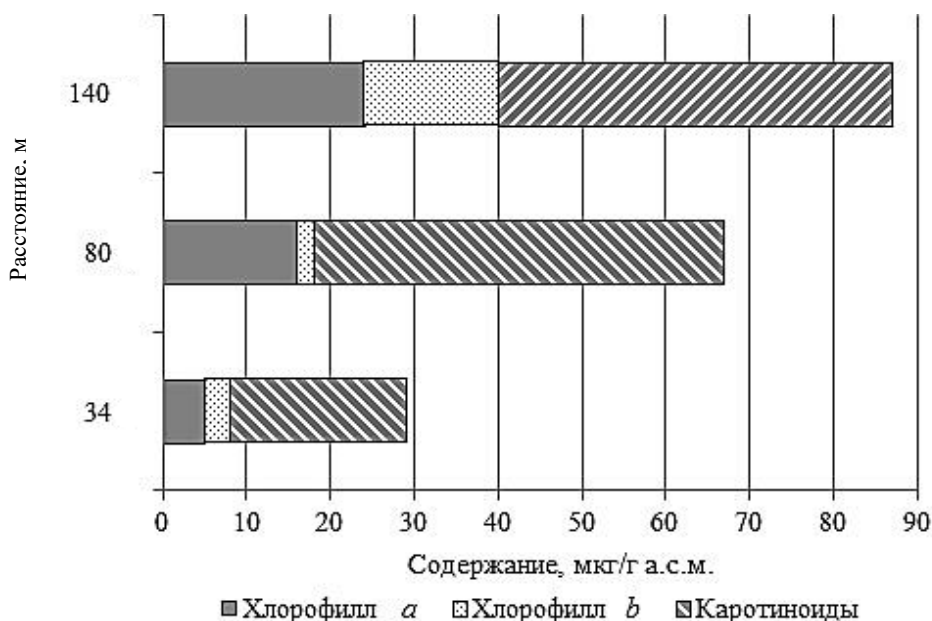


Рис. 1. Содержание основных фотосинтетических пигментов во мхах в зависимости от расстояния от автодороги (Мезенский р-н)

Fig. 1. The content of the main photosynthetic pigments in mosses depending on the distance from the road (Mezen district)

При удалении от автодороги наблюдается увеличение содержания пигментов в 3 раза. Наиболее интенсивные изменения претерпевают хлорофиллы, общее содержание которых возрастает в 5 раз (с 8 до 40 мкг/г а.с.м.), причем повышение хлорофилла *a* происходит постепенно, а хлорофилла *b* – скачкообразно. На рис. 1 видно, что интенсивный синтез хлорофилла *b* начинается на большем удалении от дороги (более 80 м), что может быть связано с высокой чувствительностью этого пигмента к загрязнениям воздушной среды. Содержание каротиноидов при удалении от дороги на 80 м увеличивается в 2,3 раза (по сравнению с 34 м), достигает 50 мкг/г а.с.м. и далее меняется незначительно.

В литературе нет единого мнения о механизмах воздействия загрязнителей на пигментный аппарат растений, однако многие исследователи отмечают значительное влияние атмосферных загрязнений на синтез хлорофиллов и каротиноидов. Считается, что адаптация к стрессовым условиям неодинаково протекает у различных видов растений и зависит от непосредственной близости источника эмиссии [12]. Выявленные зависимости хорошо согласуются с [14], где на примере древесных и травянистых растений показано, что с ростом аэротехногенного загрязнения наблюдается уменьшение содержания общего фонда фотосинтетических пигментов по сравнению с фоновыми условиями, изменяется соотношение их спектральных форм, а также отношение суммы хлорофиллов к сумме каротиноидов.

Известно, что при торможении биосинтеза снижается содержание зеленых пигментов [5]. По-видимому, поступление фитотоксичных веществ в процессе эксплуатации грунтовых дорог инициирует процессы адаптации растительных организмов, направленные на сохранение относительного рав-

новесия фотосинтетического аппарата, при этом меняется содержание пигментов в фотосинтетических мембранах и в их составе происходит перераспределение в сторону относительного преобладания каротиноидов.

Локальные загрязнения болотных природных комплексов наблюдаются и при разработке месторождений полезных ископаемых северных регионов. В данном исследовании в качестве примера техногенного воздействия добывающего предприятия послужил Ломоносовский ГОК ПАО «Севералмаз».

Опытные площадки выбраны на различной удаленности от террикона отработанных пород. Установлено, что золовый перенос пылевых частиц породы оказывает загрязняющее влияние на болотные экосистемы. Первый участок (образцы 3М и 3Г) располагается в зоне прямой видимости террикона (0,3 км), на нем отмечены следы пылевых наносов сапонита. Второй участок удален от первого на расстояние 1,2 км (1,5 км от террикона, образцы 6М и 6Г), перенос пылевых частиц экранируется перемышкой леса, разделяющей исследуемые болотные участки. Образцы отличаются по степени увлажнения, так как отобраны на мочажине, в местах повышенной влажности (М), или на гряде, на относительно сухих возвышениях (Г). Экспериментальные данные представлены на рис. 2.

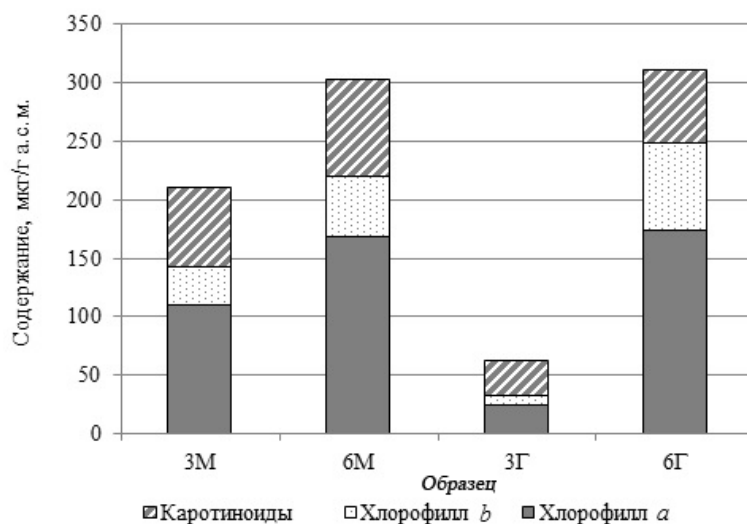


Рис. 2. Содержание основных фотосинтетических пигментов в *S. fuscum* в зоне воздействия переноса пылевых частиц при добыче полезных ископаемых на удалении 0,3 км (3М и 3Г) и 1,5 км (6М и 6Г) от террикона; М – площадки с повышенной влажностью; Г – площадки с пониженной влажностью

Fig. 2. The content of the main photosynthetic pigments in *S. fuscum* silt in the impact area of the transfer of silt particles during mining operations at a distance of: 0.3 km (3М and 3Г); 1.5 km from the terricone (6М and 6Г); М – plots with high humidity; Г – relatively dry plots

Таким образом, вблизи источника загрязнения содержание суммы пигментов заметно ниже, чем на участке, защищенном лесополосой, в особенности по сравнению с местами на повышенных элементах рельефа. При этом наблюдается перестройка и в составе пигментного комплекса – снижение доли хлорофиллов а и b при некотором увеличении содержания кароти-

ноидов. Эти тенденции более ярко проявляются на относительно сухих участках – 3Г и 6Г. Так как сапонит – глинистый минерал, активно поглощающий воду, можно предположить, что именно фактор увлажнения сфагнумов играет ключевую роль в процессе синтеза пигментов.

Полученные результаты подтверждают высказанное ранее мнение о существенном вкладе водного режима в формирование пигментного комплекса. Повышенное увлажнение обеспечивает более благоприятные условия вегетации мхов, что смягчает негативное влияние поллютантов на пигментный аппарат растительных организмов. При удалении от отвала содержание хлорофилла *a* в точках 6М и 6Г практически одинаково, в то время как хлорофилл *b* активнее синтезируется на возвышении.

Заключение

Изменение пигментного аппарата мохового покрова заболоченных территорий в зависимости от мелиоративных работ, удаленности от крупных грунтовых магистралей и запыленности отработанными грунтами при добыче полезных ископаемых отражает адаптацию растений в экосистемах к неблагоприятным воздействиям и антропогенному прессингу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н. Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового // Изв. вузов. Лесн. журн. 2009. № 4. С. 24–32. [Zarubina L.V., Kononov V.N. Seasonal Dynamics' Peculiarities of Leaves' Pigments in Fruticulose-sphagnum Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 24–32]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/02f/02f40dbdf312a4d7c8cdfd4c18706dc.pdf>
2. Кузнецов О.Л., Юрковская Т.К. Болотные экосистемы бассейна Белого моря. Геология морей и океанов: материалы XVIII междунар. науч. конф. (школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2009. С. 190–194. [Kuznetsov O.L., Yurkovskaya T.K. White Sea Basin Wetlands. *Geology of the Seas and Oceans: Proceedings of the 18th International and Scientific Conference (School) in Marine Geology*. Vol. 3. Moscow, GEOS Publ., 2009, pp. 190–194].
3. Об экспертном и общественном обсуждении Стратегии развития Арктической зоны РФ до 2035 года. Режим доступа: <http://goarctic.ru/news/ob-ekspertnom-i-obshchestvennom-obsuzhdenii-strategii-razvitiya-arkticheskoy-zony-rf-do-2035-goda/> (дата обращения: 19.11.19). [On Expert and Public Discussion of the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation until 2035].
4. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наук. думка, 1976. 336 с. [Pochinok Kh.N. *Methods for Biochemical Analysis of Plants*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1976. 336 p.].
5. Растения в условиях химического загрязнения окружающей среды // Лес и экология. 2012. Режим доступа: <http://les-pitomnik.ru/vliyaniye-zagryazneniy-na-rasteniya/> (дата обращения: 29.03.13). [Plants under Chemical Pollution. *Forest and Ecology*. 2012].
6. Роль Арктики в развитии России будет возрастать // М-во Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. Режим доступа: <https://minvr.gov.ru/press-center/news/23697/> (дата обращения: 29.10.19). [The Role of the Arctic in the Development of Russia will Increase. Ministry for the Development of the Russian Far East and Arctic].
7. Росреестр. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. Режим доступа: <https://rosreestr.ru/site/eservices/> (дата обращения: 09.12.19). [Rosreestr. Federal Service of State Registration, Cadastre and Cartography].
8. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Русских И.В. Особенности состава липидов сфагновых и бриевых мхов из различных природно-климатических зон //

Химия растит. сырья. 2019. № 3. С. 225–234. [Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Russkikh I.V. Features of Lipid Composition of Sphagnum and True Mosses from Various Natural Climatic Zones. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of plant raw materials], 2019, no. 3, pp. 225–234]. DOI: [10.14258/jcprm.2019034558](https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034558)

9. Серебренникова О.В., Стрельникова Е.Б., Дучко М.А., Аверина Н.Г., Козел Н.В. Оценка функционального состояния болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири на основе анализа состава торфяных битумов // Химия в интересах устойчивого развития. 2015. № 4. С. 367–377. [Serebrennikova O.V., Strel'nikova E.B., Duchko M.A., Averina N.G., Kozel N.V. Evaluation of the Functional State of Marsh Ecosystems in Belarus and in West Siberia on the Basis of Analysis of Peat Bitumen Composition. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2015, no. 4, pp. 367–377]. DOI: [10.15372/KhUR20150406](https://doi.org/10.15372/KhUR20150406)

10. Сирин А.А., Маркина А.В., Минаева Т.Ю. Заболоченность Арктической зоны России // Болотные экосистемы Северо-Востока Европы и проблемы экологической реставрации: материалы междунар. полевого симп. (Инта–Сыктывкар–Нарьян-Мар, 22 июля–4 авг. 2017 г.). Сыктывкар, 2017. С. 16–22. [Sirin A.A., Markina A.V., Minayeva T.Yu. Russian Arctic Wetlands. *North-East Europe's Wetland Ecosystems and Issues of Ecological Restoration: Proceedings of the International Field Symposium (Inta – Syktyvkar – Naryan-Mar, July 24 – August 4, 2017)*. Syktyvkar, 2017, pp. 16–22].

11. Соколов О.М., Ивко В.Р. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование. Архангельск: РИО АГТУ, 2000. 37 с. [Sokolov O.M., Ivko V.R. *Peat Resources of the Arkhangelsk Region and Their Use*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2000. 37 p.].

12. Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // Экология. 2009. № 4. С. 243–248. [Tuzhilkina V.V. Response of the Pigment System of Conifers to Long-Term Industrial Air Pollution. *Ekologia* [Russian Journal of Ecology], 2009, no. 4, pp. 243–248]. DOI: [10.1134/S1067413609040018](https://doi.org/10.1134/S1067413609040018)

13. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Режим доступа: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201805070038.pdf> (дата обращения: 09.12.19). [Presidential Executive Order No. 204 Dated May 7, 2018 “On National Goals and Strategic Objectives of the Russian Federation through to 2024”].

14. Чупахина Г.Н., Масленников П.В., Скрыпник Л.Н., Бессережнова М.И. Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2012. № 2(18). С. 171–185. [Chupahina G.N., Maslennikov P.V., Skrypnik L.N., Besserezhnova M.I. Reaction of Pigmental and Antioxidant Systems of Plant on Environmental Pollution of Kaliningrad by Motor Transport Emission. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Journal of Biology], 2012, no. 2(18), pp. 171–185].

15. Шорин Н.А., Лапшин В.М. Материалы детальной разведки торфяного месторождения «Овечь» Холмогорского района Архангельской области. ПИИГипроторфразведка, Горьков. отд., 1961. 56 с. [Shorin N.A., Lapshin V.M. *Materials of Detailed Exploration of the Peat Deposit “Ovech’ye” of the Kholmogory District, Arkhangelsk Region*. PIIGi protorfrazvedka, Gor’kovskoye otdeleniye Publ., 1961. 56 p.].

16. Barrett S.E., Watmough S.A. Factors Controlling Peat Chemistry and Vegetation Composition in Sudbury Peatlands after 30 Years of Pollution Emission Reductions. *Environmental Pollution*, 2015, vol. 206, pp. 122–132. DOI: [10.1016/j.envpol.2015.06.021](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.021)

17. González A.G., Jimenez-Villacorta F., Beike A.K., Reski R., Adamo P., Pokrovsky O.S. Chemical and Structural Characterization of Copper Adsorbed on Mosses (Bryophyta). *Journal of Hazardous Materials*, 2016, vol. 308, pp. 343–354. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2016.01.060](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.01.060)

18. Kimmel K., Mander Ü. Ecosystem Services of Peatlands: Implications for Restoration. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 2010, vol. 34, iss. 4, pp. 491–514. DOI: [10.1177/0309133310365595](https://doi.org/10.1177/0309133310365595)
19. Rosenburgh A., Alday J.G., Harris M.P.K., Allen K.A., Connor L., Blackbird S.J. et al. Changes in Peat Chemical Properties during Post-Fire Succession on Blanket Bog Moorland. *Geoderma*, 2013, vol. 211–212, pp. 98–106. DOI: [10.1016/j.geoderma.2013.07.012](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.012)
20. Souter L., Watmough S.A. The Impact of Drought and Air Pollution on Metal Profiles in Peat Cores. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 541, pp. 1031–1040. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.09.137](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.137)
21. Vaasma T., Karu H., Kiisk M., Pensa M., Isakar K., Realo E. et al. Pb-210 and Fly Ash Particles in Ombrotrophic Peat Bogs as Indicators of Industrial Emissions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, vol. 174, pp. 78–86. DOI: [10.1016/j.jenvrad.2016.07.027](https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.07.027)
22. Yu Z.C. Northern Peatland Carbon Stocks and Dynamics: A Review. *Biogeosciences*, 2012, vol. 9, iss. 10, pp. 4071–4085. DOI: [10.5194/bg-9-4071-2012](https://doi.org/10.5194/bg-9-4071-2012)

PIGMENT COMPOSITION OF *Sphagnum fuscum* OF WETLANDS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT

S.B. Selyanina¹, Candidate of Engineering, Leading Research Scientist; ResearcherID: [AAG-4781-2019](https://orcid.org/0000-0003-0829-7518), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-7518>

V.G. Tatarintseva¹, Postgraduate Student, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAH-8581-2019](https://orcid.org/0000-0001-6499-9202), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6499-9202>

I.N. Zubov¹, Candidate of Chemistry, Senior Research Scientist; ResearcherID: [G-5351-2011](https://orcid.org/0000-0003-3037-2449), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3037-2449>

N.A. Kutakova², Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; Researcher ID: [T-1150-2019](https://orcid.org/0000-0001-8195-2115), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8195-2115>

T.I. Ponomareva¹, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAG-4731-2019](https://orcid.org/0000-0001-7981-8072), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7981-8072>

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, UB RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: gumin@fciarctic.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.kutakova@narfu.ru

Oligotrophic bogs prevail among wetlands in the mainland of the North of Russia. The study of the moss cover response to the increase in anthropogenic load makes it possible to reveal a shift in the ecological balance of bog ecosystems. The goal of the research is to reveal changes in the pigment apparatus of the moss cover under drainage, road construction and mining operation as in the case of the Arkhangelsk region. *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. was used as the main object for studying the pigment composition of the photosynthetic apparatus. A change in the pigment composition during the drainage of bogs was found when comparing the pigments of *S. fuscum* moss on the undisturbed Ilas bog massif and the drained bog massif “Ovechye”; the content of carotenoids decreases and the content of chlorophyll *a* increases. The influence of the traffic load was studied in an open wetland of the Mezen district, where there is no tree-shrub layer. Succession of dominant species is observed in the moss-lichen layer of the bog in the immediate vicinity of the road (34 m); the projective cover of sphagnum mosses decreases to less than 10 %, and brie mosses emerge as dominants. The content of all analyzed pigments in moss samples increases with the distance from unpaved roads, especially the content of chlorophylls (>5 times at a distance of 100 m and more). As an example of the anthropogenic impact of a mining enter-

prise, we used terricones of the Lomonosov Mining and Processing Plant, PJSC Severalmaz, from which aeolian transport of dust particles of rocks containing saponite occurs. Near the pollution source, the content of total moss pigments is noticeably lower than in the area protected by a forest belt. A decrease in the proportion of chlorophylls *a* and *b* with a slight increase in the content of carotenoids was found in the pigment complex. The changes are due to the transfer of saponite; a clay mineral that actively absorbs water. The increased moisture provides favorable conditions for the moss vegetation, which mitigates the negative effect of pollutants on the pigment apparatus of plants. Overall, pigments content change represents plants adaptation to the adverse impacts and anthropogenic pressing.

For citation: Selyanina S.B., Tatarintseva V.G., Zubov I.N., Kutakova N.A., Ponomareva T.I. Pigment Composition of *Sphagnum fuscum* of Wetlands under Anthropogenic Impact. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 120–131. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-120-131

Funding: The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the research topic No. AAAA-A18-118012390224-1 and the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the research projects No. 18-05-60151 (Arctic) and No. 18-05-70087 (Resources of the Arctic).

Keywords: chlorophyll, carotenoids, sphagnum, water-logged northern territories and their development.

Поступила 09.12.19 / Received on December 9, 2019



УДК 339.13.017:630*36

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-132-147

ОСОБЕННОСТИ РОССИЙСКОГО РЫНКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

М.А. Пискунов, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [AAC-7150-2019](https://orcid.org/0000-0001-5445-5957),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5445-5957>

Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: piskunov_mp@list.ru

Лесопромышленный комплекс России формирует привлекательный рынок лесозаготовительной техники, однако позиции российских производителей на нем крайне слабы. С учетом данных из открытых источников представлен краткий анализ текущего состояния этого рынка, отмечены его особенности в сравнении с секторами дорожно-строительных и сельскохозяйственных машин. На российском рынке доминируют три компании: John Deere, Ponsse, Komatsu. Большая часть закупаемой техники приходится на машины для сортиментной технологии. Объем рынка новых машин составляет: 330–420 форвардеров, 165–300 харвестеров, 30–40 валочно-пакетирующих машин и столько же скиддеров. В процессе укрепления положения иностранных компаний в России следует выделить две волны: первая – поставки техники и развитие зарубежных брендов на фоне еще достаточно заметных позиций российских производителей; вторая – поглощение предприятий, сформировавших сбытовую сеть и получивших известность, диверсифицированными транснациональными корпорациями. Основные стратегии компаний-лидеров – экспорт техники в Россию и развитие сервисной сети. Компании не переходят на другой уровень, связанный с открытием производственных площадок или совместных производств по выпуску лесозаготовительных машин. Российский рынок характеризуется отсутствием сильного отечественного производителя, готового активно участвовать в процессах импортозамещения. Место такого производителя в России начинает занимать белорусский холдинг «Амкор». Приобретение новых импортных машин могут себе позволить крупные и очень крупные лесозаготовительные компании. Основные производственные площадки, производители и поставщики машин находятся в Финляндии, Швеции, США, Канаде. Для поддержки лесного машиностроения, кроме апробированных в других отраслях экономических мер стимулирования, предлагается: организовать в ряде лесных регионов нашей страны работу научных лесотехнических центров на основе частно-государственного партнерства с участием крупных вертикально-интегрированных лесопромышленных холдингов; стимулировать создание отечественных отраслевых информационных технологий для лесозаготовительного производства; инициировать партнерство с компаниями из Китайской Народной Республики для запуска производства лесозаготовительных машин нового поколения.

Для цитирования: Пискунов М.А. Особенности российского рынка лесозаготовительной техники // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 132–147. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-132-147

Ключевые слова: лесозаготовительная техника, лесная промышленность, лесопромышленный холдинг, валочно-пакетирующая машина, скиддер, харвестер, форвардер, машины для сортиментной и хлыстовой технологий.

Лесная промышленность Российской Федерации (РФ) является важной отраслью экономики страны и занимает ведущие позиции в общемировом масштабе. Статистические данные [19] свидетельствуют о том, что Россия входит в пятерку стран как по общим объемам лесозаготовок, так и по объемам производства делового круглого леса (весь круглый лес, используемый для любых целей, кроме энергетики). По общим объемам лесозаготовок российская лесная промышленность занимает пятое место в мире. Объем лесозаготовок в 2016 г. составил 214 млн м³; в 2017 г. – 212 млн м³; в 2018 г. – 228 млн м³. Россия является лидером по экспорту делового круглого леса с объемами поставок 20 млн м³ в 2016 г. и более 18 млн м³ в 2018 г., а также занимает третье место по внутреннему потреблению круглого леса – 9 % от общемирового масштаба.

Производство необработанных лесоматериалов в РФ выросло с 117,3 млн плотн. м³ в 2010 г. до 149,1 млн плотн. м³ в 2018 г. [13]. Предполагается дальнейший рост объемов заготовок. Так, в Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г., в качестве целевого показателя уровня заготовки леса указывается объем в 286,1 млн м³ [12]. По сравнению с текущими показателями планируется рост на 20 %. В среднем каждый год увеличение объемов заготовки должно составлять 5,5...6 млн м³.

Занимая важное место в общемировом производстве круглых материалов, лесная промышленность России представляет интерес и как отрасль, формирующая привлекательный рынок для лесозаготовительной техники и технологий.

Функционирование рынка лесозаготовительной техники в нашей стране с начала 1990-х гг., при сравнении с другими отраслевыми рынками технологических машин, имеет общие черты, связанные с вхождением в отрасль транснациональных корпораций (ТНК) и постепенным замещением машин российского (советского) производства оборудованием зарубежных компаний, и обладает своими особенностями.

В связи с реализуемым руководством России курсом по импортозамещению, выполнение разнообразных исследовательских работ, связанных с анализом функционирования и выделением особенностей рынков технологических машин в наиболее импортозависимых отраслях, представляется актуальной задачей.

Цель исследования – выделить особенности российского рынка лесозаготовительных машин, сравнив пути снижения зависимости от импорта в дорожно-строительной и сельскохозяйственной отраслях, где существуют ощутимые успехи в этом направлении, и в сегменте техники для заготовки древесины, где ситуация по импортозамещению сложнее.

Основные задачи заключаются в определении:

- какое место на рынке занимают российские производители лесозаготовительной техники;
- за счет каких технологий и машинами каких компаний будет обеспечиваться производство лесозаготовительных работ до 2030 г.;
- какое положение занимают ТНК на рынке лесозаготовительных машин в России и какие основные стратегии используют эти компании для работы на рынке;
- какие особенности стратегий ТНК существуют в секторе лесозаготовительных машин по сравнению с отдельными секторами рынка дорожно-

строительных и сельскохозяйственных машин и какие особенности отмечаются в поведении крупных российских машиностроительных компаний в этих областях.

В качестве основных методов исследования использованы анализ, систематизация, сравнение и обобщение данных, взятых из открытых источников информации, научных статей, экспертных оценок, высказанных на конференциях и других дискуссионных площадках, открытых статистических отчетов, исторических справок и информационных сообщений компаний.

Существует две базовые технологии лесосечных работ: хлыстовая и сортиментная. Для каждой технологии выпускаются свои системы машин, которые можно разделить на две группы. К первой группе относят полностью механизированные системы. Хлыстовая технология реализуется системой «валочно-пакетирующая машина – скиддер – сучкорезная машина или процессор», сортиментная технология – системой «харвестер – форвардер». Вторая группа систем – это хлыстовая или сортиментная технология с использованием ручного труда.

Основными российскими поставщиками лесозаготовительной техники являются ООО «Лестехком», ООО «Алтайлесмаш», ООО «Гранд», ООО «АЗСМ «Прогресс». В основном эти предприятия выпускают гусеничные трактора.

В 2012 г., по данным Союза машиностроителей России [14], произведено следующее количество лесозаготовительных машин: ООО «Онежский тракторный завод» (ОТЗ) – 78 шт.; ОАО «Абаканский опытно-механический завод» (АОМЗ) – 76 шт.; ОАО «Красноярский завод лесного машиностроения» – 43 шт.; ООО «Лестехком» (валочно-пакетирующие машины) – 9 шт. В первом полугодии 2016 г., по данным ОАО «АСМ-холдинг» [16], количество выпущенных машин составило: ОТЗ – 8 шт.; АОМЗ – 2 шт.; ООО «Лестехком» – 2 шт. Для ОАО «Красноярский завод лесного машиностроения» в 2014 г. завершен процесс переноса производства тракторов на ОТЗ.

Кроме этого, в первом полугодии 2015 г. ООО «Алтайлесмаш» произвело 43 трактора, а уже в первом полугодии следующего года – всего 18 машин. Также ООО «Гранд» выпустило в первом полугодии 2016 г. 2 трелевочных трактора, а за аналогичный период 2015 г. – 6 машин [16].

В 2017 г. ОТЗ несколько нарастил объемы производства, но за период с января по ноябрь выпустил только 17 машин [2]. В 2018 г. предприятие объявлено банкротом. Промышленная площадка завода приобретена белорусским холдингом «Амкодор».

Основной объем произведенных лесозаготовительных тракторов на российских предприятиях приходится на выпуск моделей простых конструкций низкой ценовой категории, предназначенных для хлыстовой технологии лесозаготовительных работ.

Если в 2012 г. выручка (нетто) от продажи российской продукции в секторе машин для лесного хозяйства составила 2,11 млрд р., то уже в 2015 г. – всего 90 млн р. [3].

В 2013 г. общий объем продаж лесозаготовительной техники российских производителей был менее 6 % от общего объема внутрироссийского рынка. На долю сортиментной заготовки в России приходится 74 %, из которых 47 % – с использованием чокерных и бесчокерных тракторов. К 2014 г. доля лесозаготовительных работ с использованием харвестеров и форварде-

ров в России составляла 53 % от всей сортиментной заготовки. Но серийное производство харвестеров и форвардеров российскими производителями не создано [10].

Аналогичные выводы по поводу лесозаготовительных машин представлены и в Стратегии развития лесного комплекса. Наиболее перспективными машинами для импортозамещения являются харвестеры и форвардеры [12]. В этом же источнике приводится оценка затрат на приобретение машин для выборочных рубок на освоенных лесных территориях, где планируется переход на интенсивную модель лесопользования. Следует ожидать, что основная технология, которая будет применяться на выборочных рубках, – это технология с использованием харвестеров и форвардеров.

Импорт лесозаготовительных машин в Россию в период с 2012 по 2018 г., с некоторыми исключениями, стабильно растет. По данным таможенной статистики РФ в период с 2012 по 2018 г. включительно (табл. 1) в разделе «Машины и оборудование для лесного хозяйства: машины валочные, валочно-пакетирующие, многооперационные, новые и с момента выпуска которых прошло не более 3 лет» средний рост импорта (без учета Республики Беларусь) составляет чуть более 20 % в год. Большая часть машин импортирована из Финляндии – от 40 до 80 % и Швеции – от 7 до 30 % в зависимости от года.

Импорт в категории валочных, валочно-пакетирующих, многооперационных машин из США и Канады в период с 2012 по 2018 г. также показывает некоторый рост, и в стоимостном выражении, и в штучном, хотя не столь ощутимый, как, например, из Финляндии (табл. 2).

За этот же период в той же категории машин, но с момента выпуска которых прошло более 3 лет, картина выглядит иначе (табл. 3). Если в 2012 г. ввезено 100 машин, то в 2016 г. – 3, в 2018 г. – 5. Сведение импорта поддержанных машин почти к нулю свидетельствует о том, что в России сформировался собственный вторичный рынок лесозаготовительной техники.

Общий первичный рынок импортных новых лесозаготовительных машин в категории валочных, валочно-пакетирующих, многооперационных машин, куда входят и харвестеры, можно оценить в пределах 100...140 млн долл.

Таблица 1

Объем импорта валочных, валочно-пакетирующих, многооперационных машин, с момента выпуска которых прошло менее 3 лет

Год	Общий импорт (без учета Республики Беларусь)		Финляндия		Швеция	
	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.
2012	219	84 425 334	90	37 669 388	42	14 705 269
2013	188	71 398 169	88	36 173 918	60	17 393 395
2014	223	84 894 223	130	51 620 924	17	6 019 970
2015	134	48 274 205	82	29 560 111	17	5 000 487
2016	184	62 732 679	147	49 752 504	18	6 403 205
2017	296	107 045 020	177	66 587 908	55	19 693 877
2018	386	139 342 398	297	114 951 944	15	5 502 925

Таблица 2

Объем импорта валочных, валочно-пакетирующих, многооперационных машин, с момента выпуска которых прошло менее 3 лет, из США и Канады

Год	США		Канада	
	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.
2012	45	17 928 541	28	11 742 783
2013	19	7 287 288	13	3 944 502
2014	38	13 990 728	24	7 981 222
2015	13	4 704 147	15	7 182 760
2016	10	3 734 188	5	1 796 837
2017	43	16 101 525	9	2 221 937
2018	43	12 482 764	17	4 231 304

Таблица 3

Объем импорта валочных, валочно-пакетирующих, многооперационных машин, с момента выпуска которых прошло более 3 лет

Год	Общий импорт (без учета Республики Беларусь)		Финляндия		Швеция	
	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.
2012	100	13 380 685	72	10 382 589	26	2 549 927
2013	97	13 719 303	74	10 342 767	22	3 188 007
2014	73	10 234 386	54	7 234 128	16	2 104 616
2015	41	4 493 514	34	4 026 150	6	418 164
2016	3	217 414	3	217 414	0	0
2017	6	273 716	5	179 008	1	94 708
2018	5	124 670	4	122 279	0	0

Таможенная статистика за период с 2012 по 2018 г. в категории трелевочных тракторов для лесного хозяйства (скиддеры), колесных, новых, с мощностью двигателя более 130 кВт (табл. 4) показывает, что для данных типов тракторов существует некоторая стабилизация импорта, что можно связать с уменьшением в лесозаготовительном процессе в России доли хлыстовой технологии. Тем не менее зарубежные машины названной категории в текущий период востребованы в количестве 25–30 шт. в год при объеме рынка в этом сегменте 5,5...6,0 млн долл. в год. Машины преимущественно импортируются из США и Канады.

Таблица 4

Объем импорта трелевочных тракторов для лесного хозяйства (скиддеры), колесных, новых, с мощностью двигателя более 130 кВт

Год	Общий импорт (без учета Республики Беларусь)		США		Канада	
	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.	Количество, шт.	Стоимость, долл.
2012	60	13 584 155	44	8 570 799	13	4 310 153
2013	25	4 610 759	20	3 348 238	0	0
2014	73	14 221 937	63	11 623 739	5	1 798 710
2015	12	3 321 356	8	1 724 714	4	1 596 642
2016	5	962 684	4	700 652	0	0
2017	30	6 522 511	29	6 235 154	1	287 357
2018	24	5 040 433	23	4 752 518	1	287 915

Крупными поставщиками лесозаготовительной техники в Россию являются компании Ponsse, John Deere Forestry, Komatsu Forest. В 2009 г. доля этих производителей в структуре импорта лесозаготовительных машин составляла около 74 %, в том числе: John Deere – 37 % от всего объема техники и 40 % в категории харвестеров и форвардеров; Ponsse – 24,5 % (30 % в данной категории машин); Komatsu (до 2009 г. – Valmet) – 12 % (15 % в названной категории машин) [15].

В 2014 г. доля этих компаний на российском рынке составила: John Deere (включая Timberjack) – 46 %, Ponsse – 22 %, Komatsu – 7 % [11].

Компания John Deere – транснациональная корпорация со штаб-квартирой в США, выпускающая кроме лесозаготовительной техники сельскохозяйственные, дорожно-строительные и другие машины и оборудование. По лесному направлению компания производит технику для хлыстовой и сортиментной технологий лесозаготовительных работ. Компания Ponsse (Финляндия) специализируется на выпуске машин только для сортиментной технологии. Компания Komatsu Forest входит в японскую корпорацию Komatsu, выпускающую также строительную, горную, складскую и другую технику. Головной офис Komatsu Forest находится в Швеции, где сосредоточены производства по выпуску харвестеров и форвардеров. В США у корпорации имеются производственные мощности для выпуска валочно-пакетирующих машин для хлыстовой технологии.

Компания John Deere Forestry Oy в 2017 г. поставила в нашу страну около 356 лесозаготовительных машин на 178 млн евро (219 млн долл.), что составляет 25 % от всех произведенных ею машин (в прежние годы – около 10 %) [24]. В Россию продаются дорогие машины средней и большой мощности.

Количество машин Ponsse, работающих в России, составило в 2015 г. 1150 шт. К 2020 г. компания прогнозирует увеличение российского парка до 1750 ед. [4], т. е. рассчитывает реализовывать в РФ в среднем не менее 120 машин в год. На нашем рынке наиболее востребованы машины среднего класса этого производителя. По оценкам, данным в конце 2014 г., российский рынок импортных лесозаготовительных машин Komatsu в категории харвестеров и форвардеров составил 350–400 ед. в год [1].

Ведущие позиции этих компаний подтверждает и количество их сервисных центров и представительств в России. По открытым данным, количество центров John Deere – более 80 (в том числе центры по обслуживанию сельскохозяйственной и дорожно-строительной техники, включая южные регионы России); Ponsse – 30; Komatsu – 20, только по лесозаготовительной технике, по строительным и горным машинам – более 50 по всем округам России.

Кроме данных трех компаний в России также встречаются следующие бренды: Rottne, Gremo, EcoLog, Logset, Sampo Rosenlew, Tigercat, TimberPro, HSM, Caterpillar. Их совокупная доля на российском рынке по сравнению с тройкой лидеров незначительна.

Важным производителем лесозаготовительной техники, который представлен на российском рынке, является компания из Республики Беларусь – ОАО «Амкодор». Компания производит харвестеры и форвардеры с импортным технологическим оборудованием, трансмиссией и гидросистемой. Несмотря на значительную долю импортных компонентов, по заявлениям пресс-службы компании [17], ОАО «Амкодор» с 2014 г. закрепилось на третьем месте в России, опередив Komatsu. Доля этой компании на нашем рынке составляет около 12 %, в категории форвардеров – 15 %.

Таким образом, если оценивать, что доля сортиментной технологии, реализуемая системой машин «харвестер – форвардер», в России выросла и достигла 50 % от общего объема заготовки, то общий объем рынка новых машин составляет в пределах 330–420 форвардеров и 165–300 харвестеров.

Цифры по харвестерам в общем согласуются с объемом рынка в денежном выражении 80...120 млн долл. (5,0...7,5 млрд р.), а по форвардерам – с данными по Швеции и Финляндии.

В Швеции за 2015–2017 гг. в среднем на каждые 300 тыс. м³ заготовки приходится покупка 1 нового форвардера (2015 г. – заготовлено 92,4 млн м³, приобретено 287 форвардеров; 2016 г. – 93,3 млн м³ и 300 форвардеров; 2017 г. – 93 млн м³ и 331 форвардер). В Финляндии в среднем на 210 тыс. м³ приходится покупка 1 нового харвестера, на 240 тыс. м³ – покупка 1 нового форвардера (2015 г. – заготовлено 58,5 млн м³, приобретено 238 форвардеров; 2016 г. – 57,7 млн м³ и 245 форвардеров; 2017 г. – 61,3 млн м³ и 262 форвардера; 2018 г. – 60,7 млн м³ и 237 форвардеров) [22, 23].

Годовая производительность форвардера, при числе смен 450 в год, может составлять 45...90 тыс. м³ в зависимости от расстояния трелевки и среднего объема хлыста; производительность харвестера – 55...100 тыс. м³ в зависимости от среднего объема хлыста [18]. Увеличение общих объемов лесозаготовок каждый год на 6,0 млн м³ (если весь объем будет обрабатываться системой машин «харвестер – форвардер») потребует в пределах от 70 до 135 форвардеров и от 60 до 110 харвестеров.

Количество закупаемых новых машин для механизированной хлыстовой технологии, скорее всего, останется в ближайшей перспективе примерно на уровне около 30–40 валочно-пакетирующих машин (12...15 млн долл.) и столько же скиддеров (6...8 млн долл.).

Доля хлыстовой технологии с применением чокерных и бесчокерных тракторов будет снижаться, также как и доля не полностью механизированной сортиментной заготовки. Место машин в этих технологиях, вероятно, будут занимать машины для сортиментной технологии с вторичного рынка или более дешевые машины ОАО «Амкордор».

Среднее количество объявлений на крупных интернет-площадках по продажам подержанной специальной техники составляет: форвардеры – 62 шт., в т. ч. John Deere (Timberjack) – 39 %, Ponsse – 20 %, Komatsu (Valmet) – 11 %; харвестеры – 69 шт., в т. ч. John Deere (Timberjack) – 29 %, Ponsse – 21 %, Komatsu (Valmet) – 12 %; валочно-пакетирующие машины – 26 шт., в т. ч. John Deere – 39 %, Tigercat – 17 %, Caterpillar – 14 %; машины российского производства – 9 %; прочие трелевочные трактора – 16 шт., в т. ч. John Deere – 24 %, Tigercat – 18 %, Caterpillar – 22 %; прочие трелевочные трактора российского производства – свыше 70 шт. Число объявлений представлено как среднее от ряда значений, зафиксированных в разные даты и на разных площадках.

Опираясь на эти цифры и данные таможенной статистики, оцениваем вторичный рынок: по системе машин «харвестер – форвардер» – 60–100 форвардеров и 70–100 харвестеров; по системе «валочно-пакетирующая машина – скиддер» – около 30 валочных машин и около 15 скиддеров в год.

Таким образом, общий объем рынка новых лесозаготовительных машин оценивается в 400...450 млн евро, с учетом роста объемов лесозаготовок – 500...550 млн евро, не учитывая рынок сервисных услуг и услуг по ремонту подержанной техники.

Для сравнения мировой рынок лесозаготовительной техники по оценкам Komatsu в 2016 г. составлял 4 млрд евро. Компания прогнозирует рост рынка до 2025 г. на 3,3 % в год. К 2025 г. общий объем по прогнозам должен достичь 5,3 млрд евро [25].

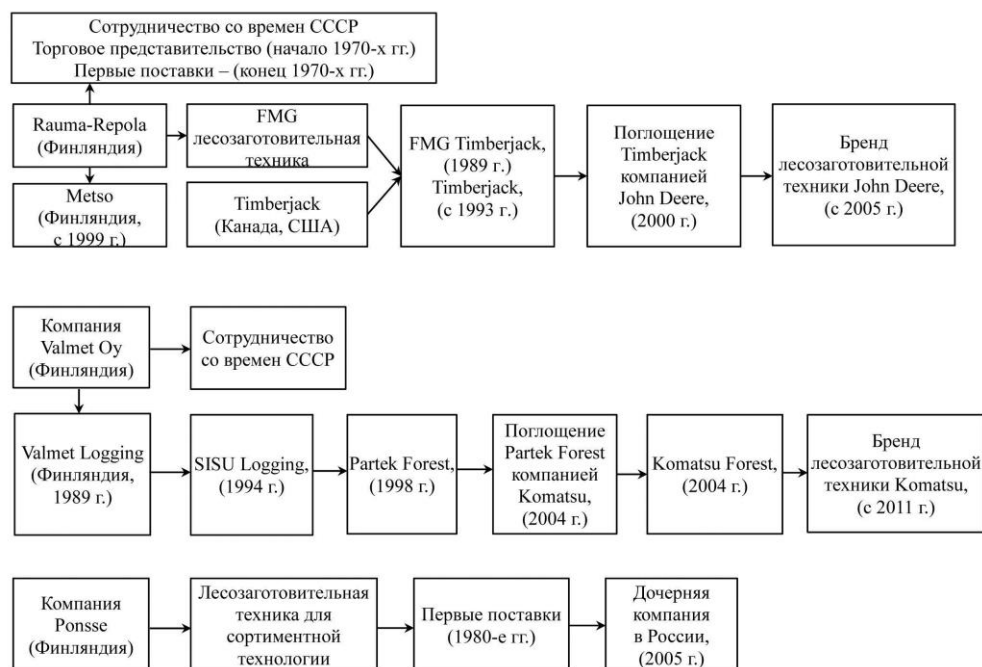
Объем продаж ведущих компаний:

Ponsse – продажи в 2019 г. составили 667,4 млн евро, в 2018 – 612,4 млн евро, в 2017 – 576,6 млн евро, в 2016 – 517,4 млн евро, в 2015 – 461,9 млн евро. Доля продаж компании в регион Россия–Азия в 2019 г. – 18,0 %, в 2018 – 22,5 %, в 2017 – 20,1 %, в 2016 – 14,7 %, в 2015 – 12,3 %. Доля экспорта в общем объеме продаж – 78,2 % [26];

Komatsu Forest (харвестеры и форвардеры) – общий мировой объем продаж в 2016 г. составил 473 млн евро [25];

John Deere – общий объем продаж в 2017 г. составил около 930 млн евро (1,10 млрд долл.) [20], в 2018 – 1,19 млрд евро (1,34 млрд долл.), в 2019 – 1,19 млрд евро (1,40 млрд долл.) [21].

Стратегии зарубежных компаний на рынке лесозаготовительных машин в России представлены на рисунке. Компании John Deere и Komatsu для выхода на рынок лесозаготовительной техники выбрали стратегию поглощения компаний, хорошо известных на момент поглощения и осуществлявших экспорт своих машин в нашу страну более 10 лет. Альтернативных стратегий (представленных [5] для похожего сегмента технологических машин) со стороны этих компаний в России в текущий период не предлагается. Компания Ponsse в качестве основной стратегии также применяет экспорт машин и развитие сервисной сети.



Стратегии зарубежных компаний на рынке лесозаготовительных машин в России

Foreign companies in the market of logging machines in Russia

Рассмотрим положение и стратегии ТНК на других, схожих рынках отраслевых машин: сельскохозяйственная техника в сегменте тракторов с мощностью двигателя выше 75 кВт, комбайнов, дорожно-строительная техника (гусеничные экскаваторы, автогрейдеры, бульдозеры).

В секторе сельскохозяйственных тракторов и комбайнов значимое место занимают диверсифицированные компании John Deere, Case New Holland Industrial и одноотраслевые Claas, AGCO, Same Deutz-Fahr [8].

Кроме экспорта машин и развития сбытовой сети в России компании используют такие стратегии, как: открытие совместных с российскими компаниями предприятий, в частности компания AGCO-RM – совместное предприятие AGCO и холдинга «Русские машины» (входит в группу «Базовый элемент»); открытие собственных производственных площадок, сборочных производств, заводов с более высоким уровнем локализации.

В данном секторе присутствуют российские компании, занимающие значимое место: Петербургский тракторный завод (30...40 % рынка по отдельным видам машин), Ростсельмаш, контролирующий до 70 % российского рынка комбайнов и обладающий самостоятельными стратегиями транснационализации (приобретение Buhler Industries Inc. (Канада) в 2007 г., промышленных площадок по производству опрыскивателей, оборудования для переработки зерна, техники для сева и почвообработки, прицепной и навесной техники).

Одно из ведущих мест на российском рынке сельскохозяйственных тракторов занимает ОАО «МТЗ» (Республика Беларусь). Основной сегмент – трактора с мощностью от 75 до 130 кВт. Общий объем тракторов ОАО «МТЗ», поставляемый в Россию в сегменте тракторов мощностью более 75 кВт, сопоставим с общим объемом импорта всех остальных брендов.

В сегменте гусеничных гидравлических экскаваторов также доминируют зарубежные компании. Лидирующие позиции на рынке России занимают: компании Caterpillar, Komatsu, Volvo, Hitachi, обладающие собственными производственными площадками в нашей стране [9]. К перечисленным добавим компании Hyundai Heavy Industries, Doosan Infracore (Республика Корея), JCB (Великобритания), осуществляющие только экспортные поставки в Россию. На эти компании в нашей стране приходится до 70 % импорта в данной категории машин.

Российские производители представлены компанией «Тверской экскаватор» (холдинг «Русские машины»), входящей в совместное предприятие с компанией Terex Corporation (США) – RM-Terex (с 2012 г.), а также компанией «Кранэкс», которая тесно сотрудничает с зарубежными компаниями в области гидросистем, силовых установок, ходовых систем.

В сегменте грейдеров ведущие позиции занимают уже упомянутые зарубежные компании Caterpillar, включающая китайский бренд Shandong Engineering Machinery (SEM), Komatsu, John Deere, Case New Holland, а также компания LiuGong (Китай). В данном сегменте эти компании осуществляют в основном экспорт машин в Россию. Имеются возможности сборки грейдеров на одной из производственных площадок у компании John Deere. Заметные российские производители – ООО «Завод «Дорожных машин», предприятия «Брянский арсенал» и «Челябинские строительно-дорожные машины», входящие в холдинг «Русские машины». Холдинг «Русские машины» и компания Terex Corporation (США) в 2012 г. организовали совместное предприятие.

Импорт грейдеров составляет около 30 %, российское производство – чуть выше 70 % от общего объема рынка.

Следующие компании осуществляют поставки техники в Россию в сегменте гусеничных бульдозеров: Caterpillar, Komatsu, John Deere, Case New Holland, Liebherr. Компания Liebherr (Германия, Швейцария) имеет собственное производство в России. Специализация производства – стальные конструкции для землеройных машин и башенных кранов, сборка башенных кранов. Отметим еще два бренда: Shantui (Weichai Holding Group) и Zoomlion (Китай). Доля импорта России, приходящаяся на машины перечисленных компаний, составляет 85 % от всего объема импорта в данной категории. Российские производители занимают 20...25 % от всего объема рынка. Основные российские производители – «ЧТЗ-Уралтрак», «ДСТ-Урал», «Промтрактор», «Челябинский завод промышленных тракторов».

Распределение в России арендаторов лесных участков в зависимости от ежегодного объема заготовки следующее: 52 % приходится на крупные (100...500 тыс. м³ в год – 32 %) и очень крупные предприятия (свыше 500 тыс. м³ – 20 %); 31 % – на средние (20...100 тыс. м³); 17 % – на мелкие (менее 20 тыс. м³) [12].

Финансовыми возможностями для приобретения новой техники ведущих компаний обладают крупные и очень крупные лесозаготовительные предприятия. Средние и мелкие предприятия (по мере выбытия изношенных и морально устаревших лесозаготовительных машин) ориентируются на поддержанные машины или на новые, но более дешевые по сравнению с зарубежными брендами машины компании «Амкодор».

Доминирующее положение в лесозаготовительной отрасли РФ занимает сортиментная технология. Для сортиментной технологии востребованы машины среднего и высокого тяговых классов. Машины среднего класса в основном эксплуатируются на европейской части России, машины высокого класса – в Сибири и на Дальнем Востоке.

Тяговым классам соответствуют следующие марки машин:

категория – харвестеры. Машины среднего класса: John Deere 1270G, John Deere 1470G (мощность двигателя – 200 кВт), Ponsse Ergo, Ponsse Scorpion (205 кВт), Komatsu 931 (185 кВт). Машины высокого класса: Ponsse Bear (240 кВт), Komatsu 951 (210 кВт);

категория – форвардеры. Машины среднего класса: John Deere 1210G (мощность двигателя – 156 кВт, грузоподъемность – 13 т), John Deere 1510G (185 кВт, 15 т), Ponsse Elk (150 кВт, 13 т), Ponsse Buffalo (205 кВт, 14–15 т), Komatsu 855 (170 кВт, 14 т), Komatsu 875 (185 кВт, 16 т). Машины высокого класса: John Deere 1910G (230 кВт, 19 т), Ponsse Elephant (205 кВт, 18–20 т), Komatsu 895 (210 кВт, 20 т).

Хлыстовая технология на базе гусеничных валочно-пакетирующих машин и скиддеров также находит свое применение, но, как правило, в условиях крупных и очень крупных предприятий с большими объемами заготовки. Применяются валочно-пакетирующие машины тяжелого класса: John Deere 953M (вес – 33,0 т, мощность – 246 кВт), John Deere 959M (37,7 т, 246 кВт), Komatsu XT465L-5 (33,0 т, 231 кВт). Машины среднего класса для лесосек с меньшим размером хлыста представлены моделями: John Deere 853M (вес – 30,7 т, мощность – 224 кВт), John Deere 859M (36,0 т, 224 кВт),

Komatsu XT430-3 (29,0 т, 224 кВт), Komatsu XT445L-3 (31,0 т, 224 кВт), Komatsu XT460L-3 (33,7 т, 224 кВт), TigerCat 855E (27,0...35,6 т, 210 кВт).

Производительность валочно-пакетирующей машины выше производительности харвестера в 3–6 раз в зависимости от природно-производственных факторов. Тогда доля сортиментной технологии по объему заготовки, осуществляемой только новыми машинами (система «харвестер и форвардер»), составляет 60...65 %; хлыстовой технологии (система «валочно-пакетирующая машина и скиддер») – 40...35 %.

Лесозаготовительные машины семейства «Амкодор» уступают по отдельным техническим характеристикам машинам, которые предлагают ведущие компании. Однако мелкими и средними лесозаготовительными предприятиями могут быть востребованы такие машины, как: харвестер «Амкодор 2551», форвардер «Амкодор 2682-01». При развитии промежуточных рубок и рубок ухода машины данных марок также могут занять определенное место на рынке.

Отличительные особенности рынка лесозаготовительных машин:

1. На рынке доминируют 3 компании. Две из них – диверсифицированные ТНК, которые заметно интегрированы в российскую экономику и осуществляют поставки техники и машин и для других отраслей – сельскохозяйственной, дорожно-строительной, горной.

2. Основная стратегия вхождения на рынок лесозаготовительной техники заключалась в поглощении этими ТНК отдельных отраслевых компаний, осуществлявших, в том числе, экспорт лесозаготовительных машин, сформировавших сбытовую сеть и известность своих брендов в России.

3. Компании-лидеры имеют давнюю историю работы с нашей страной. Первые поставки различных технологических машин осуществлялись еще во времена СССР.

4. В отличие от других отраслей, где или сохраняют свои позиции российские производители, или формируются крупные совместные диверсифицированные холдинги с известными мировыми брендами, на рассматриваемом рынке отсутствует самостоятельный сильный российский «игрок», который бы предлагал собственные разработки в сегменте лесозаготовительных машин, соответствующие современному уровню, организовывал бы совместные предприятия с ведущими корпорациями или обладал бы собственной глобальной стратегией развития.

5. Компании-лидеры на российском рынке лесозаготовительных машин не перешли к реализации следующего уровня стратегий – открытие собственных или совместных производств лесозаготовительных машин на территории России, хотя и обладают собственными производственными площадками по выпуску машин для других отраслей. В сельскохозяйственном и дорожно-строительном машиностроении производства с различным уровнем локализации уже существуют, в т. ч. благодаря государственным программам субсидирования.

6. На рынке лесозаготовительных машин не присутствуют компании из Китайской Народной Республики (КНР). Весь объем импорта направляется с производств, расположенных в европейских странах (в основном Финляндии, Швеции) и в Северной Америке (США, Канаде).

7. Можно выделить две волны транснационализации применительно к условиям России: первая – начало поставок машин в Россию и развитие зару-

бежных брендов (начало – середина 1990-х гг.); вторая – процессы слияний и поглощений (начало 2000-х гг.).

Первая волна была связана с переходом российских лесозаготовительных компаний на новую систему машин при еще значительном присутствии российских производителей на рынке лесозаготовительной техники. Во время второй волны зарубежные бренды получили известность и сформировали сбытовую и сервисную сеть, одновременно значительно снизились объемы производства на российских заводах лесного машиностроения.

Анализ состояния рынка лесозаготовительных машин показывает, что российские предприятия в текущий момент не могут оказывать серьезную конкуренцию мировым лидерам в этом секторе.

Машины российских производителей – гусеничные трелевочные трактора, концептуальные конструкции которых разработаны еще в середине прошлого века (и к текущему моменту эти конструкции прошли только некоторую модернизацию), скорее всего, будут занимать долю не более 5 % от общего рынка лесозаготовительных машин. Технологии, построенные на базе гусеничного чокерного или бесчокерного трактора с валкой деревьев бензопилами, отнесем к устаревшим, имеющим ограниченное применение только в специфических природно-производственных условиях.

Основные стратегии, которые используют ТНК для влияния на рынок в России – это экспорт машин и развитие сервисной сети. Эволюции стратегий в более сложные формы, такие как локализация производств в области лесного машиностроения или создание совместных производств с российскими предприятиями, не происходит. Новые машины, выпускаемые этими компаниями, можно отнести к машинам «премиум-класса», которые доступны крупным и очень крупным лесозаготовительным компаниям.

В силу ограниченности региональных рынков лесозаготовительных машин, сконцентрировать необходимое количество ресурсов для инвестиций в конкурентоспособные научные разработки, в пределах 40...80 млн евро в год, представляется возможным только для глобальных компаний.

В Российской газете сообщается о том, что предполагается внести корректировки в уже существующую Стратегию развития лесного комплекса РФ. В обновленной редакции планируется предусмотреть поддержку процессам импортозамещения техники для лесозаготовительной промышленности [7].

В связи с этим целесообразно обратить внимание на следующие меры, которые будут способствовать восстановлению лесного машиностроения в России:

1. Создание отраслевых научных центров с целью концентрации ресурсов для проведения актуальных целенаправленных НИОКР в области лесного машиностроения. Создание таких центров должно осуществляться на основе частно-государственного партнерства с финансовым участием крупных вертикально-интегрированных лесопромышленных холдингов в российских регионах, которые должны удовлетворять следующим условиям:

- регион должен относиться к так называемым лесным регионам, у которых лесозаготовительная промышленность является основной или одной из основных отраслей, на которых специализируется его экономика;

- территориально центр должен располагаться максимально близко к действующим лесозаготовительным предприятиям и обладать в своей струк-

туре испытательным полигоном, позволяющим апробировать перспективные лесозаготовительные технологии в реальных условиях производства;

- присутствие в регионе крупного лесопромышленного вертикально-интегрированного холдинга, сформировавшего долгосрочную стратегию развития лесопромышленного и деревоперерабатывающего производств в регионе присутствия;

- наличие системного лесотехнического образования с длительной историей существования в регионе и опыта проведения НИОКР в области лесозаготовительных машин и оборудования;

- наличие действующей производственной площадки по изготовлению лесозаготовительных машин и оборудования.

2. Субсидирование или льготное кредитование приобретения машин, произведенных предприятиями, которые имеют статус российского производителя, но с учетом того опыта, который был получен в ходе реализации мер государственной поддержки сельскохозяйственного машиностроения [6].

3. Развитие сотрудничества с альтернативными партнерами. В частности необходимо обратить внимание на сотрудничество с машиностроительными и лесопромышленными компаниями из КНР. Открытие новых или развитие уже существующих производственных площадок на территории России по выпуску современных лесозаготовительных машин с участием инвесторов из КНР представляется перспективным направлением в сложившейся ситуации зависимости от западных ТНК.

4. Стимулирование разработок отечественных отраслевых информационных технологий в направлении концепции «умная лесосека». Создание отечественных систем управления лесозаготовительным производством на основе современных возможностей информатизации и цифровизации технологических процессов определит стандарты, которые необходимо будет выдерживать при организации лесозаготовительного производства в России, и характеристики, которым должны будут соответствовать лесозаготовительные машины. Это, в свою очередь, откроет альтернативные направления по стимулированию бизнеса и воздействию на бизнес-структуры с целью развивать производства по выпуску лесозаготовительных машин и технологического оборудования нового поколения в нашей стране.

Таким образом, результаты, представленные в данной работе, могут быть использованы как при выборе стратегии развития отечественного лесного машиностроения и мер, направленных на его поддержку, так и для анализа различных аспектов функционирования зарубежных компаний, продвигающих на российский рынок лесозаготовительную технику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Авакумова А. Интервью гендиректора «Комацу СНГ» Хидэюки Такацуки // Лесн. индустрия. 2014. № 12 (80). С. 18–25. [Avakumova A. Interview with the President and COO of Komatsu CIS, LLC Hank (Hideyuki) Takatsuki. *Lesnaya industriya*, 2014, no. 12(80), pp. 18–25].

2. Автомобильная промышленность России. Краткий обзор деятельности предприятий // Аналитический обзор ОАО «АСМ-холдинг». 2017. № 7. 4 с. [Russian Automotive Industry. A Brief Overview of the Activities of Enterprises. *Analytical Review of ASM Holding*, ОАО. 2017, no. 7. 4 p.].

3. Бутов А.М. Рынок сельскохозяйственных машин. М.: НИУ ВШЭ, 2016. 68 с. [Butov A.M. *Market of Agricultural Machinery*. Moscow, HSE University Publ., 2016. 68 p.].
4. Главный экспортный рынок Ponsse // Ежеднев. бюл. выставки «Лесдревмаш-2016». Лесная Индустрия. Daily. 2016. № 4. С. 9. [Main Export Market Ponsse. *Ezhednevnyy byulleten' vystavki "Lesdrevmash-2016"*. *Lesnaya industriya. Daily*, 2016, no. 4, p. 9].
5. Капустина Л.М., Коровина Е.И. Тенденции транснационализации компаний на мировом рынке дорожно-строительной техники // Управленец. 2012. № 11–12(39–40). С. 62–67. [Kapustina L.M., Korovina Y.I. Transnationalization Trends in the Global Market of the Road Construction Equipment. *Upravlenets [The Manager]*, 2012, no. 11–12(39–40), pp. 62–67].
6. Коваленко Н.В., Чекунов А.С. Импортозамещение в отечественном сельхозмашиностроении как фактор повышения конкурентоспособности отрасли // Изв. ДВФУ. Экономика и управление. 2019. № 3. С. 67–88. [Kovalenko N.V., Chekunov A.S. Import Substitution in the Domestic Agricultural Machinery as a Factor in Increasing the Competitiveness of the Industry. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta Ekonomika i upravleniye [The bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management]*, 2019, no. 3, pp. 67–88]. DOI: [10.24866/2311-2271/2019-3/67-88](https://doi.org/10.24866/2311-2271/2019-3/67-88)
7. Михайлов А. Лесные тренды. Лесопромышленный комплекс получит новую стратегию развития // Рос. газ.-Экономика Северо-Запада. 30 июня 2020. № 140(8194). Режим доступа: <https://rg.ru/2020/06/30/reg-szfo/lesopromyshlennyj-kompleks-poluchit-novuiu-strategiiu-razvitiia.html> (дата обращения: 30.06.20). [Mikhaylov A. Forest Trends. The Timber Industry will Receive a New Development Strategy. *Rossiyskaya gazeta. Ekonomika Severo-Zapada*, 2020, no. 140(8194)].
8. Национальный аграрный каталог «Сельхозтехника». 2020. Вып. № 22. Режим доступа: http://www.selhoz-katalog.ru/pdf/kat_selhoz_22-2020.pdf (дата обращения: 10.08.20). [National Agrarian Catalogue "Sel'khoztekhnika". 2020, iss. 22].
9. Национальный каталог техники «Стройдормаш». 2020. Вып. № 29. Режим доступа: http://www.sdm-katalog.ru/pdf/kat_stroydor_29_2020.pdf (дата обращения: 10.08.20). [National Catalogue of Equipment "Stroydormash". 2020, iss. 29].
10. О возможных направлениях выхода из кризиса в развитии отечественного лесного машиностроения: Протокол заседания Комитета при Бюро Центрального Совета по тракторному, сельскохозяйственному, лесозаготовительному, коммунальному и дорожно-строительному машиностроению / Общерос. обществ. организация «Союз машиностроителей России». М., 2014. 12 с. Режим доступа: <http://soyuzmash.ru/docs/prot-ktm-181114.pdf> (дата обращения: 10.08.20). [On the Feasible Directions of Overcoming the Crisis in the Development of Russian Forest Mechanical Engineering. *All-Russian Public Organization "Russian Engineering Union". Committee under the Bureau of the Central Council for Tractor, Agricultural, Logging, Communal and Road Construction Mechanical Engineering. Protocol of the Committee Meeting*. Moscow, 2014. 12 p.].
11. Развитие лесного машиностроения в Республике Беларусь и Российской Федерации // Интернет-портал СНГ. Режим доступа: <http://www.e-cis.info/index.php?id=741> (дата обращения: 10.08.20). [Development of Forest Engineering in the Republic of Belarus and the Russian Federation. *CIS Internet Portal*. Moscow, 2015].
12. Распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р «Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/551187885> (дата обращения: 10.08.20). [The Decree of the Government of the Russian Federation Dated September 20, 2018 No. 1989-r "On Approval of the Strategy for the Development of the Forest Complex of the Russian Federation until 2030"].

13. Российский статистический ежегодник 2019. М.: Росстат, 2019. 708 с. [*Russian Statistical Yearbook 2019*. Moscow, Rosstat Publ., 2019. 708 p.].
14. Сборник материалов заседания Комитета при Бюро Центрального Совета по тракторному, сельскохозяйственному, лесозаготовительному, коммунальному и дорожно-строительному машиностроению Союза машиностроителей России. М., 2014. 120 с. Режим доступа: <http://www.soyuzmash.ru/docs/ktm/sm250214.pdf> (дата обращения: 10.08.20). [*Proceedings of the Meeting of the Committee under the Bureau of the Central Council for Tractor, Agricultural, Logging, Communal and Road Construction Mechanical Engineering of the Russian Engineering Union*. Moscow, 2014. 120 p.].
15. Стрельцов Э.К. Импорт лесозаготовительной техники в Россию // Основные средства. 2011. № 2. С. 80–82. [Strel'tsov E.K. Import of Logging Equipment to Russia. *Osnovnyye sredstva*, 2011, no. 2, pp. 80–82].
16. Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение России. Краткий обзор деятельности предприятий // Аналитический обзор ОАО «АСМ-холдинг». 2016. № 5. 22 с. [Tractor and Agricultural Mechanical Engineering of Russia. A Brief Overview of the Activities of Enterprises. *Analytical Review of ASM Holding, ОАО*. 2016, no. 5. 22 p.].
17. Холдинг «Амкодор» выпустил 800-ю машину для лесопромышленного комплекса // Пресс-релизы ОАО «Амкодор». 25 ноября 2016. Режим доступа: http://amkodor.by/press_room/press_release/2016/kholding_amkodor_vypustil_800_yu_mashinu_dlya_lesopromyshlennogo_kompleksa/ (дата обращения: 10.08.20). [Amkodor Holding Released the 800th Machine for the Timber Industry. *Press Releases of JSC "Amkodor"*. November 25, 2016].
18. Gerasimov Y., Sibiryakov K., Moshkov S., Väliky E., Karvinen S. Cost Calculation of Timber Harvesting Machines. Joensuu, Metsäntutkimuslaitos, 2009. 44 p.
19. *Global Forest Products. Facts and Figures 2016*. Rome, FAO, 2017, I7034EN/1/12.17. 18 p. Available at: www.fao.org/3/I7034EN/i7034en.pdf (accessed 10.08.20).
20. Investor Presentation. February – April 2018. *John Deere Presentations*. Available at: <https://investor.deere.com/home/> (accessed 10.08.20).
21. Investor Presentation. May – July 2020. *John Deere Presentations*. Available at: <https://investor.deere.com/home/> (accessed 10.08.20).
22. Johnsen T. Strong Forwarder Market in Sweden 2017. *Forestry.com Website*. January 18, 2018. Available at: <https://www.forestry.com/editorial/strong-forwarder-market-sweden-2017/> (accessed 10.08.20).
23. Johnsen T. Finnish Forest Machine Market 2017 Compared to the Swedish. *Forestry.com Website*. March 28, 2018. Available at: <https://www.forestry.com/editorial/finnish-forest-machine-market/> (accessed 10.08.20).
24. Kairo I. John Deere Forestryн tilauskirja täyttyy venäläisillä tilauksilla [John Deere Forestry Oy Doubled Exports of Logging Equipment to Russia]. *Suomalais-Venäläinen kauppakamari (SVKK)* [Finnish-Russian Chamber of Commerce (FRTP)]. Elokuu 23, 2017. Available at: <https://www.svkk.fi/uutishuone/john-deere-forestryн-tilauskirja-tayttyy-venalaisilla-tilauksilla/> (accessed 10.08.20).
25. Mizuhara K. *IR-DAY2017. Forest Machine Business*. Komatsu, 2017. 11 p. Available at: <https://home.komatsu/en/ir/library/results/01Forest%20Machine%20Business.pdf> (accessed 10.08.20).
26. *Ponsse Plc Annual Report for 2019*. 2019. 124 p. Available at: <https://pim.ponsse.com/media/ponsse-pim-api/api/content/getfile/16231567.pdf> (accessed 10.08.20).

FEATURES OF THE HARVESTING AND LOGGING EQUIPMENT MARKET IN RUSSIA

M.A. Piskunov, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAC-7150-2019](https://orcid.org/0000-0001-5445-5957),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5445-5957>

Petrozavodsk State University, prosp. Lenina, 33, Petrozavodsk, Republic of Karelia, 185910, Russian Federation; e-mail: piskunov_mp@list.ru

Russian forest sector forms an attractive market for harvesting and logging equipment, however the position of Russian manufacturers is extremely weak. A brief overview of the current state of the market is presented with reference to the open sources. Its features are mentioned as compared to the road construction and agricultural machinery sectors. Three transnational companies dominate the Russian market of harvesting and logging equipment: John Deere, Ponsse and Komatsu. Most of the purchased equipment falls on machines for cut-to-length technology, such as harvester and forwarder. The market volume of new machines is estimated at 330–420 forwarders, 165–300 harvesters, about 30–40 feller bunchers and the same number of skidders. There were two waves in the consolidation of the position of foreign companies in Russia. The first was connected with the delivery of equipment and the development of foreign brands in Russia against the background of still high-profile positions of Russian manufacturers in the market. The second is the takeover of enterprises having a service network and reputation by diversified transnational corporations. The main strategies of the leading companies in the current situation are the export of equipment to Russia and the development of a service network. Companies do not turn to another level associated with the opening of production sites or joint ventures for the production of harvesting and logging machines. The Russian market is characterized by the absence of a strong Russian manufacturer of harvesting and logging machines, which is ready to significantly influence or actively participate in the processes of import substitution. The position of such a manufacturer is gradually occupied by the Belarusian Amkodor Holding. The purchase of new harvesting and logging machines can afford major timber companies. The main production sites of harvesting and logging machines are located in Finland, Sweden, USA, and Canada. In order to support forestry machine engineering, in addition to economic measures of stimulation approved in other sectors, it is proposed: to organize the work of scientific forest engineering centers on the base of public-private partnership with the financial support from the major vertically-integrated timber corporate groups; to stimulate the development of Russian sector-specific information technologies for harvesting and logging; to initiate the partnership with companies from the People's Republic of China to launch the design and production of new-generation harvesting and logging machines.

For citation: Piskunov M.A. Features of the Harvesting and Logging Equipment Market in Russia. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 132–147. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-132-147

Keywords: harvesting and logging equipment, timber industry, timber corporate group, feller buncher, skidder, harvester, forwarder, cut-to-length technology machines, tree-length technology machines.

Поступила 10.08.19 / Received on August 10, 2019

УДК 630*78; 62-97/-98

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-148-158

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСХОДА ТОПЛИВА
ФОРВАРДЕРА «АМКОДОР-2682» ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ***К.П. Рукомойников, д-р техн. наук, доц.; ResearcherID: [N-6961-2019](#),**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>**В.О. Купцова, соискатель; ResearcherID: [AAY-9130-2020](#),**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4330-0594>**Т.В. Сергеева, соискатель; ResearcherID: [AAY-9142-2020](#),**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-8340>**Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000;**e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net, vika13244@rambler.ru, sergeeva2010t@mail.ru*

Одной из задач при планировании и практическом использовании форвардеров в России и за рубежом является обоснование затрат на топливо и смазочные материалы. Решение данной проблемы приобретает все более важное значение в связи с ростом цен на топливно-энергетические ресурсы. Доля затрат на топливные ресурсы составляет в разных природно-производственных условиях от 46 до 70 %. Это связано с наличием лесосек с различными характеристиками породного состава. В настоящее время существуют нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве, однако в них отсутствуют нормативные инструкции по расчету топлива для современных лесосечных машин, занятых на трелевке. Существуют базовые нормы расхода топлива, масла, смазок для разных марок отечественных и зарубежных легковых автомобилей, грузовиков, автобусов, но и в них нет информации о лесозаготовительной технике. Цель предлагаемого исследования – показать расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при заготовке сортиментов в природно-климатических условиях Республики Марий Эл. Поставленная цель достигнута путем проведения экспериментов с использованием объемного метода пополнения топливного бака машины в конце рабочего цикла. Экспериментальные исследования сопровождались фиксацией диаметров вырубаемых деревьев и их объемов. Топливный бак форвардера заполнялся до горловины и осуществлялась обработка участка пасеки с трелевкой одной пачки лесоматериалов. После выполнения каждой операции лесосечных работ при сборе сортиментов (холостой ход, сбор пачки сортиментов, грузовой ход, разгрузка пачки сортиментов) производилась остановка машины, заполнение топливного бака с точной фиксацией объема заправляемого топлива. Обработка данных позволила получить регрессионную модель, характеризующую средний расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при различных диаметрах вырубаемого древостоя. Использование полученных результатов в лесном хозяйстве облегчит планирование и расчет эксплуатационных затрат трелевочной техники.

Для цитирования: Рукомойников К.П., Купцова В.О., Сергеева Т.В. Математическая модель расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» при выполнении лесохозяйственных работ // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 148–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-148-158

Ключевые слова: трелевка, сортимент, норма расхода топлива, форвардер, математическая модель, лесозаготовка.

Введение

Расчет себестоимости сортиментов на территории России при их заготовке с использованием комплекта машин «харвестер – форвардер» показывает, что доля затрат на топливные ресурсы составляет в разных природно-производственных условиях от 46 до 70 %. Это связано с наличием лесосек с различными характеристиками породного состава, необходимостью освоения значительных площадей ветровальных, заболоченных, низкобонитетных и буреломных лесных участков [1].

Результаты научных исследований и экспериментов указывают на существование значительных расхождений в показателях расхода топлива на трелевке сортиментов в различных странах, что вызывает целесообразность обоснования подобных нормативов для лесных участков на территории России. В частности, по оценкам авторов [16], расход топлива форвардера при движении холостым ходом колеблется в пределах от 0,23 до 0,38 л на 100 м, а расход топлива при его движении в грузовом направлении на 10 % выше по сравнению с порожним форвардером. Согласно результатам этих исследований, средний расход топлива форвардером составляет 13,3 л/ч при сплошных рубках и 10,5 л/ч при выборочных рубках, 61...62 % топлива расходуется во время погрузки и вождения нагруженного форвардера.

Изучение расхода топлива системы машин «харвестер – форвардер» осуществлялось в разных странах [12]. В Австрии изучена работа 18 форвардеров (6 моделей) за период с 2004 по 2008 г. [13]. Установлено, что средний расход топлива составил 11,1 л/ч. В то же время в исследованиях шведских авторов [11] утверждается, что в Швеции средний расчетный расход топлива форвардерами 0,94 л/м³ заготовленной древесины. В этой стране отмечены постепенное развитие техники и снижение среднего расхода топлива с 2,5 до 1,7 л/м³ в период с 1985 по 2005 г. [14, 15]. По результатам, полученным при работе форвардера в Южной Африке [10], расход топлива составляет 0,38 л/м³, или 13,45 л/ч. Согласно исследованиям [19], крутая местность, особенно при грузовом ходе форвардера, значительно увеличивает расход топлива.

Следует отметить, что приказом Рослесхоза [6] в 1999 г. введены нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве, однако в них отсутствуют нормативные инструкции по расчету топлива для современных лесосечных машин, используемых на трелевке. В действующем распоряжении Минтранса России от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р введены в действие базовые нормы расхода топлива, масла, смазок для разных марок отечественных и зарубежных легковых автомобилей, грузовиков, автобусов [7], но и в них нет информации о лесозаготовительной технике.

Ряд лесопромышленных предприятий решают проблему учета расхода топлива установкой на трелевочной технике специальных датчиков [5, 17], однако применение этого варианта позволяет лишь справиться с задачей отчетности за использованное топливо при его списании, но не решает вопрос о планируемом расходе топлива при расчете проектируемых затрат будущих периодов на освоение отводимых в рубку лесосек.

По опыту лесозаготовителей Финляндии приближенные затраты на топливо обосновываются при подведении итогов удельного фактического

расхода топлива за год, предшествующий расчетному, или по нормативам, указанным в документации на технику [9, 20]. Однако данная методика не применима согласно законодательству Российской Федерации и не может быть использована при проектировании новых предприятий.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить значительный разброс данных предыдущих исследований расхода топлива форвардера в различных лесных районах. Соглашаясь с тем, что расход топлива в значительной мере зависит от условий использования трелевочной техники, учитывая отсутствие норм расхода топлива на большинство современных трелевочных машин отечественного и зарубежного производства и необходимость планирования затрат будущих периодов, можно сделать вывод об актуальности рассматриваемой проблемы.

Объекты и методы исследования

Цель предлагаемого исследования – показать расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при заготовке сортиментов в природно-климатических условиях Республики Марий Эл. Разработка математической модели, показывающей изменения расхода топлива при трелевке сортиментов на различных лесосеках республики, позволит проводить обоснованное списание топлива при составлении сметы расходов на освоение лесных участков и осуществлять эффективное планирование расходов будущих периодов.

Для реализации эксперимента и оценки потребления топлива форвардером был выбран объемный метод пополнения бака в конце рабочего цикла машины [8]. При экспериментальных исследованиях выполнялись выборочные рубки с заготовкой сортиментов длиной 6 м. Стаж операторов составлял более 3 лет. На рис. 1 представлено проведение производственных испытаний в учебно-опытном лесхозе Поволжского государственного технологического университета Республики Марий Эл.

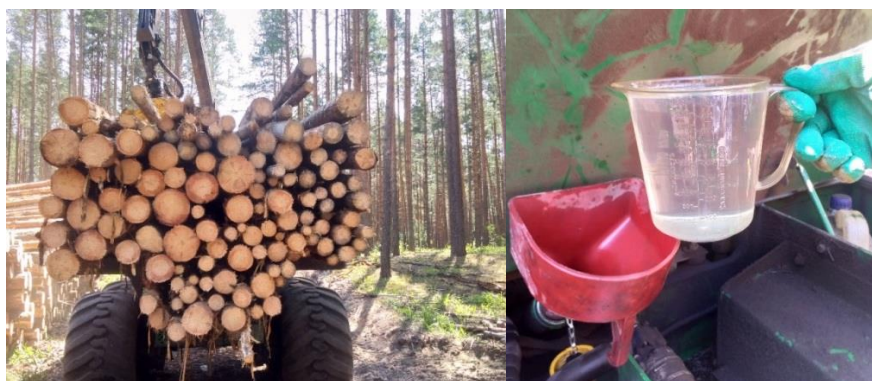


Рис. 1. Производственные испытания обоснования расхода топлива форвардера «Амкодор-2682»

Fig. 1. Performance tests of fuel consumption justification for the forwarder Amkodor-2682

Топливный бак форвардера заполнялся до горловины и осуществлялась обработка участка пасеки с трелевкой одной пачки лесоматериалов. Фиксировались диаметр деревьев в месте спиливания по результатам замеров пней и

диаметр заготовленных сортиментов. После выполнения каждой операции лесосечных работ при сборе сортиментов (холостой ход, сбор пачки, грузовой ход, разгрузка пачки) осуществлялись остановка машины, заполнение топливного бака с точной фиксацией объема заправляемого топлива. В ходе производственного эксперимента выполнена трелевка 90 пачек сортиментов. Эксперимент проводился на нескольких лесных участках с преобладанием сосновых и березовых насаждений.

В отсутствие установленного на машине датчика расхода топлива, в ходе эксперимента осуществлялась визуальная фиксация его уровня мерной емкостью с ценой деления 0,1 л. Этот вариант, являясь наиболее дешевым, но трудоемким по сравнению с вариантом установки специализированного датчика расхода топлива, в то же время позволяет достичь необходимой точности результатов. Демонстрация возможности использования подобного принципа сбора экспериментальных данных особенно актуальна для предприятий, не предусматривающих установку на форвардере дополнительного специализированного фиксирующего оборудования. Результаты замеров расхода топлива фиксировались по форме, демонстрирующей последовательность сбора результатов эксперимента (табл. 1).

Таблица 1

**Табличная форма для фиксации результатов наблюдений
за работой форвардера «Амкодор-2682»**

№ пачки	Расстояние трелевки, м	Средний диаметр, см	Объем трелюемой пачки, м ³	Расход топлива на пачку, л				Расход топлива на 1 м ³ , л/м ³						
				на сбор пачки	на разгрузку пачки	на холостой ход	на грузовой ход	на сбор	на разгрузку	на холостой ход	на грузовой ход	суммарный на сбор и разгрузку пачки в расчете на 1 м ³	суммарный на грузовой и холостой ход в расчете на трелевку 1 м ³ на 1 м	суммарный на 1 м ³
1	120	26	12,4	8,0	3,6	0,7	0,9	0,65	0,29	0,05	0,08	0,94	0,0011	1,06
...														

Приведенный выше анализ результатов научных исследований работы различных форвардеров позволил сделать вывод о целесообразности оказания особого внимания размерным характеристикам древостоя и расстоянию трелевки. Наиболее доступной для фиксации размерной характеристикой обраба-

тываемых деревьев является их диаметр, который и был выбран для последующего использования при моделировании. Этот показатель находится в тесной корреляционной связи с объемными показателями предмета труда. При необходимости использования в модели других корреляционно связанных с диаметром размерных характеристик древостоя она может быть легко преобразована к новому виду.

В отличие от выполненных ранее исследований по анализу расхода топлива форвардеров [16, 18], учитывавших расход топлива в комплексе на холостой ход, сбор и грузовой ход при трелевке пачек сортиментов, с последующим составлением многофакторной модели, методика проведения эксперимента была разделена на две части:

1) анализ расхода топлива при сборе сортиментов и выгрузке их в штабель на погрузочном пункте без учета части операций технологического процесса, связанных с холостым и грузовым ходом машины. Этот этап позволяет выделить влияние размерных характеристик предмета труда вне зависимости от расстояния трелевки;

2) анализ расхода топлива при холостом и грузовом ходе машины в процессе выполнения операции по трелевке сортиментов. Этап предназначен для оценки влияния расстояния трелевки пачек без влияния на результативный признак размерных характеристик лесоматериалов.

Использование подобного варианта сбора экспериментальных данных приводит к значительному увеличению объема работы наблюдателей, однако позволяет получить наиболее точные результаты влияния отдельных факторных признаков на результативный признак при детальном анализе каждого из них и составлении двух однофакторных моделей, сочетание которых дает нужный результат.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты эксперимента представлены в виде точечного графика (рис. 2), на который нанесены значения расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» в зависимости от среднего диаметра вырубаемых на лесосеке деревьев.

В ходе обработки экспериментальных данных по ГОСТам [2–4] при реализации первой части анализа получили регрессионную модель, характеризующую средний расход топлива при различных диаметрах вырубемого древостоя в результате выполнения операций по сбору и выгрузке сортиментов форвардером без учета операций, связанных с трелевкой лесоматериалов:

$$P_1 = \frac{171,18}{d^2} + 0,74,$$

где P_1 – расход топлива при сборе и разгрузке пачки, л; d – средний диаметр деревьев, см.

Модель может быть использована при средних диаметрах деревьев обрабатываемых лесосек в пределах от 14 до 36 см.

Эффективность использования модели по отношению к реальным данным на сборе и разгрузке пачки сортиментов, без учета затрат на холостой и грузовой ход при трелевке, может быть проанализирована при изучении графика функции (рис. 2).

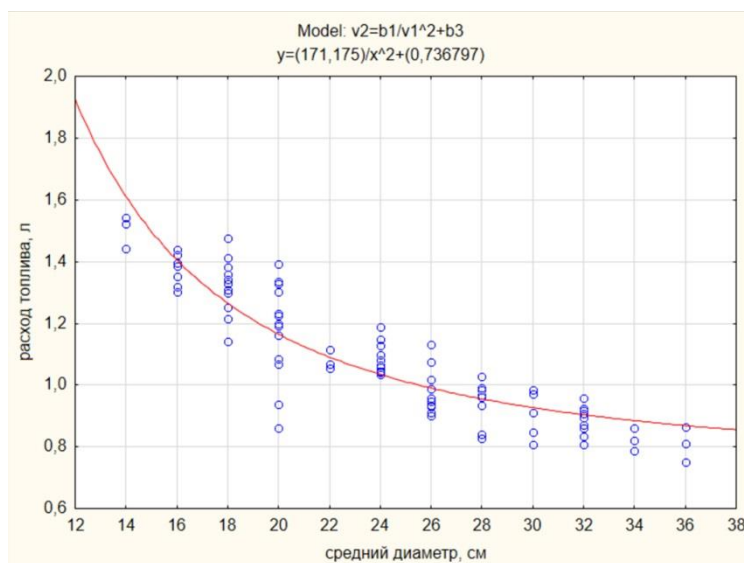


Рис. 2. Результаты производственного эксперимента

Fig. 2. Test results performance

Результаты получены с доверительной вероятностью 0,95. Множественный коэффициент детерминации $R^2 = 0,81$, что свидетельствует о высокой доле влияния размерных характеристик предмета труда на расход топлива машины.

При проверке адекватности математической модели сделан вывод о значимости коэффициента детерминации, так как найденное значение уровня значимости меньше 0,05.

Анализ показателей полученного решения, представленный на рис. 3, с учетом значений статистической значимости коэффициентов модели и размеров их доверительных интервалов, дает возможность предположить с уровнем надежности 95 %, что средний расход топлива форвардера при сборе и выгрузке сортиментов находится в следующих пределах:

$$\left[\frac{153,49}{d^2} + 0,7; \frac{188,86}{d^2} + 0,78 \right].$$

Значения, попадающие в этот диапазон, могут быть приняты за норматив при определении расхода топлива.

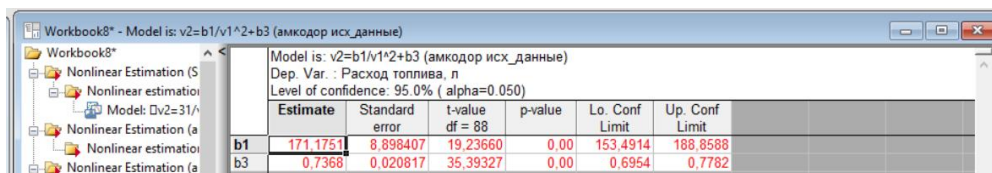


Рис. 3. Проверка статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии

Fig. 3. Checking the statistical significance of the regression coefficients

Видно, что значение коэффициентов уравнения регрессии по модулю больше их стандартных ошибок. Показатель P-value каждого коэффициента модели не превышает уровня значимости 0,05. Следовательно, каждый из них оказывает существенное влияние на результативный признак.

Обработка экспериментальных данных, связанных с анализом расхода топлива при холостом и грузовом ходе форвардера в процессе трелевки сортиментов, основывалась на определении среднего расхода топлива на трелевку сортиментов объемом 1 м^3 на расстояние 1 м. Согласно экспериментальным данным этот показатель составил $0,0011 \text{ л}/(\text{м} \cdot \text{м}^3)$. Итоги расчета показателей описательной статистики, выполненного на основе результатов эксперимента, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет показателей описательной статистики

Статистический показатель	Суммарный расход топлива на грузовой и холостой ход форвардера, $\text{л}/(\text{м} \cdot \text{м}^3)$
Среднее	0,00114
Стандартная ошибка	0,000026
Медиана	0,001102
Стандартное отклонение	0,00025
Дисперсия выборки	0,00000006
Экссесс	-0,2788
Асимметричность	0,4168
Интервал	0,0012
Уровень надежности (95,0 %)	0,00005
Расчетное минимальное число наблюдений	75

Анализ показателей полученного решения дает возможность предположить с уровнем надежности 95 %, что средний расход топлива лесосечной машины при холостом и грузовом ходе в расчете на трелевку 1 м^3 сортиментов на расстояние 1 м находится в следующих пределах:

$$[0,0011; 0,0012].$$

Значения, попадающие в этот диапазон, могут быть приняты за норматив при определении расхода топлива при холостом и грузовом ходе форвардера.

Среднее арифметическое значение близко к медиане выборки, что говорит в пользу нормальности закона распределения случайной величины.

По форме гистограмма (рис. 4) относительно хорошо описывается теоретической нормальной кривой. По критерию Колмогорова–Смирнова уровень значимости больше 0,2. Следовательно, гипотеза о нормальности экспериментальных данных не отвергается. По критерию Шапиро–Уилка уровень значимости больше 0,05, что также не противоречит гипотезе о нормальности.

Таким образом, расход топлива при трелевке сортиментов может быть описан дополнительно введенным в определенную выше формулу параметром, показывающим влияние расстояния трелевки на конечный расход топлива:

$$P_2 = 0,00115L_m,$$

где P_2 – расход топлива при выполнении операции трелевки сортиментов без учета расхода топлива на сбор и выгрузку сортиментов, л; L_m – среднее расстояние трелевки лесоматериалов, м.

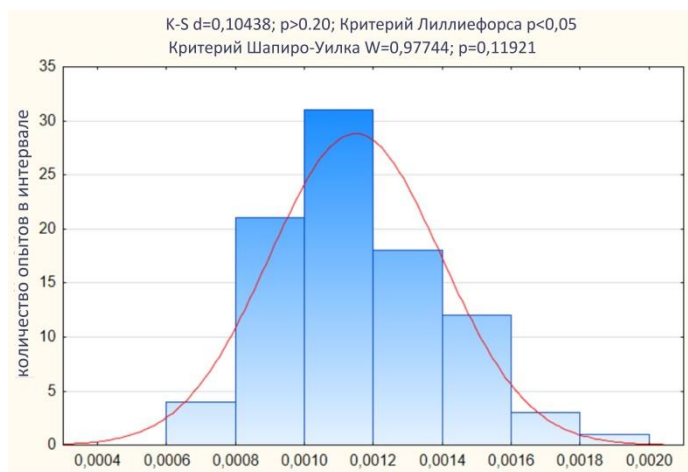


Рис. 4. Гистограмма, полученная по результатам наблюдений за расходом топлива при грузовом и холостом ходе форвардера

Fig. 4. Histogram based on the results of observations of fuel consumption during hauling and idling of the forwarder

Тогда общий расход топлива

$$P = P_1 + P_2;$$

$$P = \frac{171,18}{d^2} + 0,74 + 0,00115L_m, \quad (1)$$

где P – общий расход топлива с учетом всех операций по сбору, трелевке и разгрузке лесоматериалов на погрузочном пункте, л.

Для увеличения адекватности математической модели существует возможность ввода в нее различных повышающих коэффициентов, зависящих от сложности работы на различных участках. Это могут быть варианты работы при низкой температуре окружающей среды, работы со стажером, работы на холмистых лесных участках и т. п.

Заключение

В результате выполненных экспериментальных исследований получена математическая зависимость (1), которая позволяет обосновать расход топлива форвардера «Амкодор-2682» при различных размерных характеристиках древостоев Республики Марий Эл и не может быть использована при анализе эксплуатационной эффективности других моделей трелевочных машин. Применение полученных результатов в лесном хозяйстве даст возможность облегчить планирование и расчет эксплуатационных затрат трелевочной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Голякевич С.А. Энергетические аспекты функционирования многооперационных лесозаготовительных машин // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апреля 2017. Минск: БГТУ, 2017. С. 64–68. [Golyakevich S.A. Energy Aspects of Functioning of Multi-Operational Logging Machines. *Logging Production: Problems and Solutions. Proceedings of the International Scientific and Engineering Conference, Minsk, April 26–28, 2017.* Minsk, BSTU Publ., 2017, pp. 64–68].
2. ГОСТ 24026–80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. Введ. 1981-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1991. [State Standard. GOST 24026-80. Research Tests. Experiment Planning. Terms and Definitions. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 1991].
3. ГОСТ Р 8.563–2009. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики (методы) измерений. Введ. 2010-04-15. М.: Стандартиформ, 2019. [State Standard RF. GOST R 8.563-2009. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Procedures of Measurements. Moscow, Standartinform Publ., 2019].
4. ГОСТ Р ИСО 16269-4–2017. Статистические методы. Статистическое представление данных. Ч. 4. Выявление и обработка выбросов: утв. и введ. в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 10 августа 2017 г. № 865-ст. Введ. 2018-12-01. М.: Стандартиформ, 2017. [State Standard RF ISO. GOST R ISO 16269-4-2017. Statistical Methods. Statistical Data Presentation. Part 4. Detection and Treatment of Outliers. Approved and Came into Force by the Order of the Federal Agency on Technical Regulation and Metrology Dated August 10, 2017, No. 865-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017].
5. Иванов А.С., Морозов О.А. Определение расхода топливно-смазочных материалов и выработки тракторов Джон Дир в условиях Тюменской области // Науч. журн. КубГЛУ. 2017. № 133(04). С. 402–410. [Ivanov A.S., Morozov O.A. Rationing of Fuel-Lubricants Consumption and Productivity of Tractors by John Deere in the Tyumen Region. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of KubSAU], 2017, no. 133(04), pp. 402–410]. DOI: [10.21515/1990-4665-133-032](https://doi.org/10.21515/1990-4665-133-032)
6. Приказ Рослесхоза от 13.09.1999. № 180. «Нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве». 124 с. [Order of the Federal Forestry Agency Dated September 13, 1999, No. 180 "Consumption Rates of Fuel and Lubricants for Mechanized Work Performed in Forestry". 124 p.].
7. Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р (ред. от 20.09.2018) О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: в ред. распоряжений Минтранса России от 14.05.2014 № НА-50-р, от 14.07.2015 № НА-80-р, от 06.04.2018 № НА-51-р, от 20.09.2018 № ИА-159-р. [Decree of the Ministry of Transport of the Russian Federation Dated March 14, 2008, No. AM-23-p: On the Implementation of the Methodological Guidelines "Consumption Rates of Fuel and Lubricants for Road Transport"].
8. Рукомойников К.П., Купцова В.О. Обоснование норм расхода топлива многооперационных лесозаготовительных машин на примере харвестера // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 3. С. 117–127. [Rukomojnikov K.P., Kuptcova V.O. Substantiation of Fuel Consumption Rates of a Harvester. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 3, pp. 117–127]. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-3-117-127](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-3-117-127), URL: http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/694/117_127.pdf
9. Сюнёв В.С., Соколов А.П., Коновалов А.П., Катаров В.К., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Карвинен С., Вяльккю Э. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с. [Syunev V.S., Sokolov A.P., Konovalov A.P., Katarov V.K., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Karvinen S., Vyal'kkyu E. *Comparison of Logging*

Technologies in Timber Companies of the Republic of Karelia. Joensuu, METLA Publ., 2008. 126 p.].

10. Ackerman P.A., Williams C., Ackerman S., Nati C. Diesel Consumption and Carbon Balance in South African Pine Clear-Felling CTL Operations: A Preliminary Case Study. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2017, vol. 38, no. 1, pp. 65–72.

11. Athanassiadis D. Energy Consumption and Exhaust Emissions in Mechanized Timber Harvesting Operations in Sweden. *Science of The Total Environment*, 2000, vol. 255, iss. 1-3, pp. 135–143. DOI: [10.1016/S0048-9697\(00\)00463-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00463-0)

12. Favreau J., Gingras J.F. *An Analysis of Harvesting Costs in Eastern Canada*. Special Report No. SR-129. Pointe-Claire, Forest Engineering Research Institute of Canada, 1998. 8 p.

13. Holzleitner F., Stampfer K., Ghaffariyan M.R., Visser R. Economic Benefits of Long Term Forestry Machine Data Capture: Austrian Federal Forest Case Study. *Proceedings of the 43th International Symposium on Forestry Mechanisation: "Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment"*, Padova, Italy, July 11–14, 2010. Padova, FORMEC, 2010. 8 p.

14. Johansson A. *Forestry Costs and Revenues 2000. A Year of Storms and Floods*. Results nr. 4. Uppsala, Forestry Research Institute of Sweden, 2001.

15. Löfroth C., Rådström L. *Fuel Consumption in Forestry Continues to Fall*. Results from Skogforsk 3. 2006.

16. Nordfjell T., Athanassiadis D., Talbot B. Fuel Consumption in Forwarders. *International Journal of Forest Engineering*, 2003, vol. 14, iss. 2, pp. 11–20. DOI: [10.1080/14942119.2003.10702474](https://doi.org/10.1080/14942119.2003.10702474)

17. Pandur Z., Horvat D., Šušnjar M., Šarac Z. Može li se komercijalni Fleet Management Sustav koristiti u praćenju rada i istraživanjima forvardera? *Nova Mehanizacija Šumarstva*, 2009, vol. 30(1), pp. 11–17.

18. Pandur Z., Šušnjar M., Bačić M., Lepoglavec K., Nevečerel H., Đuka A. Fuel Consumption of Forwarders in Lowland Forests of Pedunculate Oak. *SEEFOR*, vol. 9, no. 1, pp. 73–80, art. 198. DOI: [10.15177/seefor.18-07](https://doi.org/10.15177/seefor.18-07)

19. Suvinen A. Economic Comparison of the Use of Tyres, Wheel Chains and Bogie Tracks for Timber Extraction. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2006, vol. 27, iss. 2, pp. 81–102.

20. Vaatainen K., Liiri H., Asikainen A., Sikanen L., Jylha P., Rieppo K. et al. Korjureiden ja Korjuuketjun simulointi ainespuun korjuusa. *Metlan työraaportteja*, 2007, vol. 48. 78 p.

A MATHEMATICAL MODEL OF FUEL CONSUMPTION FOR THE FORWARDER AMKODOR-2682 WHEN PERFORMING FORESTRY OPERATIONS

K.P. Rukomojnikov, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [N-6961-2019](https://orcid.org/0000-0002-9956-5081),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9956-5081>

V.O. Kuptcova, External PhD Student; ResearcherID: [AAY-9130-2020](https://orcid.org/0000-0002-4330-0594),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4330-0594>

T.V. Sergeeva, External PhD Student; ResearcherID: [AAY-9142-2020](https://orcid.org/0000-0002-6367-8340),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6367-8340>

Volga State University of Technology, pl. Lenin, 3, Yoshkar-Ola, 424000, Mari El Republic, Russian Federation; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net, vika13244@rambler.ru, sergeeva2010t@mail.ru

Cost justification of fuel and lubricants is high on the agenda of planning and practical use of forwarders in Russia and abroad. The problem solution is becoming increasingly important due to rising prices for fuel and energy resources. The share of costs for fuel resources ranges from 46 to 70 % in different natural and industrial conditions. This is due to the presence of cutting areas with different characteristics of the species composition. Currently, there are consumption rates for fuel and lubricants for mechanized work performed in forestry. However, they lack regulatory guidelines for calculating the fuel of modern logging machines used in skidding. There are basic standards for consumption of fuel, oil, and lubricants for different brands of domestic and foreign cars, trucks, and buses, but they also have no information on forestry equipment. The research purpose was to show the fuel consumption for the forwarder Amkodor-2682 when harvesting assortments in the climatic conditions of the Mari El Republic. The purpose was achieved through experiment using the volumetric method of refilling the machine fuel tank at the end of the operation cycle. The studies were provided with fixing the diameters and volumes of the felled trees. The forwarder fuel tank was filled to the top of the tank filler. Processing of the swath site was carried out with skidding of one pack of logs. The machine was stopped and the fuel tank was filled in after each operation of logging (idling, bundle assembling, hauling, bundle unloading). The amount of fuel in the tank was accurately fixed each time. Processing the data allowed us to obtain a regression model. This model characterizes the average fuel consumption for the forwarder Amkodor-2682 at different diameters of felled trees. Using the obtained results in forestry will make it easier to plan and calculate the operating costs of skidding equipment.

For citation: Rukomojnikov K.P., Kuptcova V.O., Sergeeva T.V. A Mathematical Model of Fuel Consumption for the Forwarder Amkodor-2682 When Performing Forestry Operations. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 148–158. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-148-158

Keywords: skidding, assortment, fuel consumption rate, forwarder, mathematical model, logging.

Поступила 24.07.19 / Received on July 24, 2019



УДК 674.047.3

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-159-171

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ

Н.Н. Синицын, д-р техн. наук, проф.; *ResearcherID: J-1662-2018,*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8919-0573>

Н.В. Телин, д-р техн. наук, проф.

Череповецкий государственный университет, просп. Луначарского, д. 5, г. Череповец, Россия, 162600; e-mail: nnsinitcyn@chsu.ru, telin_nv@mail.ru

В настоящее время на лесоперерабатывающих предприятиях Российской Федерации образуется большое количество отходов в виде древесной коры, которые не находят широкого применения в промышленности и оказывают отрицательное воздействие на окружающую среду. Одним из возможных направлений переработки таких отходов является их сжигание в слоевых топках. Однако древесная кора ввиду своей высокой влажности и крайне разнородного фракционного состава относится к низкокалорийному трудносжигаемому виду топлива. Высокая влажность уменьшает энергетическую плотность древесной коры. Крайне разнородный ее фракционный состав (линейные размеры отдельных кусков коры могут изменяться от миллиметров до десятков сантиметров) осложняет организацию топочного процесса. Эффективная утилизация древесной коры обеспечивается при ее предварительной сушке до влажности 55...60 % и размере кусков коры, не превышающем 100 мм. Целью представленной работы является исследование температурного поля в плотном продуваемом слое высоковлажной древесной коры при ее сушке высокотемпературными дымовыми газами котельных агрегатов. На основе анализа физической картины разработана математическая модель прогрева плотного слоя высоковлажной древесной коры с учетом оценки толщины плотного слоя коры, использующая методику расчета аэродинамического сопротивления поперечно продуваемого слоя потоку газов. Проведены численные эксперименты по расчету полей температур при прогреве одиночного куска высоковлажной древесной коры, расположенного в передней части плотного продуваемого слоя. Результаты расчета сравнивались с результатами, полученными по разработанной нами модели. На основе математического моделирования процесса прогрева плотного слоя и термической подготовки высоковлажной древесной коры к сжиганию разработана методика, позволяющая рассчитать общую продолжительность нагрева влажного материала до полного высыхания слоя, время, затраченное на прогрев продуваемого плотного слоя до полного выхода летучих веществ, а также температурные поля в слое коры и потоке газа. Предложены схема подготовки высоковлажной коры к сжиганию и методика для определения характерных параметров двухступенчатой схемы энергетического использования высоковлажной древесной коры в слоевых топках котлов и теплогенераторов.

Для цитирования: Синицын Н.Н., Телин Н.В. Математическое моделирование процесса сушки древесной коры // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 159–171. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-159-171

Ключевые слова: сушка, высоковлажная древесная кора, топочные устройства, математическая модель прогрева плотного продуваемого слоя, продуваемый плотный слой, температурное поле продуваемого плотного слоя, фазовый переход влаги.

Введение

На современных деревообрабатывающих предприятиях древесная кора представляет собой непригодные для технологического применения отходы. Наиболее перспективным направлением утилизации древесной коры является использование ее в качестве возобновляемого топлива для котлов и теплогенераторов лесоперерабатывающих предприятий. Однако древесная кора ввиду своей высокой влажности и крайне разнородного фракционного состава относится к низкокалорийному трудносжигаемому виду топлива. Высокая влажность уменьшает энергетическую плотность древесной коры. Крайне разнородный фракционный состав коры (линейные размеры отдельных кусков коры могут изменяться от миллиметров до десятков сантиметров) осложняет организацию топочного процесса [3, 7, 9, 12–15, 17–20, 22–26, 28, 30–33].

Для утилизации древесной коры в условиях лесопромышленных предприятий наиболее приемлемы топки, использующие слоевой способ сжигания. Эффективная утилизация коры обеспечивается при ее предварительной сушке до влажности 55...60 % и размере кусков коры, не превышающем 100 мм [3, 7, 19, 21, 22].

Целью представленной работы является исследование температурного поля в плотном продуваемом слое высоковлажной древесной коры при ее сушке высокотемпературными дымовыми газами котельных агрегатов.

Объекты и методы исследования

Топки с зажатым продуваемым плотным слоем, применяемые для сжигания древесной коры, значительно расширяют диапазон допустимого форсирования процесса горения топлива в слое, увеличивают теплонапряжение зеркала горения. Сначала древесная кора по топливному рукаву каскадно-лоткового типа плавных очертаний под собственным весом поступает в предтопок.

Верхняя часть предтопка отличается наличием «жалюзи», выполненных из чугуновых или стальных колосников. Моделирование процесса прогрева материалов в плотном слое рассматривается в работах [4, 5, 8, 16, 27, 29].

Слой древесной коры толщиной h продувается дымовыми газами со скоростью на свободное сечение ω_{r0} , начальная температура газов – t'_r , температура слоя коры в начальный момент времени – t'_m .

Для расчета температурного поля в слое древесной коры применяются решения Шумана и Анцелиуса [6, 10]:

$$Q_m = \frac{t_m - t'_m}{t'_r - t'_m} = e^{-Y} \int_0^Z e^{-\varepsilon} I_0(2\sqrt{Y\varepsilon}) d\varepsilon; \quad (1)$$

$$Q_r = \frac{t_r - t'_m}{t'_r - t'_m} = 1 - e^{-Z} \int_0^Y e^{-\varepsilon} I_0(2\sqrt{Z\varepsilon}) d\varepsilon, \quad (2)$$

где t_m , t_r – температура древесной коры и дымового газа соответственно, °C; Y – безразмерная высота слоя коры, $Y = k_v h / (C_r \omega_{r0})$; k_v – коэффициент теплопередачи, Вт/(м³·K); C_r – объемная теплоемкость газа, Дж/(м³·K); Z – безразмерное время, $Z = k_v \tau / (C_m(1 - f))$; τ – время; C_m – кажущаяся теплоемкость материала коры с учетом теплоты на испарение влаги, Дж/(м³·K); f – пороз-

ность плотного слоя древесной коры, $f = 1 - \rho_{\text{нас}}/\rho_m$; $\rho_{\text{нас}}$ – насыпная плотность, кг/м³; ρ_m – плотность влажного материала, кг/м³; I_0 – функция Бесселя от мнимого аргумента первого рода нулевого порядка; ε – переменная интегрирования.

Коэффициент теплопередачи находится по соотношению

$$k_v = \left(\frac{d_m^2}{A(1-f)\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_v} \right)^{-1},$$

где d_m – определяющий средний диаметр кусков коры (представленных в форме шара); A – числовой коэффициент для кусков коры произвольной формы, $A = 75$; λ_m – коэффициент теплопроводности материала коры, Вт/(м·К); α_v – объемный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³·К).

Связь объемного коэффициента теплоотдачи с обычным коэффициентом теплоотдачи α_F :

$$\alpha_v = \alpha_F F.$$

Для кусков коры сферической формы, имеющих диаметр d_m :

$$F = 6,0(1-f)/d_m, \text{ м}^2/\text{м}^3,$$

а для кусков неправильной формы:

$$F = 7,5(1-f)/d_m, \text{ м}^2/\text{м}^3.$$

Для кусков древесной коры правильной сферической (или близкой к ней) формы расчет коэффициентов теплоотдачи может быть выполнен с применением соотношений [5, 10]:

$$\text{Nu} = 0,61\text{Re}^{0,67} \quad (\text{для } \text{Re} > 200);$$

$$\text{Nu} = 0,106\text{Re} \quad (\text{для } \text{Re} \leq 200),$$

где $\text{Nu} = \alpha_F d_m / \lambda_g$; λ_g – коэффициент теплопроводности газа; $\text{Re} = \omega_{t0} d_m / \nu_t$; ν_t – коэффициент кинематической вязкости газа.

Физические свойства газа выбираются для средней температуры системы «древесная кора – газ».

Время сушки слоя древесной коры (τ_c) высокотемпературными продуктами сгорания для известной толщины слоя и заданной конечной температуры нагрева определяется соотношением:

$$\tau_c = Z C_m \frac{1-f}{k_v}.$$

Чтобы получить представление об изменении температуры газа во времени в месте выхода его из слоя, необходимо задать несколько значений промежутков времени прогрева слоя и определить соответствующие значения чисел Z . С помощью этих данных для $Y = \text{const}$ находим значение Q_m по формуле (1). Затем, зная температуру газа на входе в слой и начальную температуру материала, рассчитаем температуру газа на выходе из слоя в различные последовательные промежутки времени. Задав Z и меняя Y от 0 до $Y = \text{const}$, получаем распределение температур по высоте слоя в данный момент времени.

Для оценки толщины h_m плотного слоя коры используется методика расчета аэродинамического сопротивления поперечно продуваемого слоя потоку газов, определяемого по формуле [2]:

$$\Delta h_m = \xi_{\text{сл}} \frac{\omega_{\text{г0}}^2}{2} \rho, \quad (3)$$

где $\xi_{\text{сл}}$ – коэффициент сопротивления слоя; ρ – плотность текущей среды, кг/м³.

Коэффициент сопротивления слоя определяется по формуле

$$\xi_{\text{сл}} = \xi_0 \Delta h \frac{a}{f}, \quad (4)$$

где $\xi_0 = \frac{36,3}{\text{Re}_a} + 0,4$; число Рейнольдса $\text{Re}_a = 4\omega_{\text{г0}} / (v_t a)$; $a = 6 / d_m (1 - f)$ – удельная поверхность нагрева (на единицу объема), м²/м³.

На основе данной модели (1)–(4) и модели прогрева (5)–(7) высоковлажной древесной коры проводились численные эксперименты. Результаты расчета полей температур при прогреве одиночного куска древесной коры, расположенного в передней части плотного слоя, по данной модели сравнивались с результатами, полученными по модели, представленной в работе [11].

Процесс прогрева высоковлажной древесной коры описывается уравнениями [11]:

уравнение теплопроводности:

$$C_{\text{эф}}(T) \rho(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad 0 \leq x \leq S, 0 \leq \tau \leq \tau_k; \quad (5)$$

начальное условие:

$$T \Big|_{\tau=0} = T^0;$$

граничные условия:

$$\begin{aligned} -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} &= \alpha(T - T_{\text{ср}}); \\ -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=S} &= 0, \end{aligned}$$

где ρ – плотность материала коры; $\lambda(T)$ – коэффициент теплопроводности материала древесной коры; S – половина толщины куска древесной коры; T^0 – начальная температура древесной коры; α – коэффициент теплоотдачи; $T_{\text{ср}}$ – температура среды.

Выделение теплоты фазового перехода в уравнении (5) учитывается с помощью эффективной теплоемкости $c_{\text{эф}}$:

$$c_{\text{эф}} = \begin{cases} c_1(T), & T > T_k; \\ c(T_n)\psi + c(T_k)(1-\psi) + \frac{gL}{\Delta T}, & T_n \leq T \leq T_k; \\ c_2(T), & T < T_n, \end{cases}$$

где $c(T)$ – теплоемкость; c_1 и c_2 – теплоемкость сухого и влажного слоев материала древесной коры; ψ – доля влажного материала древесной коры; g – доля влаги в элементарном объеме материала древесной коры; L – удельная теплота фазового перехода влаги.

Коэффициент теплопроводности и плотность коры определяются по соотношениям:

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_1(T), & T > T_k; \\ \lambda_1(T)\psi + \lambda_2(T_2)(1-\psi), & T_n \leq T \leq T_k; \\ \lambda_2(T), & T < T_n; \end{cases}$$

$$\rho = \begin{cases} \rho_1(T), & T > T_k; \\ \rho_1(T)\psi + \rho_2(T_2)(1-\psi), & T_n \leq T \leq T_k; \\ \rho_2(T), & T < T_n, \end{cases}$$

где T_n, T_k – фиктивные температуры начала и окончания фазового перехода воды, $T_n = T_\phi - 37,0$; $T_k = T_\phi + 19,5$; T_ϕ – температура фазового перехода воды;

λ_1 и λ_2 – коэффициент теплопроводности сухого и влажного слоев материала древесной коры; ρ_1 и ρ_2 – плотность сухого и влажного слоев материала древесной коры.

Величина ψ определяется следующим образом:

$$\psi = \begin{cases} 1, & T < T_n; \\ \frac{T_k - T}{T_k - T_n}, & T_n \leq T \leq T_k; \\ 0, & T > T_k. \end{cases}$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_l,$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией; α_l – коэффициент теплоотдачи излучением.

Скорость выделения продуктов термолитиза описывается уравнением [11]:

$$\frac{dV}{d\tau} = k(1-V),$$

где V – доля продуктов термолитиза в общем количестве продуктов термолитиза; τ – время.

Константа скорости реакции, характеризующая разрыв физико-химических связей, определяется по соотношению

$$k = k_0 \exp \left[-\frac{E_0}{RT_q} \right],$$

где k_0 – предэкспоненциальный множитель; E_0 – энергия активации, МДж/кмоль; R – универсальная газовая постоянная; T_q – температура материала; .

Максимальный выход летучих веществ в расчете на сухую массу древесной коры при проведении расчетов составлял $V_{\max}^c = 83,6 \%$, $E_0 = 59$ МДж/кмоль, $k_0 = 38,3 \text{ с}^{-1}$.

В этом случае скорость выделения продуктов термолитиза описывается уравнением [11]:

$$\frac{dV}{d\tau} = k_0 \exp\left[-\frac{E_0}{RT_q}\right] (1-v), \varepsilon \leq x \leq S. \quad (6)$$

Изменение массы древесной коры в течение прогрева за счет выхода влаги и летучих веществ определяется соотношением

$$\frac{dm_q}{d\tau} = \frac{dW}{d\tau} + \frac{dY}{d\tau}. \quad (7)$$

Система уравнений (5)–(7) решена численным методом. Решение уравнения (5) получено методом конечных разностей по явной схеме аппроксимации производных. Уравнения (6) и (7) решены методом Рунге–Кутты четвертого порядка.

Для определения коэффициента теплопередачи между высоковлажным куском древесной коры и высокотемпературным газовым потоком в условиях вынужденной конвекции ($Re = 1 \dots 200$) используется формула [13]:

$$Nu = \frac{\alpha d_m}{\lambda} = Nu_0 + 1,07 Re^{0,48} Pr^{0,33} Gu^{0,175},$$

где λ – коэффициент теплопроводности газа при средней температуре между поверхностью куска коры и газом, Вт/(м·К); Nu_0 – критерий Нуссельта при $Re = 0$, $Nu_0 = 2$ (для значений $Nu > 80$ величиной Nu_0 можно пренебречь); Re – критерий Рейнольдса, $Re = (\omega_{r0} d_m) / \nu_t$; ν_t – коэффициент кинематической вязкости газа, м²/с; Pr – критерий Прандтля для газа.

Влияние массообмена на теплообмен учитывается критерием Гухмана:

$$Gu = (T_c - T_n) / T_c,$$

где T_c и T_n – температуры газа и поверхности материала, К.

Эффективный диаметр куска древесной коры, представленного в форме шара, определяется по формуле [10]:

$$d_m = \frac{1,125}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}},$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости дымовых газов среднего состава, $\nu = 1,125$; a , b , c – длина, ширина и толщина куска коры, имеющего форму параллелепипеда.

После достижения поверхностью материала древесной коры сухого состояния расчет коэффициента теплоотдачи проводится по формуле [1]:

$$Nu = 2 + 0,03 Re^{0,54} Pr^{0,33} + 0,35 Re^{0,58} Pr^{0,36},$$

где $Re < 3 \cdot 10^5$; $0,6 < Pr < 8000$.

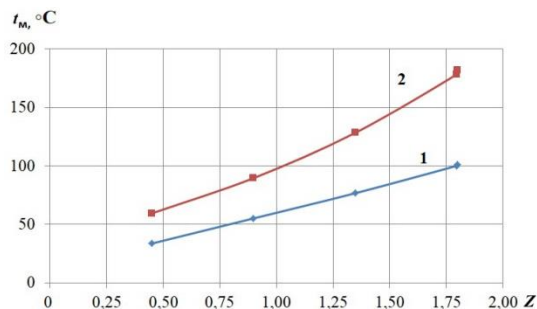
Результаты исследования и их обсуждение

Математическое моделирование прогрева отдельного куска древесной коры, находящегося на входе в слой греющих газов, хорошо согласуется с результатами, полученными с использованием решений Шумана и Анцелиуса. Сравнение результатов расчета прогрева высоковлажной одиночной частицы куска древесной коры по модели (1)–(4) и модели (5)–(7) показывает, что кусочки, расположенные в передней части продуваемого слоя прогреваются примерно одинаково. Время прогрева частицы древесной коры по модели (1)–(4) составляет 21,59 с, а по модели (5)–(7) – 26,00 с. Относительная погрешность 16,96 %. Оценку температурного поля по толщине слоя коры и газа можно проводить по модели (1)–(4).

На рис. 1 представлено изменение температур газа и прогреваемого материала в месте выхода газа из слоя. С увеличением продолжительности нагрева слоя температура материала и газа растет. Средняя температура газа остается не очень большой от момента начала прогрева слоя и до момента, когда материал полностью высушен.

Рис. 1. Изменение температур высушиваемого материала (1) и газа (2) в месте выхода газа из слоя

Fig. 1. Changes in the dryable material (1) and gas (2) temperatures at the point of gas emission from the layer



На рис. 2 представлено распределение температур прогреваемого слоя материала и греющего газа. К моменту высыхания высоковлажной древесной коры на выходе газа из слоя температура материала на входе в слой очень высокая. При этом превышена температура начала выхода летучих веществ, а также температура максимальной скорости реакции горения кокса. Эта температура выше диапазона температур интенсивного выхода летучих веществ.

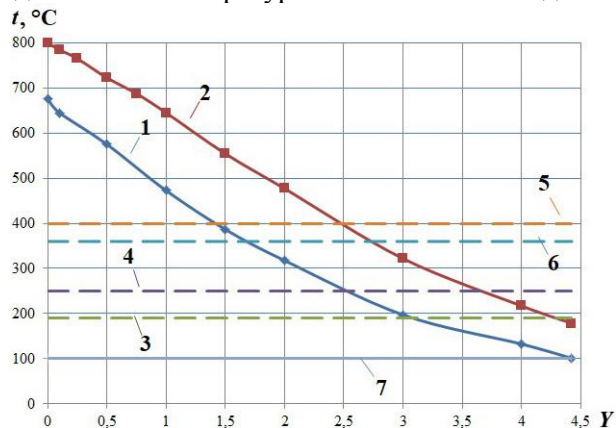


Рис. 2. Распределение температур по высоте слоя ($Z = 1,798$): 1 – температура коры; 2 – температура газа; 3 – температура начала выхода летучих веществ ($t_{в.л} = 190$ °C); 4 – нижняя граница температурного диапазона интенсивного выхода летучих веществ ($t = 250$ °C); 5 – верхняя граница температурного диапазона интенсивного выхода летучих веществ ($t = 400$ °C); 6 – температура максимальной скорости реакции горения летучих веществ ($t = 360$ °C); 7 – температура фазового перехода влаги ($T_{\phi} = 100$ °C)

Fig. 2. Distribution of the temperatures along the layer height ($Z = 1.798$): 1 – bark temperature; 2 – gas temperature; 3 – onset temperature of devolatilization ($t_{в.л} = 190$ °C); 4 – the lower limit of the temperature range of intensive devolatilization ($t = 250$ °C); 5 – the upper limit of the temperature range of intensive devolatilization ($t = 400$ °C); 6 – temperature of the maximum reaction rate of the volatile substances combustion ($t = 360$ °C); 7 – phase transition temperature of moisture ($T_{\phi} = 100$ °C)

На выходе из слоя теплоноситель будет содержать летучие вещества, т. е. газообразные горючие элементы. Таким образом, при сушке высоковлажной древесной коры в плотном продуваемом слое высокотемпературным газовым теплоносителем возможно содержание горючих элементов в газе на выходе из слоя.

На рис. 3 представлено распределение температур прогреваемого материала и газа по высоте слоя в направлении движения греющего газа. При этом температура газа не превышает температуру начала выхода летучих веществ из высоковлажной древесной коры. Продолжительность обработки нагреваемого материала – до момента выхода всей влаги. Безразмерное время увеличивается до значения $Z = 9,800$. При сушке высокотемпературным теплоносителем $Z = 1,798$ при таких же условиях исходного материала на входе в слой и на выходе из него.

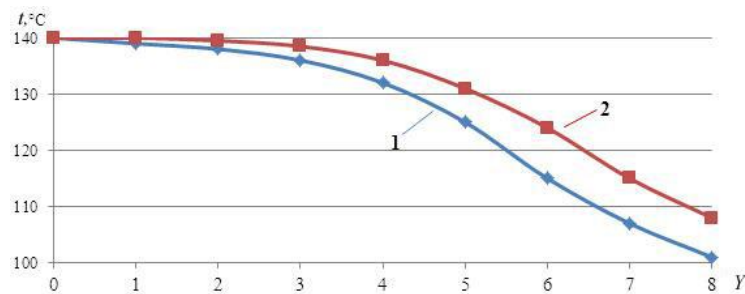


Рис. 3. Изменение температур сушильного агента и высушиваемого материала по толщине слоя коры ($T_r = 140$ °C):
1 – температура коры; 2 – температура газа

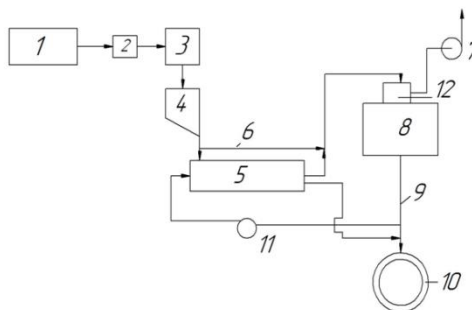
Fig. 3. Change in the temperatures of the drying agent and the material being dried over the bark layer thickness ($T_r = 140$ °C):
1 – bark temperature; 2 – gas temperature

Анализ полученных данных (см. рис. 1–2) показывает, что с увеличением температуры греющего теплоносителя снижается продолжительность прогрева слоя кусковых материалов. При повышении температуры теплоносителя в 5,7 раза продолжительность прогрева уменьшается в 5,45 раза при одних и тех же условиях для материала (влажность, характерный размер). При этом в слоях кускового материала, расположенных на входе греющего теплоносителя, начинают интенсивно выходить летучие вещества, а на выходе греющего теплоносителя из слоя материал полностью высушен.

На основании проведенных исследований разработана технологическая схема энергетического использования древесной коры в слоевых топках котлов и теплогенераторов деревообрабатывающих предприятий. Для утилизации высоковлажной древесной коры наиболее эффективной представляется двухступенчатая схема ее термической подготовки к сжиганию в топочных устройствах, обеспечивающая предварительную подсушку высоковлажной коры непосредственно перед сжиганием. На рис. 4 представлена теплотехническая схема сжигания древесной коры.

Рис. 4. Теплотехническая схема сжигания древесной коры: 1 – окорочный цех; 2 – магнитный сепаратор; 3 – корорубка; 4 – бункерное устройство; 5 – сушильная установка; 6 – конвейер; 7 – вентилятор; 8 – котельная; 9 – боров; 10 – дымовая труба; 11 – дымосос; 12 – сушилка

Fig. 4. Heat engineering diagram of wood bark combustion: 1 – debarking shop; 2 – magnetic separator; 3 – bark chopper; 4 – bunker; 5 – drying unit; 6 – conveyor; 7 – fan; 8 – boiler room; 9 – chimney intake; 10 – chimney; 11 – smoke exhauster; 12 – dryer



Кора из окорочного цеха проходит магнитный сепаратор. После извлечения металлических частиц она поступает в корорубку. Измельченная сырая кора направляется в бункерное устройство для накопления и буферного хранения сырой коры. Из бункерного устройства кора транспортируется в сушильную установку. В конвейерной сушилке она подсушивается дымовыми газами, подаваемыми из борова котельной дымососом.

Подсушенная кора из сушилки подается конвейерной лентой в топку котельной для сжигания. В топке она под действием собственного веса поступает в предтопок. Дымовые газы из топочной камеры пронизывают зажатый слой в верхней его части. Сушильный агент (5...10 %) вентилятором выбрасывается в окружающую среду. Отработавшие газы выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Если сушильная установка не работает, то кора подается конвейерной лентой в сушилку.

Кора перед подачей ее в топочное устройство подсушивается отходящими дымовыми газами в сушильной установке, а затем в сушилке, совмещенной с топкой котла, она прогревается до температуры начала выхода летучих веществ высокотемпературными дымовыми газами, забираемыми из топки котла. Сушка коры непосредственно перед ее сжиганием теплотехнически обоснована в том случае, если процесс осуществляется за счет вторичных тепловых ресурсов: тепла дымовых газов котельных и электростанций, тепла воздуха, выбрасываемого при вентиляции помещений и т. п.

Выводы

1. Проведено исследование прогрева плотного слоя высоковлажной древесной коры, продуваемого высокотемпературным и низкотемпературным теплоносителями.

2. Разработана методика оценки продолжительности прогрева продуваемого плотного слоя высоковлажной древесной коры.

3. Полученные результаты расчета температурных полей газа и материала высоковлажной древесной коры в продуваемом плотном слое позволяют организовать топочные процессы с учетом времени прогрева кусков коры, находящихся на поверхности слоя, на входе и выходе греющего газа – с учетом выхода летучих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аметистов Е.В., Григорьев В.А., Емцев Б.Т. и др. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. 512 с. [Ametistov E.V., Grigor'yev V.A., Emtsev B.T. et al. *Heat and Mass Transfer. Heat Engineering Experiment: A Handbook*. Ed. by V.A. Grigor'yev, V.M. Zorin. Moscow, Energoizdat Publ., 1982. 512 p.].
2. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод) / под ред. С.И. Мочана. Изд. 3-е. Л.: Энергия, 1977. 256 с. [Aerodynamic Analysis of Boiler Plants (Normative Method). Ed. by S.I. Mochan. Leningrad, Energiya Publ., 1977. 256 p.].
3. Головков С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 224 с. [Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energy Use of Wood Waste*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 224 p.].
4. Дорняк О.Р. Математическое моделирование процесса сушки древесины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2012. № 5. С. 100–107. [Dornyak O.R. Mathematical Modelling of Wood Drying Process. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2012, no. 5, pp. 100–107]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/047/%D0%9C%D0%A2%D0%941.pdf>
5. Ермоченков М.Г. Кинетические параметры процесса сушки древесины // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 6. С. 114–125. [Ermochenkov M.G. Kinetic Parameters of Wood Drying Process. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 6, pp. 114–125]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.6.114](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.6.114), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/443/3Ermochenkov.pdf>
6. Казанцев Е.И. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Металлургия, 1975. 368 с. [Kazantsev E.I. *Industrial Furnaces. Reference Manual for Calculations and Design*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 368 p.].
7. Любов В.К., Попов А.Н., Попова Е.И., Малыгин П.В., Солнышкова Л.М. Исследование эффективности сжигания древесного биотоплива в теплогенерирующей установке // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. С. 149–161. [Lyubov V.K., Popov A.N., Popova E.I., Malygin P.V., Solnyshkova L.M. Wood-Based Biofuel Efficiency in the Heat Producing Installation. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 149–161]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.4.149](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.149), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/5e9/3lyubov.pdf>
8. Любов В.К., Попова Е.И., Шкаева Н.В., Болотова К.С., Солнышкова Л.И. Исследование процесса торрефикации древесины // Вестн. ЧГУ. 2017. № 3(78). С. 38–45. [Lyubov V.K., Popova E.I., Shkaeva N.V., Bolotova K.S., Solnyshkova L.I. A Study of Wood Torrefaction. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2017, no. 3(78), pp. 38–45]. DOI: [10.23859/1994-0637-2017-3-78-4](https://doi.org/10.23859/1994-0637-2017-3-78-4)
9. Максимук Ю.В., Пономарев Д.А., Курсевич В.Н., Фесько В.В. Теплота сгорания древесного топлива // Изв. вузов. Лесн. журн. 2017. № 4. С. 116–129. [Maksimuk Yu.V., Ponomarev D.A., Kursevich V.N., Fes'ko V.V. Calorific Value of Wood Fuel. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2017, no. 4, pp. 116–129]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2017.4.116](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2017.4.116), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/6a0/1maksimchuk.pdf>
10. Синицын Н.Н., Телин Н.В., Домрачев Д.А., Антонова Ю.А., Никонова Е.Л., Петрова Г.М. Исследование конвективного теплообмена при сушке коры деревьев в плотном слое // Вестн. ЧГУ. 2016. № 3(72). С. 24–28. [Sinitsyn N.N., Telin N.V., Domrachev D.A., Antonova Y.A., Nikonova E.L., Petrova G.M. The Study of Convective Heat Transfer during Drying in a Dense Layer of Tree Bark. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2016, no. 3(72), pp. 24–28].

11. Синицын Н.Н., Телин Н.В., Грызлов В.С., Андреев А.С., Виноградова М.С., Гаркавиченко Э.В., Гневашева Т.В., Кузнецова В.П., Павлова А.И. Моделирование динамики выхода влаги и летучих веществ в процессе нагрева древесной биомассы (кору) // Вестн. ЧГУ. 2018. № 2(83). С. 47–53. [Sinitsyn N.N., Telin N.V., Gryzlov V.S., Andreev A.S., Vinogradova M.S., Garkavchenko E.V., Gnevasheva T.V., Kuznetsova V.P., Pavlova A.I. Study on Opportunities and Evaluation of Time of Wood Crude Drying with Waste High-Temperature Smoke Gases of Boiler Units. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2018, no. 2(83), pp. 47–53]. DOI: [10.23859/1994-0637-2018-1-83-6](https://doi.org/10.23859/1994-0637-2018-1-83-6)
12. Степанов В.С., Степанова Т.Б., Старикова Н.В. Оценка теплотехнических характеристик древесного топлива // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1(25). С. 117–123. [Stepanov V.S., Stepanova T.B., Starikova N.V. Evaluating Burning Characteristics of Wood Fuels. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 1(25), pp. 117–123].
13. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов. Л.: Химия, 1987. 208 с. [Frolov V.F. *Modeling the Drying of Dispersed Materials*. Leningrad, Khimiya Publ., 1987. 208 p.].
14. Чернов А.А., Марьяндышев П.А., Любов В.К. Исследование различных видов биотоплива методом хроматографии газовых смесей // Вестн. ЧГУ. 2015. № 2(63). С. 44–49. [Chernov A.A., Maryandyshev P.A., Lyubov V.K. Studying the Different Kinds of Biofuels Using the Gas Chromatography of Gaseous Mixtures. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2015, no. 2(63), pp. 44–49].
15. Bioenergy. Ch. 7. *World Energy Resources: 2013 Survey*. London, World Energy Council, 2013. 24 p. Available at: https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2013/10/WER_20137Bioenergy.pdf (accessed 27.12.18).
16. Bobkov V.I., Borisov V.V., Dli M.I., Meshalkin V.P. Intensive Technologies for Drying a Lump Material in a Dense Bed. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2017, vol. 51, iss. 1, pp. 70–75. DOI: [10.1134/S0040579517010031](https://doi.org/10.1134/S0040579517010031)
17. Dahlen J., Prewitt L., Shmulsky R., Jones D. Hazardous Air Pollutants and Volatile Organic Compounds Emitted during Kiln Drying of Southern Pine Lumber to Interior and Export Moisture Specifications. *Forest Products Journal*, 2011, vol. 61, iss. 3, pp. 229–234. DOI: [10.13073/0015-7473-61.3.229](https://doi.org/10.13073/0015-7473-61.3.229)
18. Di Blasi C. Heat, Momentum and Mass Transport through a Shrinking Biomass Particle Exposed to Thermal Radiation. *Chemical Engineering Science*, 1996, vol. 51, iss. 7, pp. 1121–1132. DOI: [10.1016/S0009-2509\(96\)80011-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2509(96)80011-X)
19. Flach B., Bendz K., Krautgartner R., Lieberz S. *EU-27. Biofuels Annual. EU Biofuels Annual 2013*. Report No. NL3034. The Hague, USDA Foreign Agricultural Service, 2013. 34 p.
20. Howard J.B., Essenling R.H. Pyrolysis of Coal Particles in Pulverized Fuel Flames. *Industrial and Engineering Chemistry, Process Design and Development*, 1967, vol. 6, no. 1, pp. 74–84. DOI: [10.1021/i260021a013](https://doi.org/10.1021/i260021a013)
21. Lubov V.K., Diachkov V.A. Methodical Aspects of Energy Audit. *International Conference. Forest Sector Development Problems. Extended Abstracts*. Petrozavodsk, 1998, pp. 26–27.
22. Lubov V.K., Diachkov V.A., Lubova O.A. Some Problems of Small Energetics and Ways of Their Solution. *International Conference. Forest Sector Development Problems. Extended Abstracts*. Petrozavodsk, 1998, pp. 25–26.
23. *Lumber Drying Sourcebook: 40 Years of Practical Experience*. Ed. by E.M. Wengert, R.L. Toennisson. Madison, WI, Forest Products Society, 1998. 371 p.
24. Magdziarz A., Wilk M., Straka R. Combustion Process of Torrefied Wood Biomass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2017, vol. 127, pp. 1339–1349. DOI: [10.1007/s10973-016-5731-0](https://doi.org/10.1007/s10973-016-5731-0)

25. Maryandyshev P.A., Chernov A.A., Popova E.I., Lyubov V.K. Thermal Decomposition and Combustion of Coals, Fuel Wood, and Hydrolytic Lignin, as Studied by Thermal Analysis. *Solid Fuel Chemistry*, 2016, vol. 50, iss. 3, pp. 167–176. DOI: [10.3103/S0361521916030095](https://doi.org/10.3103/S0361521916030095)
26. Maryandyshev P.A., Chernov A.A., Popova E.I., Eseev M.K., Lyubov V.K. The Isothermal Degradation of Wood. *Solid Fuel Chemistry*, 2016, vol. 50, iss. 6, pp. 381–389. DOI: [10.3103/S0361521916060069](https://doi.org/10.3103/S0361521916060069)
27. Maryandyshev P.A., Popova E.I., Chernov A.A., Eseev M.K., Lyubov V.K. Isothermal and Morphological Studies of the Torrefaction of Spruce Wood. *Solid Fuel Chemistry*, 2018, vol. 52, iss. 3, pp. 153–162. DOI: [10.3103/S0361521918030072](https://doi.org/10.3103/S0361521918030072)
28. Maryandyshev P.A., Popova E.I., Chernov A.A., Popov M.S., Lyubov V.K., Trouve G. et al. Thermal Decomposition and Combustion of Biofuels. *Solid Fuel Chemistry*, 2017, vol. 51, iss. 6, pp. 370–378. DOI: [10.3103/S0361521917060052](https://doi.org/10.3103/S0361521917060052)
29. Peters B., Bruch C. Drying and Pyrolysis of Wood Particles: Experiments and Simulation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2003, vol. 70, iss. 2, pp. 233–250. DOI: [10.1016/S0165-2370\(02\)00134-1](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(02)00134-1)
30. Poletto M., Zattera A.J., Forte M.M.C., Santana R.M.C. Thermal Decomposition of Wood: Influence of Wood Components and Cellulose Crystallite Size. *Bioresource Technology*, 2012, vol. 109, pp. 148–153. DOI: [10.1016/j.biortech.2011.11.122](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.122)
31. Reid A.M., Robertson K.M. Energy content of common fuels in Upland Pine Savannas of the South-Eastern US and Their Application to Fire Behaviour Modelling. *International Journal of Wildland Fire*, 2012, vol. 21(5), pp. 591–595. DOI: [10.1071/WF10139](https://doi.org/10.1071/WF10139)
32. Telmo C., Lousada J. Heating Values of Wood Pellets from Different Species. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35(7), pp. 2634–2639.
33. Zeng W., Tang S., Xiao Q. Calorific Values and Ash Contents of Different Parts of Masson Pine Trees in Southern China. *Journal of Forestry Research*, 2014, vol. 25, iss. 4, pp. 779–786. DOI: [10.1007/s11676-014-0525-3](https://doi.org/10.1007/s11676-014-0525-3)

MATHEMATICAL MODELING OF THE BARK DRYING PROCESS

N.N. Sinityn, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [J-1662-2018](https://orcid.org/0000-0001-8919-0573),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8919-0573>

N.V. Telin, Doctor of Engineering, Prof.

Cherepovets State University, prosp. Lunacharskogo, 5, Cherepovets, 162600, Russian Federation; e-mail: nnsinityn@chsu.ru, telin_nv@mail.ru

Currently, a large amount of wood bark waste is generated at the timber processing enterprises of the Russian Federation, which is not widely used in industry and has a negative impact on the environment. One of the feasible directions for the processing of such waste is its burning in layered furnaces. However, tree bark, due to its high moisture content and extremely heterogeneous fractional composition, belongs to a low-energy, difficult-to-burn fuel. High humidity reduces the energy density of the bark. The extremely heterogeneous fractional composition of tree bark (linear dimensions of random bark chips can vary from millimeters to tens of centimeters) complicates the organization of the burning process. Effective utilization of tree bark is ensured when it is pre-dried to a moisture content of 55–60 % and the size of bark chips not exceeding 100 mm. The purpose of the presented work is to study the temperature field in a dense blown layer of high-moisture bark when drying it with high-temperature flue gases from boiler units. A mathematical model for heating the dense layer of high moisture tree bark has been developed based on the physics analysis. It was done taking into account the assessment of the bark dense layer thickness, which uses the method of calculating the aerodynamic resistance of a transversely blown layer to a gas flow. Numerical experiments were carried out in order to calculate the temperature fields during the heating of a single chip of high moisture tree bark located in the front part of the

dense blown layer. The calculation data were compared with the results obtained using the developed model. A procedure that allows calculating the total duration of heating the wet material until the layer is completely dry, the time spent on heating the blown dense layer until the complete release of volatile substances, and the temperature fields in the bark layer and gas flow has been developed on the basis of mathematical modeling of the process of the dense layer heating and thermal preparation of high moisture tree bark for burning. A scheme for preparing high moisture tree bark for burning and a method for determining the characteristic parameters of a two-stage scheme of energy use of high moisture tree bark in layered furnaces of boilers and heat generators are proposed.

For citation: Sinitsyn N.N., Telin N.V. Mathematical Modeling of the Bark Drying Process. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 159–171. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-159-171

Keywords: drying, high moisture bark, furnace devices, mathematical model of heating a blown dense layer, blown dense layer, temperature field of a blown dense layer, moisture phase transition.

Поступила 05.11.19 / Received on November 5, 2019

УДК 621.365.5

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-172-181

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ПИЛ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОЛОТНЕ

В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

И.И. Соловьев, канд. техн. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7073>

Т.В. Тюрикова, канд. техн. наук; ResearcherID: [P-8991-2019](https://orcid.org/0000-0002-3592-310X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-310X>

Н.В. Пономарева, канд. техн. наук; ResearcherID: [A-5693-2019](https://orcid.org/0000-0001-6210-5631),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6210-5631>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.melekhov@narfu.ru, i.solovev@narfu.ru, t.turikova@narfu.ru, n.ponomareva@narfu.ru

Устойчивость пилы в процессе работы характеризует способность полотна пилы сопротивляться силам, действующим на него в плоскости наибольшей жесткости. Пила может надежно работать только при условии сохранения устойчивого равновесия, которое достигается за счет создания разными методами нормированных остаточных напряжений в определенных зонах пильного полотна, уравнивающих силы внешнего воздействия. Для придания работоспособности круглой пиле в центральной части полотна создают напряжения сжатия, компенсирующие силы центробежного ускорения, температурный нагрев отдельных зон полотна пилы, внешние продольные и поперечные изгибающие силы, возникающие при обработке материала. На практике создание нормированных напряжений в пильном диске круглой пилы традиционно осуществляется только локальным механическим контактным воздействием (проковкой, вальцеванием) рабочего органа пилоправного инструмента на стальной диск пилы. Предложено вместо традиционной механической обработки полотна пилы формировать напряженное состояние диска теплофизическим (термопластическим) воздействием, которое заключается в создании нормированных остаточных напряжений в пильном полотне концентрированными тепловым воздействием на локальные разноректорно направленные узкоконтактные зоны прямой или криволинейной формы, в основном радиально или по концентрическим следам, с контролем процесса в режиме реального времени. Новый подход к формированию полей остаточных напряжений в полотне пилы термопластическим воздействием позволяет кардинально изменить подготовку круглой пилы с обеспечением ее устойчивости в работе.

Для цитирования: Мелехов В.И., Соловьев И.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.В. Повышение устойчивости дереворежущих пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 172–181. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-172-181

Ключевые слова: термопластические напряжения, круглая пила, устойчивость пилы, высокоскоростной нагрев.

Введение

В деревообрабатывающей промышленности основным видом дереворежущего инструмента являются круглые и полосовые (рамные и ленточные) пилы, в основном изготовленные из тонколистовой инструментальной легированной стали 9ХФ (90ХФ) и др. [6].

Основная характеристика инструмента – работоспособность – это состояние, при котором инструмент способен выполнять обработку древесины резанием в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Дереворежущие пилы в процессе работы подвергаются сложному воздействию силовых и температурных факторов [4, 15–19], вызывающих удлинение пильного полотна и возникновение внутренних напряжений, выводящих его из плоской формы упругого равновесия и снижающих работоспособность инструмента. Способность пил противодействовать этим силовым воздействиям определяется жесткостью и устойчивостью полотна пилы. Устойчивость полотна пилы характеризует способность сопротивляться силам, воздействующим на него в плоскости наибольшей жесткости [12].

Круглая пила выполнена в виде тонкого стального диска с центральным отверстием и зубчатой кромкой. Первоначально после изготовления пильный диск имеет плоскую форму равновесия, которое может быть нарушено при любом внешнем воздействии на пилу в процессе резания, что вызывает отклонение полотна и режущей кромки пилы от исходного рабочего состояния и снижение точности и качества обработки древесины. Для придания работоспособности круглой пиле в центральной части полотна проковкой или вальцеванием создают напряжения сжатия, компенсирующие силы центробежного ускорения, температурного нагрева отдельных зон полотна пилы, внешних продольных и поперечных изгибающих сил, возникающих при обработке материала.

На практике создание нормированных напряжений в пильном диске круглой пилы традиционно осуществляется только локальным контактным воздействием (проковкой, вальцеванием) рабочего органа пилоправного инструмента на стальной диск пилы. При этом требуемое качество подготовки пилы определяется соответствующей квалификацией оператора.

Цель исследования заключается в разработке нового подхода к повышению устойчивости круглых пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне, формирование полей напряженного состояния полотна пилы, обеспечивающих его устойчивость и повышение работоспособности.

Объекты и методы исследования

Предложено формировать напряженное состояние диска пилы теплофизическим воздействием [7–10, 14]. Термопластическое воздействие заключается в создании нормированных остаточных напряжений в пильном полотне концентрированным тепловым воздействием на локальные разноректорно направленные узкополосные зоны прямой или криволинейной формы, в основном радиально или по концентрическим следам (рис. 1), с контролем процесса в режиме реального времени.

Рассматриваемый термопластический способ создания нормированных напряжений в диске пилы основан на высокоскоростном нагреве локальных зон полотна пилы и получении поперечно расположенных по диску пилы температурных напряжений, превышающих предел текучести (упругости) металла и приводящих к появлению термопластических остаточных деформаций [7–10, 14], которые формируют в полотне пилы требуемые остаточные напряжения, позволяющие обеспечивать ее устойчивое состояние в процессе работы.

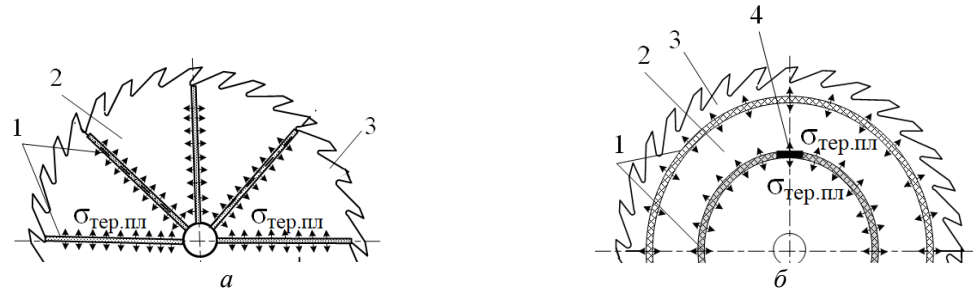


Рис. 1. Круглая пила: *а* – с радиальными зонами нагрева; *б* – с коаксиальными зонами нагрева: 1 – локальные разноректорно направленные узкополосные зоны нагрева; 2 – диск пилы; 3 – зубчатая кромка; 4 – элемент локальной узкополосной зоны ($\sigma_{\text{тер. пл}}$ – термопластическое напряжение)

Fig. 1. Circular saw: *a* – with radial heating zones; *б* – with coaxial heating zones: 1 – local differently directed narrow-band heating zones; 2 – sawing disc; 3 – toothed edge; 4 – element of the local narrow-band zone ($\sigma_{\text{тер. пл}}$ – thermoplastic stress)

Математическая модель процесса формирования и количественной оценки остаточных напряжений после термопластического деформирования материала при нагреве локальной зоны полотна пилы основана на теореме Генки о разгрузке. По теореме остаточные напряжения равны разности между истинными напряжениями в упругопластическом теле и напряжениями, которые создавались бы в теле при предположении об идеально упругом материале. С физической точки зрения образование остаточных напряжений связано с необратимыми (остаточными) изменениями объема локального участка полотна пилы. Эти изменения объема локального участка полотна при охлаждении зоны вызывают остаточные напряжения на границах зоны. По теореме о разгрузке для определения остаточных напряжений в полотне пилы необходимо вычислить напряженное состояние для реального и фиктивного упругопластического тела.

Результаты исследования и их обсуждение

Для уточнения пределов температур, вызывающих формирование остаточных термопластических напряжений в полотне при высокоскоростном нагреве части локальной полосовой зоны, выполнен расчет. Процесс формирования напряжений рассмотрен на примере нагрева стержня (рис. 2), заделанного концами в абсолютно жесткие плоскости [16], что моделирует часть локальной узкополосной зоны полотна пилы при учете напряжений по направлению оси определенного элемента. Расстояние между плоскостями остается неизменным, так как эти плоскости за границей участка не подвергаются нагреву, что является принципиально важным.

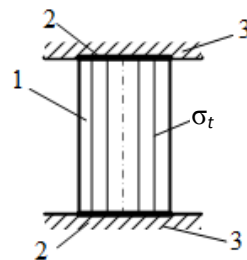


Рис. 2. Расчетная модель: 1 – элемент локальной узкополосной зоны (стержень); 2 – граница участка; 3 – граничная плоскость (σ_t – температурные напряжения)

Fig. 2. Design model: 1 – element of the local narrow-band zone (rod); 2 – border of the plot; 3 – boundary plane (σ_t – temperature stresses)

При нагреве определенного локального узкополосного участка до температуры t в нем возникнут температурные напряжения:

$$\sigma_t = -E\varepsilon_t,$$

где E – модуль упругости металла, МПа; ε_t – относительная температурная деформация.

Принимаем, что в пределах рассматриваемого интервала температур от 200 до 300 °С [5, 6] при условии, что механические свойства стали при нагреве остаются практически постоянными, среднее значение коэффициента линейного расширения материала полотна пилы равно $\alpha(t)$, тогда $\varepsilon_t = \alpha(t)t$.

Следовательно

$$\sigma_t = -E\alpha(t)t.$$

Для стали 9ХФ (90ХФ) принимаем:

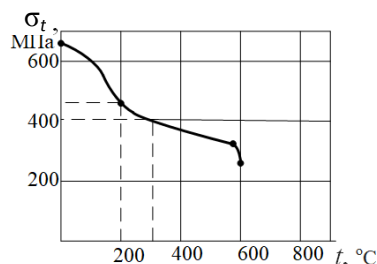
$$E = 196,1 \cdot 10^3 \text{ МПа}; \quad \alpha(t) = 11 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C},$$

при $t = 200$ °С относительное температурное напряжение $\sigma_t = 431$ МПа, при $t = 300$ °С – $\sigma_t = 400$ МПа.

В интервале температур от 200 до 300 °С температурные напряжения превышают предел текучести стали 90ХФ (рис. 3) и после охлаждения на границе участка локальной зоны возникают остаточные напряжения, уровень которых определяется градиентом температур, а величина – механическим, графическим или аналитическим способами.

Рис. 3. Зависимость предела текучести стали 90ХФ от температуры

Fig. 3. Dependence of the yield point of steel 90HF on temperature



При этом следует учитывать, что под температурой t в расчетах понимается градиент температур на границе элемента локального полосового участка, который достигает максимума при условии неизменности температуры абсолютно жесткой граничной плоскости.

Такой высокоскоростной нагрев элемента локальной зоны полотна может быть осуществлен концентрированным импульсным подводом энергии в зону нагрева. В некоторых предыдущих работах предлагалось производить локальный нагрев лазером, но желаемый результат не получен, так как при лазерном нагреве происходит точечный нагрев только поверхности материала, что не обеспечивает нагрев узкополосной зоны на всю толщину пильного полотна. Высокоскоростной подвод энергии к рассматриваемому элементу может быть проведен за счет индукционного нагрева [8, 9, 13, 20]. При этом происходит равномерный прогрев по всему объему материала элемента локального участка полотна пилы, энергия передается от индуктора к разогреваемой поверхности бесконтактно, посредством электромагнитных волн.

Математическая модель формирования остаточных термопластических напряжений в полотне пилы основана на применении метода определения остаточных напряжений путем решения связанной краевой задачи термоупру-

гопластичности в течение всего периода формоизменения локальной зоны и ее охлаждения после пластической деформации. Решение системы дифференциальных уравнений равновесия локальной зоны, геометрических уравнений, определяющих соотношения для пластической области и упругой разгрузки с использованием начальных и граничных условий зоны осуществляется методом конечных элементов [1–3, 5, 11, 18, 21, 22]. Тогда остаточные термопластические напряжения определяются как напряжения, действующие в полотне после охлаждения.

Остаточные напряжения в диске пилы формируются первоначальными деформациями [14], возникающими при равномерном нагреве по всему объему материала элемента локального узкополосного участка полотна. При этом в элементе происходят изменения линейных размеров, связанные со структурными или иными превращениями материала. Учитывая, что нагрев локального участка полотна пилы проводится по радиальным или коаксиальным узкополосным зонам, форма нагреваемого элемента при расчете величины остаточных напряжений в локальной зоне принята прямоугольной, в отличие от традиционно принимаемой трапециевидальной. Остаточные деформации в радиальном ε_{0r} , окружном $\varepsilon_{0\theta}$ и осевом ε_{0z} направлениях в каждой т. А элемента определяются координатами r и z (рис. 4).

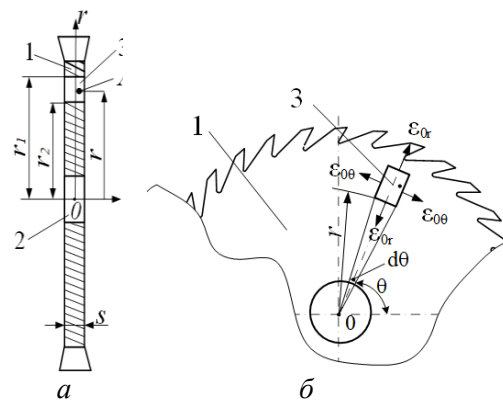


Рис. 4. Круглая пила с элементом локальной узкополосной зоны: а – полотно пилы в разрезе; б – элемент локальной узкополосной зоны в полотне пилы: 1 – полотно пилы; 2 – центральное отверстие; 3 – элемент локальной зоны; r_1 – расстояние от центра пилы до верхней границы элемента; r_2 – расстояние от центра пилы до нижней границы элемента

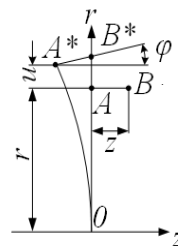
Fig. 4. Circular saw with an element of the local narrow-band zone: а – section of the saw blade; б – element of the local narrow-band zone in the saw blade: 1 – saw blade; 2 – central hole; 3 – local zone element; r_1 – distance from the saw center to the upper border of the element; r_2 – distance from the saw center to the lower border of the element

При высокоскоростном нагреве элемента локальной зоны пилы начальные остаточные деформации в радиальном и окружном направлениях одинаковы ($\varepsilon_{0r} = \varepsilon_{0\theta} = \varepsilon_0$), а остаточная деформация в направлении оси z не вызывает остаточных деформаций в тонком диске пилы.

Под воздействием первоначальных остаточных температурных деформаций точки срединной плоскости нагретого элемента локального участка пилы А и В получают радиальное смещение $u(r)$, угол поворота нормали $\varphi(r)$, смещаясь в положение А* и В* (рис. 5).

Рис. 5. Точечные смещения в полотне пилы в результате возникновения первоначальной тепловой деформации

Fig. 5. Point displacements in the saw blade as a result of initial thermal deformation



Применяя гипотезу жесткой нормали Кирхгофа для радиального смещения в произвольной точке локальной зоны, получаем выражение

$$u(r, z) = u_0(r) + z\varphi(r).$$

Относительные деформации в окружном ε_r и радиальном ε_θ направлениях:

$$\varepsilon_r = \frac{du_0}{dr} + z \frac{d\varphi}{dr};$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{du_0}{dr} + z \frac{\varphi}{r}.$$

Полагаем, что деформации материала локальной зоны полотна пилы, вызванные тепловой первоначальной деформацией, упругие, тогда эти выражения получаем в виде:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \mu\sigma_\theta) + \varepsilon_0;$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\sigma_\theta - \mu\sigma_r) + \varepsilon_0,$$

где σ_r и σ_θ – радиальные и окружные нормальные напряжения в локальной зоне диска пилы; μ – коэффициент Пуассона; ε_0 – начальные (предшествующие) удлинения в элементе пильного диска.

Силы M и N , возникающие под воздействием первоначальных тепловых напряжений, и действующие на единицу длины сечения элемента локальной зоны, показаны на рис. 6.

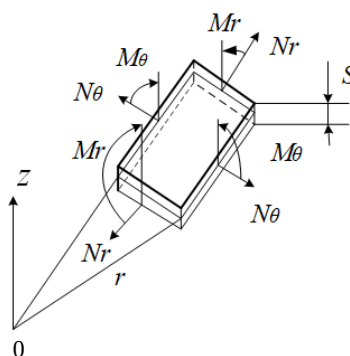


Рис. 6. Силы, действующие на единицу длины сечения элемента

Fig. 6. Forces acting on a unit of element section length

Проведя аналогию между температурными напряжениями и напряжениями от первоначальных остаточных деформаций [17], получаем следующие выражения для силовых факторов в сечении элемента:

$$N_r(r) = \theta(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) - \theta(r),$$

где

$$N_{\theta}(r) = \theta(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) + \theta(r) - (1 - \mu) T(r);$$

$$M_r(r) = -\psi(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) + \psi(r);$$

$$M_{\theta}(r) = \psi(r_1) \frac{r_1^2}{r_1^2 - r_2^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r^2} \right) - \psi(r) + (1 - \mu) S(r),$$

$$\theta(r) = \frac{1 - \mu}{r^2} \int_{r_2}^{r_1} r T(r) dr;$$

$$T(r) = \frac{1}{1 - \mu} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0(r_n) dz;$$

$$\psi(r) = \frac{1 - \mu}{r^2} \int_{r_2}^{r_1} r S(r) dr;$$

$$S(r) = \frac{1}{1 - \mu} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0(z) dz.$$

Остаточные напряжения в полотне пилы определяются выражениями:

$$\sigma_r = \frac{N_r}{S} - z \frac{12M_r}{S^3} + \frac{1}{1 - \mu} \left[\frac{1}{S} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz + z \frac{12 \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz}{S^3} - E \varepsilon_0 \right];$$

$$\sigma_{\theta} = \frac{N_{\theta}}{S} - z \frac{12M_{\theta}}{S^3} + \frac{1}{1 - \mu} \left[\frac{1}{S} \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz + z \frac{12 \int_{-\frac{s}{2}}^{\frac{s}{2}} E \varepsilon_0 dz}{S^3} - E \varepsilon_0 \right].$$

Заключение

Новый подход к формированию полей остаточных напряжений в полотне пилы термопластическим воздействием позволяет кардинально изменить подготовку круглой пилы с обеспечением ее устойчивости в работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с. [Birger I.A. *Residual Stresses*. Moscow, Mashgiz Publ., 1963. 232 p.]

2. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2002. 329 с. [Bogatov A.A. *Mechanical Properties and Fracture Models of Metals*. Yekaterinburg, USTU Publ., 2002. 329 p.].

3. Богатов А.А. Остаточные напряжения и разрушение металла // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина: материалы 6-й междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та, 2013. С. 95–101. [Bogatov A.A. Residual Stresses and Fracture of Metal. *Innovation Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering: Proceedings of the 6th International Youth Scientific and Practical Conference "Innovation Technologies in Metallurgy and Mechanical Engineering. Ural Scientific and Pedagogical School Named after Professor A.F. Golovin"*. Yekaterinburg, URFU Publ., 2013, pp. 95–101].

4. Боровиков Е.М., Орлов Б.Ф. Термический способ подготовки круглых пил к работе // Изв. вузов. Лесн. журн. 1974. № 6. С. 90–96. [Borovikov E.M., Orlov B.F. Thermal Method of Preparing Circular Saws for Work. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 1974, no. 6, pp. 90–96]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/1974/6.pdf>

5. Бородин И.Н., Майер А.Е., Петров Ю.В., Груздков А.А. Максимум предела текучести при квазистатической и высокоскоростной пластической деформации металлов // Физика твердого тела. 2014. Т. 56, вып. 12. С. 2384–2393. [Borodin I.N., Mayer A.E., Petrov Yu.V., Gruzdkov A.A. Maximum Yield Strength under Quasi-Static and High-Speed Flow of Metals. *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid State], 2014, vol. 56, iss. 12, pp. 2384–2393].

6. ГОСТ 5950–2000. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. 35 с. [State Standard. *GOST 5950-2000. Tool Alloy Steel Bars, Strips and Coils. General Specifications*. Moscow, Izdatel'stvo standartov, 2003. 35 p.].

7. Мелехов В.И., Соловьев И.И. Создание термопластических напряжений в пильном диске круглой пилы // Изв. вузов. Лесн. журн. 2010. № 2. С. 87–90. [Melekhov V.I., Soloviev I.I. Creation of Thermoplastic Tension in Circular Saw Blade. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2010, no. 2, pp. 87–90]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/b08/b087c4466253da22ed3e19c778437576.pdf>

8. Патент 2434952 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических напряжений в пильном диске круглой пилы: № 2010117098: заявл. 29.04.2010; опубл. 27.11.2011 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев. [Solov'ev I.I., Melekhov V.I. *Device to Develop Thermoplastic Stresses in Saw Blade of Ring Saw*. Patent RF no. RU 2434952 C1, 2011].

9. Патент 2614863 Российская Федерация. Устройство для создания термопластических напряжений в полосовых пилах: № 2015141255: заявл. 28.09.2015; опубл. 29.03.2017 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев. [Melekhov V.I., Solovev I.I. *Device for Creation of Thermoplastic Concentrated Stresses in Strip Saws*. Patent RF no. RU 2614863 C1, 2017].

10. Патент 2663029 Российская Федерация. Способ термопластического натяжения пильного диска круглой пилы: № 2017121665: заявл. 21.06.2017; опубл. 01.08.2018 / В.И. Мелехов, И.И. Соловьев. [Solovev I.I., Melekhov V.I. *Method of Thermoplastic Tensioning of the Round Saw Circular Saw Blade*. Patent RF no. RU 2663029 C1, 2018].

11. Поздеев А.А., Няшин Ю.И., Трусов П.В. Остаточные напряжения: теория и приложения: моногр. М.: Наука, 1982. 109 с. [Pozdeyev A.A., Nyashin Yu.I., Trusov P.V. *Residual Stresses: Theory and Applications*: Monograph. Moscow, Nauka Publ., 1982. 109 p.].

12. Прокофьев Г.Ф. Создание высокотехнологичных лесопильных станков: моногр. Архангельск: СОЛТИ, 2018. 157 с. [Prokof'yev G.F. *Creation of High-Tech Sawmills*: Monograph. Arkhangelsk, Solti Publ., 2018. 157 p.].

13. Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунэр А.В. Установки индукционного нагрева / под ред. А.Е. Слухоцкого. Л.: Энергоатомиздат; Ленингр. отд-ние, 1981. 328 с. [Slukhotskiy A.E., Nemkov V.S., Pavlov N.A., Bamuner A.V. *Installations of Induction Heating*. Ed. by A.E. Slukhotskiy. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1981. 328 p.].
14. Соловьев И.И. Совершенствование термопластической технологии подготовки круглых пил: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2012. 18 с. [Solov'yev I.I. *Improvement of Thermoplastic Technology for Setting-up Procedures of Circular Saws*: Cand. Eng. Sci. Dis. Abs. Arkhangelsk, 2012. 18 p.].
15. Стахив Ю.М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 296 с. [Stakhiyev Yu.M. *Stability and Vibration of Flat Circular Saws*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 296 p.].
16. Стахив Ю.М. Научно-технологические основы производства, подготовки и эксплуатации плоских круглых пил для распиловки древесины: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск, 2002. 32 с. [Stakhiyev Yu.M. *Scientific and Technological Bases of Production, Setting-up and Operation of Flat Circular Saws for Wood Sawing*: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2002. 32 p.].
17. Якунин Н.К. Подготовка круглых пил к работе. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 153 с. [Akunin N.K. *Setting-up of Circular Saws*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 153 p.].
18. Bathe K.J. *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*. New Jersey, Prentice Hall, 1982. 735 p.
19. Bayer R.G. *Mechanical Wear Fundamentals and Testing*. New York, CRC Press, 2004. 416 p.
20. Calladine C.R. *Theory of Shell Structures*. Cambridge, Cambridge University Press, 1983. 763 p. DOI: [10.1017/CBO9780511624278](https://doi.org/10.1017/CBO9780511624278)
21. Hughes T.J.R., Hinton E. *Finite Element Methods for Plates and Shells: Elements Technology*. Swansea, Pineridge Press, 1986, vol. 1. 315 p.
22. Meyers M.A., Chawla K.K. *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge, Cambridge University Press, 2009. 856 p.

IMPROVING THE STABILITY OF WOOD-CUTTING SAWS BY THERMOPLASTIC ACTION ON THE DISTRIBUTION OF RESIDUAL STRESSES IN THE BLADE

V.I. Melekhov, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Q-1051-2019](https://orcid.org/0000-0002-2583-3012),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2583-3012>

I.I. Solovev, Candidate of Engineering; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2008-7073>

T.V. Tyurikova, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [P-8991-2019](https://orcid.org/0000-0002-3592-310X),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3592-310X>

N.V. Ponomareva, Candidate of Engineering; ResearcherID: [A-5693-2019](https://orcid.org/0000-0001-6210-5631),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6210-5631>

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.melekhov@narfu.ru, i.solovev@narfu.ru, t.turikova@narfu.ru, n.ponomareva@narfu.ru

The saw stability in operation defines the ability of the saw blade to resist the forces acting on it in the plane of greatest rigidity. The saw can work reliably only in case of maintaining stable balance, which is achieved through the creation of normalized residual stresses in certain zones of the saw blade by different methods. The stresses balance the forces of external influences. Compressive stresses are created in the central part of the blade to make the circular saw operational. These stresses compensate the forces of centrifugal acceleration, temperature heating of individual zones of the saw blade, external longitudinal and

transverse bending forces arising in material processing. In practice, the creation of normalized stresses in the saw disk is traditionally carried out only by local mechanical contact action (forging, rolling) of the saw blade tool on the steel saw blade. It is proposed to form the stressed state of the disk by thermophysical action instead of the traditional mechanical processing of the saw blade. The thermophysical action involves the creation of normalized residual stresses in the saw blade by the concentrated thermal exposure to local differently directed narrow-band zones of straight or deflected shape, mainly radial or along concentric traces, controlling the process in real time. A new approach to the formation of residual stress fields in the saw blade by thermoplastic action enables to radically change the setting-up procedure of the circular saw, ensuring its stability in operation.

For citation: Melekhov V.I., Solovev I.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.V. Improving the Stability of Wood-Cutting Saws by Thermoplastic Action on the Distribution of Residual Stresses in the Blade. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 172–181. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-172-181

Keywords: thermoplastic stresses, circular saw, saw stability, high-speed heating.

Поступила 22.12.19 / Received on December 22, 2019



УДК 676.064.2:655.1

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-182-193

ПРИМЕНЕНИЕ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОГО ОЛИГОМЕРА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА БУМАЖНО-КАРТОННОЙ ПРОДУКЦИИ

*Н.В. Черная¹, д-р техн. наук, проф.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8306-8590>**Н.И. Богданович², д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [A-4662-2013](https://orcid.org/0000-0002-5374-2943),**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-2943>**С.В. Карпова¹, аспирант, ассистент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6966-4866>**О.А. Мисюров¹, аспирант; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3338-9097>*¹Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, д. 13а, г. Минск, Беларусь, 220006; e-mail: aspirantura.bgtu@tut.by, omisurov@mail.ru²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru

Установлена целесообразность применения в меловальной пасте разработанной бинарной системы синтетических соединений, состоящей из карбамидоформальдегидного олигомера (2 мас. ч. к массе меловальной пасты) и латекса (16 мас. ч.). Она заменяет традиционно применяемый комплекс природных соединений: модифицированный крахмал (3 мас. ч.), Na-КМЦ – натрий-карбоксиметилцеллюлозу (2 мас. ч.) и казеиновый клей (1 мас. ч.) в присутствии латекса (16...32 мас. ч.). Свойства полученных образцов меловальных паст соответствовали установленным нормам, о чем свидетельствовали вязкость по ВЗ-4 (13...17 с), содержание сухих веществ (50...54 %) и pH (9,0...10,5). Предложенный карбамидоформальдегидный олигомер совмещается с присутствующими компонентами и в отличие от природных соединений не повышает уровень вязкости меловальной пасты, обладает высокой когезионной силой, участвуя в «связывании» частиц пигментов между собой, имеет необходимую адгезионную способность для обеспечения прочной связи нанесенного меловального слоя с поверхностью бумаги и картона, не препятствует равномерному распределению частиц пигментов на поверхности основы и придает меловальной пасте стабильную устойчивость. Эти эффекты можно объяснить дополнительным присутствием в карбамидоформальдегидном олигомере положительно заряженных азотсодержащих групп – аминных и амидных. Последние способствуют усилению когезионных и адгезионных взаимодействий в меловальных пастах и сформированных из них меловальных покрытиях. Рассмотрение среза мелованной бумаги (картона) показало, что одна часть связующего вещества непосредственно примыкает к основе (бумаге (картону)), проникая в ее поры и капилляры, другая – окружает частицы пигментов, третья – занимает (полностью или частично) промежутки между частицами. На примере модельных образцов легкомелованной газетной бумаги и полиграфического картона показано повышение стойкости поверхности к выщипыванию и разрывной длины на 6,0...8,5 и 15...20 % соответственно, что позволяет рассматривать карбамидоформальдегидный олигомер как альтернативный заменитель природных соединений. При этом белизна (85...87 %) и гладкость (250...265 с) соответствуют установленным требованиям. Изменение рецептуры меловальной пасты является оправданным с экономической точки зрения, поскольку материальные затраты на производство мелованной бумажно-картонной продукции уменьшаются на 1...2 %.

Для цитирования: Черная Н.В., Богданович Н.И., Карпова С.В., Мисюров О.А. Применение карбамидоформальдегидного олигомера для улучшения качества бумажно-картонной продукции // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 182–193. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-182-193

Ключевые слова: меловальная паста, карбамидоформальдегидный олигомер, латекс, мелование, бумага, картон, качество.

Введение

Расширению ассортимента и области применения бумажно-картонной продукции способствует нанесение на поверхность бумаги-основы и картона основы меловальных паст, отличающихся составом и, следовательно, физико-химическими и реологическими свойствами.

Мелованные виды бумаги и картона относятся к многотоннажным видам продукции. Мировой объем их производства в реальном секторе экономики ежегодно увеличивается [13], что обусловлено постоянно растущим спросом крупных потребителей, к числу которых относятся полиграфическая, косметическая, фармацевтическая, пищевая и другие отрасли промышленности.

Качество печати на мелованных видах бумаги и картона зависит от многих факторов, среди которых основными являются свойства бумаги и картона [8, 9, 14, 15, 18, 19] и нанесенной на их поверхность мелованной пасты [2], а также способ печати [7, 10, 21].

После нанесения мелованной пасты на бумагу (картон) ее поверхность из макропористой становится микропористой [22]. Поэтому мелованное покрытие увеличивает равномерность и красочность печати, а также повышает гладкость бумаги и картона. Оно является качественным в том случае, если обеспечивает необходимый комплекс требований, предъявляемых к конечной продукции. Особое значение имеют массоемкость, толщина, прочность, стойкость поверхности к выщипыванию, шероховатость, гладкость, белизна, непрозрачность и влажность.

Существующие требования к составам и свойствам меловальных паст основаны на совместимости используемых компонентов (пигментов, связующих, диспергаторов, регуляторов pH и вязкости, стабилизаторов и др.).

Меловальную пасту получают путем смешивания отдельных компонентов, среди которых особую роль играют связующие вещества (природные и синтетические). Этот принцип получения меловальной пасты принят к внедрению на многих предприятиях, в том числе для условий РУП «Завод газетной бумаги» (г. Шклов) и филиала «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда» ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои» (г. Добруш), которые ориентированы на выпуск легкомелованной газетной бумаги ((45±3) г/м²) и полиграфического картона (240...405 г/м²) соответственно.

Технология получения мелованных видов бумаги и картона включает два основных блока. Первый блок должен обеспечить приготовление меловальной пасты с необходимыми свойствами, а второй блок предназначен для мелования бумаги и картона.

Нерешенной в технологии мелования бумаги и картона является проблема, связанная с необходимостью увеличения адгезии меловального слоя к поверхности бумаги и картона при одновременном повышении эффективности «связывания» всех присутствующих частиц и в особенности основных

компонентов – минеральных пигментов. Эту роль выполняют природные и синтетические соединения, которые условно называют «связующими» веществами [2, 13].

В качестве природных связующих традиционно применяют крахмал и продукты его модификации, натрий-карбоксиметилцеллюлозу (Na-КМЦ) и казеиновый клей [20]. Они отличаются структурой, степенями полимеризации и замещения, а также физико-химическими свойствами. К основным их недостаткам относится склонность к нежелательному развитию микроорганизмов, что снижает жизнеспособность меловальной пасты и ухудшает качество мелованных видов бумаги и картона.

В качестве синтетических связующих широко используют каучуковые латексы [2], к числу которых относятся бутадиенстирольные, винилацетатные и акриловые. Введение карбоксильных групп в структуру этих соединений улучшает их стабильность, связующую и пленкообразующую способность, а также красковосприимчивость мелованной бумажно-картонной продукции [1, 3, 12].

К перспективным способам устранения существующих недостатков в технологии мелования бумаги и картона относится, по нашему мнению, способ, основанный на замене в меловальных пастах традиционного комплекса природных соединений (модифицированного крахмала, Na-КМЦ и казеинового клея), используемого совместно с латексом, на новую бинарную систему синтетических соединений «карбамидоформальдегидный олигомер (КФО) – латекс».

Предварительно проведенные нами исследования [4–6, 11, 16, 17, 23] показали, что новый КФО отличается от известных аналогов (ГОСТ 1431–88) пониженным содержанием свободного формальдегида, которое не превышает 0,05 %. Присутствие амино- и амидных групп позволяет рассматривать данное соединение в качестве связующего в меловальных пастах, поскольку оно способно усиливать когезионные и адгезионные взаимодействия между компонентами меловальной пасты и покрытия, сформированного на поверхности бумаги (картона).

Отсутствие в научной и технической литературе информации о возможности замены в меловальных пастах природных связующих на КФО обуславливает актуальность настоящей работы с научной и практической точек зрения.

Цель исследования – изучение свойств мелованных образцов бумаги и картона в зависимости от содержания в меловальных пастах бинарной системы синтетических соединений «КФО – латекс» и разработка практических рекомендаций по повышению качества продукции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись меловальные пасты, отличающиеся содержанием природных и синтетических связующих веществ, и полученные с их использованием образцы легкомелованной газетной бумаги и полиграфического картона.

Меловальные пасты получали по методике [2] путем последовательного добавления к приготовленной 60 %-й пигментной суспензии (100 мас. ч. к массе меловальной пасты) диспергатора (ГОСТ 20291–80), связующих (природных и синтетических) и необходимых вспомогательных веществ. Пиг-

ментная суспензия содержала 85 мас. ч. каолина (ГОСТ 19607–74) и 15 мас. ч. карбоната кальция (ГОСТ 4530–76). Природными связующими являлись крахмал окисленный (ГОСТ 54647–2011), Na-КМЦ (ГОСТ 25130–82) и казеиновый клей (ГОСТ 3056–90). Расход каждого из них увеличивали от 1 до 3 мас. ч. В качестве синтетического связующего исследовали КФО [4, 6], расход которого изменяли от 1 до 5 мас. ч. Приготовленные меловальные пасты содержали синтетический каучуковый латекс марки БС-50 (ГОСТ 15080–77), расход его увеличивали от 16 до 32 мас. ч.

Вспомогательными веществами служили антисептический препарат (ГОСТ 23787.9–2019) – 0,15 мас. ч., стабилизатор (ТУ 2232-002-57149839–07) – 1,00 мас. ч., оптический отбеливатель (ГОСТ 27404–87) – 0,4 мас. ч., регулятор pH (ГОСТ 55064–2012) – 0,4 мас. ч. и пеногаситель (ГОСТ 22295–2005) – 0,006 мас. ч.

Приготовленные меловальные пасты наносили на поверхность стандартной газетной бумаги (далее – бумаги) и полиграфического картона (далее – картона) с использованием лабораторной меловальной установки (Германия) в соответствии с прилагаемой инструкцией. Массоёмкость нанесенного мелованного покрытия была постоянной и составляла 5 г/м² для легкомелованной бумаги и 30 г/м² для полиграфического картона.

Свойства мелованных образцов бумаги и картона характеризовали стандартными показателями. Массоёмкость определяли по ISO 536–1995, толщину – на приборе ТБК-Т (Украина) по ISO 534–2005, белизну – на спектрофотометре «Колир» (Украина) по ISO 2470–1999, гладкость – на приборе Бендсена (Швеция) по ISO 8791-4–1992, стойкость поверхности к выщипыванию – на печатной машине (Великобритания) по ISO 3783–1980, разрывную длину и удлинение – на комплекте приборов фирмы «Lorentzen & Wettre» (Швеция) по ISO 1924-2–1994.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проводили в три этапа. На первом этапе изучали влияние индивидуальных природных и синтетических (на базе КФО и латекса) связующих на свойства мелованных образцов бумаги и картона. На втором этапе сравнивали эффективность применения КФО с известными природными аналогами. На третьем этапе оценивали технологическую и экономическую целесообразность использования в меловальных пастах новой бинарной системы «КФО – латекс» вместо традиционно применяемых систем «природное связующее – латекс».

Первый этап. Меловальные пасты, содержащие бинарную систему синтетических соединений «КФО – латекс», способствовали улучшению качества мелованных образцов бумаги по сравнению с составами, в которых присутствовали природные соединения. Меловальные пасты 1–39 содержали сухие вещества в количестве 51 % (норма 50...52 %) и имели требуемую вязкость по ВЗ-4 (13...17 с).

Сопоставительный анализ полученных данных (табл. 1) свидетельствует о том, что каждый вид исследуемых соединений оказывает связующее действие, которое проявляется в двух видах взаимодействий – когезионном и адгезионном.

Таблица 1

**Качество мелованных образцов бумаги в зависимости от содержания
в меловальной пасте природных и синтетических связующих**

№ образца	Содержание связующего вещества, мас. ч. к массе меловальной пасты		Разрывная длина в направлении, м		Удлинение в направлении, %	
	соединение	латекс	продольном	поперечном	продольном	поперечном
Модифицированный крахмал						
1	1	16	4580	2800	3,25	5,50
2		24	4930	2890	3,67	6,50
3		32	5890	2680	3,33	7,33
4	2	16	5050	2850	4,67	6,73
5		24	5580	2810	3,90	8,00
6		32	5510	2670	3,83	5,00
7	3	16	5890	2680	7,33	3,33
8		24	6090	2810	4,67	6,50
9		32	5360	2610	3,33	5,67
Na-КМЦ						
10	1	16	4870	2890	3,33	5,65
11		24	5700	6360	3,00	6,10
12		32	6360	2720	3,67	7,00
13	2	16	6450	4120	4,67	6,78
14		24	6310	3790	4,18	6,70
15		32	5790	2910	3,00	6,67
16	3	16	6360	2720	3,67	7,00
17		24	5890	2790	3,33	6,00
18		32	5890	2740	3,50	6,83
Казеиновый клей						
19	1	16	5700	3200	4,85	7,25
20		24	5430	2850	4,00	7,00
21		32	3850	1500	3,33	6,33
22	2	16	4980	2650	4,67	7,00
23		24	3890	3170	3,33	6,67
24		32	3570	1760	2,67	5,67
25	3	16	4350	1500	3,33	4,33
26		24	4030	1890	2,67	5,33
27		32	3840	1480	3,00	7,33
КФО						
28	1	16	5730	3360	4,00	6,67
29		24	4160	2730	3,00	6,00
30		32	4020	2560	2,85	5,85
31	2	16	7770	4350	6,33	8,50
32		24	6590	3770	5,67	7,67
33		32	5550	2470	4,00	6,00
34	3	16	5640	2500	4,00	6,67
35		24	5560	1810	3,33	5,00
36		32	5290	1580	3,08	4,75
37	5	16	5150	2000	2,95	4,45
38		24	6250	2890	4,23	6,72
39		32	5700	2450	3,58	6,05

Результатом когезионного взаимодействия исследуемых соединений с пигментирующими частицами каолина и карбоната кальция является отсутствие пылимости поверхности меловальных покрытий, а также повышение белизны образцов бумаги с 78 до 85...87 %.

Меловальный слой, содержащий КФО, связывает частицы пигментов между собой настолько прочно, что пыление бумаги (картона) отсутствует даже при 20-кратном механическом истирании поверхности, в то время как меловальные слои, содержащие природные связующие, выдерживают не более 10–12 механических истираний. Это улучшает качество печати и повышает долговечность полиграфической продукции. Поэтому замена традиционно применяемых природных связующих на предлагаемое новое синтетическое представляет практический интерес.

Протекающее адгезионное взаимодействие компонентов нанесенных меловальных паст с поверхностью образцов бумаги (картона) в присутствии КФО способствует повышению показателей качества полученных мелованных образцов: разрывная длина и удлинение увеличиваются на 20 % и более по сравнению с базовыми образцами. Этот положительный эффект можно объяснить углублением проникновения связующих в поры и капилляры образцов бумаги (картона), что способствует росту показателей качества полученной мелованной продукции.

Присутствие латекса (расход 16...32 мас. ч.) в исследуемых меловальных пастах 1–39 является необходимостью, поскольку он проявляет свойства не только связующего вещества, участвующего одновременно в когезионных и адгезионных взаимодействиях, но и регулятора вязкости меловальных паст. Исключение его из состава меловальных паст приводит к повышению их вязкости по ВЗ-4 до 85 с (норма 13...17 с), а его расход более 32 мас. ч. снижает этот показатель от 13 до 8 с.

Модифицированный крахмал, содержащийся в меловальных пастах 1–9, проявляет наилучшую эффективность при расходе 3 мас. ч. (состав 8). В присутствии 24 мас. ч. латекса образцы бумаги имеют в продольном / поперечном направлениях разрывную длину 6090 / 2810 м и удлинение 4,67 / 6,50 %.

Na-КМЦ, содержащаяся в меловальных пастах 10–18, позволяет получить образцы бумаги (картона) с высокими показателями качества в том случае, когда ее расход составляет 2 мас. ч. (состав 13) и используется латекс в количестве 16 мас. ч. Мелованные образцы бумаги имеют в продольном / поперечном направлениях разрывную длину 6450 / 4120 м и удлинение 4,67 / 6,78 %. Увеличение содержания латекса в меловальной пасте от 16 до 32 мас. ч. является наиболее целесообразным в том случае, когда в ней присутствует 1 мас. ч. Na-КМЦ (составы 10–12). Повышение расхода Na-КМЦ от 2 (состав 8) до 3 мас. ч. (составы 16–18) позволяет уменьшить расход латекса от 32 до 16 мас. ч. Мелованные образцы бумаги (картона) имеют достаточно высокие показатели качества.

Казеиновый клей, содержащийся в пастах составов 19–27 в количестве 1...3 мас. ч., в присутствии латекса (расход 16...32 мас. ч.) позволяет получить образцы бумаги (картона) с высокими показателями качества в том случае, когда меловальный слой сформирован из пасты 19 (содержит 1 мас. ч. казеинового клея и 16 мас. ч. латекса). Образцы бумаги в продольном / поперечном направлениях имеют разрывную длину 5700 / 3200 м и удлинение 4,85 / 7,25 %.

КФО, введенный в меловальные пасты 28–39 в количестве 1...5 мас. ч., не ухудшает качество образцов бумаги по сравнению с мелованными образцами, содержащими один из трех видов исследуемых природных соединений (пасты 1–28), а, наоборот, улучшает их показатели в среднем на 20...30 %, в особенности при использовании меловальной пасты 31, содержащей 2 мас. ч. КФО и 16 мас. ч. латекса. Бинарная система «КФО–латекс» обеспечивает мелованным образцам бумаги достаточно высокие показатели качества в продольном / поперечном направлениях, о чем свидетельствуют повышенные значения разрывной длины (7770 / 4350 м) и удлинения (6,33 / 8,50 %).

Установлено, что в исследуемом диапазоне содержания латекса (16...32 мас. ч.) в меловальных пастах 28–39 увеличение расхода КФО от 1 до 3...5 мас. ч. способствует улучшению показателей качества образцов бумаги (картона).

При этом лучшими показателями качества обладают такие образцы, у которых меловальный слой сформирован из пасты 31 (содержит 2 мас. ч. КФО и 16 мас. ч. латекса). Состав меловальной пасты 31 по сравнению с другими (28–30 и 32–39) обеспечивает повышение показателей качества у полученных образцов бумаги (картона) как в продольном, так и в поперечном направлениях. Об этом свидетельствуют увеличение разрывной длины на 15...50 % и повышение удлинения на 10...55 % отн. Для мелованных образцов картона достигается аналогичное улучшение показателей качества. Это свидетельствует о целесообразности замены природных соединений на КФО.

Следовательно, модифицированный крахмал, Na-КМЦ, казеиновый клей и КФО оказывают различное влияние на свойства мелованных образцов бумаги (картона). Установлено, что улучшенными показателями качества обладают мелованные образцы бумаги (картона), для получения которых использованы меловальные пасты 8, 13, 19 и 31. Показано, что КФО, содержащееся в меловальной пасте 31, по своим связующим свойствам превосходит природные соединения (пасты 8, 13, 19).

Второй этап. В табл. 2 представлены показатели качества мелованных образцов бумаги, позволяющие оценить эффективность применения КФО по сравнению с традиционно используемыми природными связующими.

Эффективность КФО (2 мас. ч.) превосходит показатели традиционно применяемых природных соединений. Он способен заменить модифицированный крахмал (3 мас. ч.), Na-КМЦ (2 мас. ч.) и казеиновый клей (1 мас. ч.). Аналогичные данные получены нами для мелованных образцов картона.

Повышение качества мелованных образцов бумаги и картона позволяет, по нашему мнению, рекомендовать использовать КФО вместо природных соединений. Обнаруженный эффект можно объяснить дополнительным присутствием положительно заряженных амидных азотсодержащих групп. Последние способствуют усилению когезионных и адгезионных взаимодействий в меловальных пастах и сформированных из них меловальных покрытиях. Рассмотрение среза мелованной бумаги (картона) показало, что одна часть связующего вещества непосредственно примыкает к основе (бумаге (картону)), проникая в ее поры и капилляры, другая – окружает частицы пигментов, третья – занимает (полностью или частично) промежутки между частицами.

Таблица 2

Сравнение эффективности применения КФО и природных связующих

Связующие вещества (мас. ч. к массе меловальной пасты)		Качество бумаги в продольном (числитель) и поперечном (знаменатель) направлениях	
Природные	Синтетические	Разрывная длина, м	Удлинение, %
—	КФО (2)	<u>7770</u>	<u>6,33</u>
	Латекс (16)	4350	8,50
Модифицированный крахмал (3)	Латекс (24)	<u>6090</u>	<u>4,67</u>
		2810	6,50
Na-КМЦ (2)	Латекс (16)	<u>6450</u>	<u>4,67</u>
Казеиновый клей (1)		4120	6,78
		<u>5700</u>	<u>4,85</u>
		3200	7,25
Образцы сравнения (без меловальной пасты)		<u>5200</u>	<u>4,30</u>
		3000	5,85

КФО взаимодействует с присутствующими компонентами и, в отличие от природных, оказывает следующее положительное влияние на меловальную пасту:

- не повышает уровень вязкости;
- обладает высокой когезионной силой, участвуя в «связывании» частиц пигментов между собой;
- имеет необходимую адгезионную способность для обеспечения прочной связи нанесенного меловального слоя с поверхностью бумаги и картона;
- не препятствует равномерному распределению частиц пигментов на поверхности основы;
- придает меловальной пасте стабильную устойчивость.

Синтетический каучуковый латекс снижает вязкость меловальных паст, обладает большей силой адгезии, способствует улучшению водостойкости меловального покрытия, улучшает глянец мелованной продукции после каландрирования, способствует удержанию печатных красок на поверхности меловального покрытия, придает мелованной бумаге (картону) эластичность, повышает гладкость, лоск, впитывающую способность и стойкость поверхности к выщипыванию.

Следовательно, КФО способен заменить модифицированный крахмал, Na-КМЦ и казеиновый клей.

Третий этап. Для технико-экономического обоснования целесообразности использования в меловальных пастах новой бинарной системы «КФО – латекс» вместо традиционно применяемых систем «природные связующие – латекс» получали модельные образцы легкокомелованной газетной бумаги и полиграфического картона.

Установлено, что свойства образцов меловальных паст, содержащих бинарную систему синтетических соединений, соответствовали установленным нормам и составляли: вязкость по ВЗ-4 – 13...17 с, содержание сухих веществ – 50...54 %, и pH – 9,0...10,5. При этом происходит увеличение стойкости поверхности к выщипыванию на 6,0...8,5 %.

Таким образом, улучшение качества мелованной бумажно-картонной продукции свидетельствует о целесообразности применения в меловальных пастах КФО (2,0 мас. ч.) вместо природных соединений (2,5...7,0 мас. ч.). Изменение рецептуры меловальной пасты является оправданным, поскольку материальные затраты на производство мелованной бумажно-картонной продукции уменьшаются на 1...2 %.

Выводы

1. Разработанный карбамидоформальдегидный олигомер является альтернативным заменителем модифицированного крахмала, Na-KMЦ и казеинового клея.

2. Увеличение качества мелованных образцов бумаги и картона (разрывной длины на 15...50 %, удлинения на 10...55 % отн. и стойкости поверхности к выщипыванию на 6,0...8,5 %) свидетельствует о целесообразности применения в меловальных пастах разработанного синтетического связующего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Блинкова Т.Ф., Бондарев А.И. Новые бутадиенстирольные латексы для покрытий мелованной бумаги // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1987. № 2. С. 5–9. [Blinkova T.F., Bondarev A.I. New Butadiene-Styrene Latexes for Coatings of Coated Paper. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 1987, no. 2, pp. 5–9].

2. Бондарев А.И. Производство бумаги и картона с покрытием. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 192 с. [Bondarev A.I. *Production of Coated Paper and Cardboard*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 192 p.].

3. Елисеева В.И. Полимерные дисперсии. М.: Химия, 1980. 295 с. [Eliseyeva V.I. *Polymer Dispersions*. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 295 p.].

4. Жолнерович Н.В., Николайчик И.В., Черная Н.В. Повышение эффективности применения карбамидоформальдегидных олигомеров в производстве технических видов бумаги из вторичного волокнистого сырья // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 9–11 сентября 2015 г.). Архангельск: САФУ, 2015. С. 224–229. [Zholnerovich N.V., Nikolaichik I.V., Chernaya N.V. Improving the Application of Urea Formaldehyde Oligomers in the Production of Technical Paper from Recycled Cellulose Materials. *The Issues in Mechanics of Pulp-and-Paper Materials: Proceedings of the 3rd International Conference in Memory of Professor Valery Komarov, Arkhangelsk, Russia, September 9–11, 2015*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015, pp. 224–229].

5. Жолнерович Н.В., Черная Н.В., Кот Ю.В. Влияние композиционного состава меловальной пасты на свойства мелованной бумаги // Тр. БГТУ. Сер. IV: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2010. Т. 1, № 4, вып. XVIII. С. 193–196. [Zholnerovich N.V., Chernaya N.V., Kot Yu.V. Influence of the Composition of the Coating Paste on the Properties of Coated Paper. *Trudy BGTU. Seriya IV. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [Proceedings of BSTU. Series 4. Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology], 2010, vol. 1, no. 4, iss. 18, pp. 193–196].

6. Карпова С.В., Черная Н.В. Изучение свойств мелованной бумаги при замене природного связующего на новое синтетическое // Химия и химическая технология переработки растительного сырья: материалы докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 10–12 октября 2018 г.). Минск: БГТУ, 2018. С. 187–191. [Karpova S.V., Chernaya N.V. Studying the Properties of Coated Paper when Replacing a Natural Binder with a New Synthetic. *Chemistry and Chemical Technology of Plant Raw Material Processing: Proceedings of*

the International Science and Technology Conference (Minsk, October 10–12, 2018). Minsk, BSTU Publ., 2018, pp. 187–191].

7. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технология и способы производства. М.: МГУП, 2003. 1253 с. [Kipphan G. *Encyclopedia of Printed Media. Technology and Methods of Production*. Moscow, MGUP Publ., 2003. 1253 p.]

8. Кожевников С.Ю., Ковернинский И.Н. Химия и технология «СКИФ» для бумаги. М.: МГУЛ, 2010. 91 с. [Kozhevnikov S.Yu., Koverninskiy I.N. *Chemistry and Technology "SKIF" for Paper*. Moscow, MGUL Publ., 2010. 91 p.]

9. Кожевников С.Ю., Ковернинский И.Н. Межволоконные электростатические связи в бумаге // Химия растит. сырья. 2012. № 3. С. 197–202. [Kozhevnikov S.Yu., Koverninskiy I.N. Interfiber Electrostatic Bonds in Paper. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of plant raw material], 2012, no. 3, pp. 197–202].

10. Остреров М.А., Курятников А.Б., Кудряшова Г.И. и др. Факторы, определяющие качество прохождения бумаги через печатную машину // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1993. № 1. С. 26–27. [Ostrov M.A., Kuryatnikov A.B., Kudryashova G.I. et al. Factors Defining the Quality of Paper Passing through the Printing Machine. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 1993, no. 1, pp. 26–27].

11. Попеня Т.В., Дραπεза А.А., Черная Н.В., Жолнерович Н.В. Влияние композиционного состава меловальной пасты на свойства полиграфических видов бумаги // Тр. БГТУ. Сер. IV: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2011. № 4(142). С. 152–154. [Popenya T.V., Drapeza A.A., Chernaya N.V., Zholnerovich N.V. Influence of the Composition of the Coating Paste on the Properties of Coated Paper. *Trudy BGTU. Seriya IV: Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [Proceedings of BSTU. Series 4. Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology], 2011, no. 4(142), pp. 152–154].

12. Терехина И.Л. Использование сополимеров на основе винилацетата в качестве связующих покрытий мелованной бумаги: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1983. 18 с. [Terekhina I.L. *The Use of Copolymers Based on Vinyl Acetate as Binder Coatings of Coated Paper*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Moscow, 1983. 18 p.]

13. Технология целлюлозно-бумажного производства: справ. материалы. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит / М.А. Остреров [и др.] СПб.: Политехника, 2006. 499 с. [Technology of Pulp and Paper Production: Reference Data. In 3 vol. Vol. 2. Production of Paper and Cardboard. Part 2. The Main Types and Properties of Paper, Cardboard, Fiber and Wood Boards. M.A. Osterov et al. Saint Petersburg, Politekhnik Publ., 2006. 499 p.]

14. Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона. СПб., 2013. 151 с. [Khovanskiy V.V., Dubovyy V.K., Keyzer P.M. *The Use of Chemical Excipients in the Production of Paper and Cardboard*. Saint Petersburg, 2013. 151 p.]

15. Черная Н.В. Теория и технология клееных видов бумаги и картона: моногр. Минск: БГТУ, 2009. 394 с. [Chernaya N.V. *Theory and Technology of Glued Types of Paper and Cardboard*: Monograph. Minsk, BSTU Publ., 2009. 394 p.]

16. Черная Н.В., Флейшер В.Л., Чернышева Т.В., Карпова С.В., Мисюров О.А. Влияние рецептуры меловальной пасты на свойства полиграфического картона // Технология органических веществ: докл. 83-й науч.-техн. конф. (Минск, 4–15 февраля 2019 г.). Минск: БГТУ, 2019. С. 39–41. [Chernaya N.V., Fleysheer L.V., Chernysheva T.V., Karpova S.V., Misyurov O.A. Influence of the Coating Paste Formulation on the Properties of Polygraphic Cardboard. *Technology of Organic Substances: Proceedings of the 83rd Scientific and Technical Conference (Minsk, February 4–15, 2019)*. Minsk, BSTU Publ., 2019, pp. 39–41].

17. Черная Н.В., Флейшер В.Л., Чернышева Т.В., Мисюров О.А., Карпова С.В. Влияние массоемкости и состава элементарных слоев полиграфического картона на его потребительские свойства // Технология органических веществ: докл. 83-й науч.-

техн. конф. (Минск, 4–15 февраля 2019 г.). Минск: БГТУ, 2019. С. 36–38. [Chernaya N.V., Fleyscher L.V., Chernysheva T.V., Misyurov O.A., Karpova S.V. Influence of Mass Capacity and Composition of Elementary Layers of Polygraphic Cardboard on Its Consumer Properties. *Technology of Organic Substances: Proceedings of the 83rd Scientific and Technical Conference (Minsk, February 4–15, 2019)*. Minsk, BSTU Publ., 2019, pp. 36–38].

18. Шабиев Р.О., Смолин А.С. Анализ электрокинетических параметров бумажной массы. СПб., 2012. 80 с. [Shabiyev R.O., Smolin A.S. *Analysis of Electrokinetic Parameters of Paper Pulp*. Saint Petersburg, 2012. 80 p.].

19. Bicu I., Mustăță F. Water Soluble Polymers from Diels-Alder Adducts of Abietic Acid as Paper Additives. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2000, no. 280-281, iss. 1, pp. 47–53.

20. Eklund G. Die Vorgänge unter dem Schaber beim Glattachaber-Streichen. *Wochenblatt für Papierfabrikation*, 1978, Nr. 18, S. 709–714.

21. Kotitschke G. “Triple Star” – The State of the Art and Most Efficient Production Line in the World for Woodfree Coated Papers. Voith, 2002. 186 p.

22. Loretzen A., Wetter N. *Paper Testing and Process Optimization*. L & Handbook, 2000. 218 p.

23. Zholnerovich N.V., Nikolaychik I.V., Chernaya N.V. Influence of Urea-Formaldehyde Oligomer Composition on Technical Paper Properties. *Proceedings of BSTU*, 2014, no. 4(en), pp. 125–127.

APPLICATION OF UREA-FORMALDEHYDE OLIGOMER FOR QUALITY IMPROVEMENT OF PAPER AND CARDBOARD PRODUCTS

N.V. Chornaya¹, Doctor of Engineering, Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8306-8590>

N.I. Bogdanovich², Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [A-4662-2013](https://orcid.org/0000-0002-5374-2943),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5374-2943>

S.V. Karpova¹, Postgraduate Student, Assistant;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6966-4866>

O.A. Misyurov¹, Postgraduate Student;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3338-9097>

¹Belarusian State Technological University, ul. Sverdlova, 13a, Minsk, 220006, Republic of Belarus; e-mail: aspirantura.bgtu@tut.by, omisurov@mail.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.bogdanovich@narfu.ru

The applicability of the developed binary system of synthetic compounds in coating paste, consisting of urea-formaldehyde oligomer (2 pts. wt. to the coating paste weight) and latex (16 pts. wt.), is found. It replaces the generally used complex of natural compounds, such as modified starch (3 pts. wt.), Na-CMC (2 pts. wt.), and casein glue (1 pts. wt.), in the presence of latex (16–32 pts. wt.). The properties of the coating paste samples met the standards, as evidenced by the viscosity according to the viscometer VZ-4 (13–17 s), the content of dry substances (50–54 %) and pH (9.0–10.5). The proposed urea-formaldehyde oligomer is combined with the present components and, as compared to natural compounds, does not increase the viscosity of the coating paste, has a high cohesive force, participating in the binding of pigment particles with one another, has the necessary adhesive capacity for ensuring a stable bond of the applied coating layer with the surface of paper and cardboard, does not prevent the uniform distribution of pigment particles on the base surface, and gives stability to the coating paste. These phenomena can be explained by the supplementary presence of positively charged nitrogen-containing groups (amine and amide) in the urea-

formaldehyde oligomer. The latter contribute to the enhancement of cohesive and adhesive interactions in coating pastes and coatings composed of them. Assessment of a section of the coated paper (cardboard) showed that one part of the binder adjoins the base (paper, cardboard) penetrating into its pores and capillaries, the other surrounds the pigment particles, and the third occupies (completely or partially) the spaces between the particles. An increase in the surface resistance to plucking and breaking length by 6.0–8.5 and 15–20 %, respectively, is shown on the samples of light-coated newsprint and polygraphic cardboard. This allows considering the urea-formaldehyde oligomer as an alternative to natural compounds. Herewith, whiteness (85–87 %) and smoothness (250–265 s) meet the requirements. Changing the formulation of the coating paste is economically justified, since material costs for the production of coated paper and cardboard products are reduced by 1–2 %.

For citation: Chornaya N.V., Bogdanovich N.I., Karpova S.V., Misyurov O.A. Application of Urea-Formaldehyde Oligomer for Quality Improvement of Paper and Cardboard Products. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 182–193. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-182-193

Keywords: coating paste, urea-formaldehyde oligomer, latex, coating, paper, cardboard, quality.

Поступила 20.01.20 / Received on January 20, 2020



УДК 630*432.1

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-194-203

НАВИГАЦИОННО-ПИЛОТАЖНАЯ СИСТЕМА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

*О.В. Скуднева¹, ст. преподаватель; ResearcherID: [V-5466-2017](https://orcid.org/0000-0001-6387-0108),**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6387-0108>**С.В. Коптев², д-р с.-х. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>**С.В. Иванцов³, директор*

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, научно-учебный комплекс «Фундаментальные науки», ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, Москва, Россия, 105005; e-mail: chykchuk@yandex.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.koptev@narfu.ru

³ГАУ Архангельской области «Единый лесопожарный центр», просп. Обводный канал, д. 22, корп. 1, г. Архангельск, Россия, 163060; e-mail: iwantsow.s@yandex.ru

Лесные пожары являются распространенным стихийным бедствием во всем мире. Большое количество пожаров ежегодно возникает в лесных экосистемах Европейского Севера России по естественным причинам и по вине человека. Одной из актуальных проблем лесного хозяйства в настоящее время является организация эффективной борьбы с лесными пожарами. При этом важны как быстрое обнаружение очага возгорания, так и мониторинг развития пожара, координация действий персонала наземных служб лесной охраны и сотрудников служб Министерства по чрезвычайным ситуациям. Для этих целей все большее применение находят беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Для лесохозяйственной практики, в особенности для целей лесопожарного мониторинга, наиболее практичными являются БПЛА вертолетного типа, не требующие специальной подготовки персонала. Такие аппараты могут действовать в режимах «пожарной вышки» и мониторинга кромки пожара с возможностью сброса информационных радиовымпелов. Применение БПЛА – эффективное средство наблюдения за пожарной ситуацией в дополнение к существующим методам и технологиям, особенно в случаях невозможности использования космических снимков высокого разрешения для решения оперативных задач. Для эффективной работы БПЛА в зоне действующих лесных пожаров и сильного задымления необходимы навигационно-пилотажные системы, позволяющие выполнять безопасные полеты за пределами действия пульта наземного управления от местонахождения пилота-оператора. Целью данной работы является ознакомление с разработкой навигационно-пилотажной системы, которую можно применять на БПЛА в зоне действия наземных пунктов радиоуправления. Использование таких систем позволит вести автоматическое наблюдение за пожарной обстановкой на значительной площади в режиме реального времени, что представляется особенно важным при организации охраны и тушения лесных пожаров на больших пространствах особо охраняемых природных территорий, где приоритетной задачей является сохранение биологического разнообразия природных экосистем и уникальных ландшафтов. Данная статья может представлять интерес для специалистов лесного хозяйства, пожарной охраны и Министер-

ство по чрезвычайным ситуациям, разработчиков БПЛА и оборудования, а также студентов технических специальностей.

Для цитирования: Скуднева О.В., Коптев С.В., Иванцов С.В. Навигационно-пилотажная система беспилотного летательного аппарата для мониторинга лесных пожаров // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 6. С. 194–203. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-6-194-203

Ключевые слова: лесное хозяйство, лесопожарный мониторинг, беспилотный летательный аппарат, навигационно-пилотажная система.

Введение

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на сегодняшний момент ограничивается частными случаями при решении текущих производственных задач, преимущественно в экспериментальном порядке [1, 5, 9]. Актуальной является разработка теоретических основ и практических методик организации эффективного применения БПЛА для обнаружения лесного пожара с определением траекторий полетов, параметров информационных и командных линий связи. Кроме того, важно наличие запасных блоков питания или устройства их подзарядки в полевых условиях, а также необходимого количества наиболее востребованных запасных элементов БПЛА [7].

Современный уровень техники (развитие электронной промышленности, наличие высокоточных спутниковых навигационных систем, миниатюризация элементной базы, увеличение пропускной способности каналов радиосвязи) позволил значительно расширить возможности БПЛА как автономной системы различных конструктивных форм исполнения и предназначения. Благодаря использованию фото- и видеокамер и оперативной автоматизированной обработке полученной информации такие аппараты могут применяться для контроля состояния лесных массивов, дорог, эффективности проведения лесохозяйственных мероприятий, повышения качества лесоинвентаризационных работ, при подготовке лесосечного фонда, в геодезических и картографических работах [4–6].

В статье предлагается состав структурной схемы навигационно-пилотажной системы (НПС), позволяющей выполнять в условиях лесных пожаров полеты БПЛА с обеспечением требований по точности и безопасности при недостаточной видимости и отсутствии постоянной связи.

Объекты и методы исследования

Применение БПЛА, необходимых для лесопожарного мониторинга лесного фонда, является новой технической задачей. Эффективные действия аппаратов могут быть ограничены площадью 200 км². Для территории наземного применения сил и средств пожаротушения с развитой дорожной сетью к категории «крупный лесной пожар» относится площадь, пройденная огнем от 0,25 км² и более. Для районов авиационного применения сил и средств она составляет 2 км² и более [2]. К таким районам относятся труднодоступные территории.

За каждым лесным пожаром для принятия оперативных мер необходимо вести наблюдение с воздуха от момента его обнаружения и до полной ликвидации. Облет лесного пожара производится 2–3 раза в день, а для обнаружения скрытых очагов горения – в ранние утренние или поздние вечерние часы, когда влияние солнечной радиации минимально [6, 9]. Дальность определения места пожара зависит от высоты наблюдения, погоды, степени задымления. Для решения этой задачи наиболее оптимально использование БПЛА с радиусом действия 5...15 км, что соответствует проведению наземного патрулирования. До внедрения подобных БПЛА в лесохозяйственную практику следует провести отработку НПС и технологий работы с летательными аппаратами.

Объектом исследования является разработка структурной схемы навигационно-пилотажной системы БПЛА, программно-математическое обеспечение которой должно обеспечить требования к точности определения участков пожаротушения и безопасности полетов при ведении мониторинга лесопожарной обстановки.

Лесные пожары являются распространенным стихийным бедствием во всем мире. Большое количество пожаров ежегодно возникает в лесных экосистемах Европейского Севера России по естественным причинам и в результате антропогенных воздействий. Многолетний опыт использования данных дистанционного зондирования Земли в лесохозяйственной и лесоустроительной практике должен позволить БПЛА найти применение для оценки, оптимизации и принятия лесопожарных мероприятий, поиска и разработки новых технологий обнаружения, контроля и оценки лесных пожаров.

Наблюдение за пожарной обстановкой в режиме реального времени особенно важно при решении комплекса лесоводческих задач по организации охраны и тушения лесных пожаров на больших пространствах особо охраняемых природных территорий, где приоритетной задачей является сохранение биологического разнообразия природных экосистем и уникальных ландшафтов. Потери времени при этом могут привести впоследствии к значительным экономическим затратам [10, 13]. Необходим менее затратный и эффективный способ решения задач, стоящих перед лесным хозяйством и выполняемых ранее с помощью авиации. В связи с этим особый интерес представляют БПЛА различной технической оснащенности, грузоподъемности, дальности полетов. Практически БПЛА – это роботизированная автономная система различных конструктивных форм исполнения и предназначения. Применение БПЛА в этом направлении решает ряд проблем, связанных с недостаточным штатом сотрудников, труднодоступностью территорий, необходимостью минимизации влияния присутствия человека, при проведении лесохозяйственных работ по определению оперативных и актуальных данных о скорости распространения пожара, его границах. Поэтому использование БПЛА является эффективным средством наблюдения за пожарной ситуацией в дополнение к существующим штатным методам и технологиям, приведенным в материалах [1–4], особенно в случаях невозможности использования космических снимков высокого разрешения для выполнения оперативных задач.

При создании БПЛА для различных видов мониторинга, на наш взгляд, наибольшее предпочтение будет отдаваться БПЛА вертолетного типа: масса –

до 10 кг, высота полета – до 1 км, продолжительность полета – 20...60 мин (основной режим полета до 300 м), поскольку средние БПЛА требуют специалистов для обслуживания, управления, снятия и интерпретации результатов съемки. Они нацелены на замену авиации и, следовательно, имеют ограничения, как для самолетов, в том числе по высоте полетов, не обладая их преимуществами. При наземном патрулировании в местах, где нет связи и невозможно поставить видеокамеру и передать с нее информацию в диспетчерскую службу, важен каждый килограмм веса и сложно найти площадку для взлета БПЛА самолетного типа. Именно малые БПЛА вертолетного типа нужны для этой цели. Из практики применения БПЛА самолетного типа при лесохозяйственных работах известны негативные моменты, ограничивающие их возможности: есть ограничения высоты полета; при запуске БПЛА самолетного типа на время его работы; небо в этом районе закрывается для других летательных аппаратов; самолеты и вертолеты не могут быть использованы для оперативных мер по тушению лесных пожаров до приземления БПЛА; просмотреть результаты мониторинга с такого БПЛА в большинстве случаев возможно только после его приземления.

Одним из наиболее важных вопросов при использовании БПЛА для организации лесопожарного контроля и тушения лесных пожаров является разработка полетных маршрутов и системы управления полетами. При этом рассматривается возможность применения не только наиболее распространенных в лесохозяйственной практике БПЛА вертолетного типа – мультикоптеров, но и БПЛА самолетного типа. Преимуществами первых являются компактность, возможность взлета и приземления при достаточно ограниченных условиях, возможность изменения скорости полета вплоть до нулевого (режим зависания) для детализации изображений. БПЛА самолетного типа устойчивы в полете, имеют больший радиус действия, но более требовательны к организации их использования.

Устройства легких вертолетных БПЛА не применяют инерциальных систем [14, 15], но при этом встроенная навигационная аппаратура и устройства автоматической стабилизации по курсу и вертикали на основе гироскопа направления и жидкостных датчиков позволяют удерживать летательные аппараты в стабильном состоянии и обеспечивать тем самым приемлемую точность определения координат кромки и направления развития лесного пожара по карте местности. Для точной привязки снимков БПЛА предлагаются различные схемы и методики, реализуемые путем дополнительного применения в составе приемника GPS-навигаторов, увеличения перекрытий снимков [6, 12, 16]. В данной работе на основе применения НПС предлагается одно из решений повышения точности и безопасности полета БПЛА при мониторинге лесных пожаров в условиях плохой видимости по причине задымления.

БПЛА позволяет увеличить эффективность работы наблюдательных вышек в дневное время, а при сильном задымлении точность определения кромки пожара, особенно при дифференциальном рассмотрении различных спектральных яркостей пикселей изображений с помощью соответствующего навесного оборудования, фиксирующего ближний инфракрасный диапазон излучения [8, 11].

Результаты исследования и их обсуждение

При ведении лесопожарного мониторинга основной технологической задачей является проведение полетов на малой высоте (до 100 м) на удалении от пульта управления до 5 км при условии возможности изменения места старта. Это позволит более оперативно проводить наведение БПЛА на пожары малой площади, кромки пожаров и обеспечить информационную поддержку работ по тушению и окарауливанию пожаров.

В процессе выполнения полета управление БПЛА осуществляется в ручном режиме радиуправления и автоматически посредством бортового оборудования навигации и управления, в состав которого входят:

- приемник спутниковой навигации, обеспечивающий прием навигационной информации от систем ГЛОНАСС и GPS;
- бортовая система связи, работающая в определенном частотном диапазоне для передачи команд БПЛА, потоковых видеоизображений и фотоизображений;
- система датчиков, производящих определение пространственной ориентации по курсу и вертикали, стабилизации и параметров движения БПЛА;
- система воздушных сигналов, обеспечивающая измерение высоты и скорости полета (путевой или воздушной).

Бортовая навигационно-пилотажная система должна обеспечивать на БПЛА:

- полет по заданному маршруту (задание маршрута производится с указанием координат и высоты поворотных пунктов маршрута);
- изменение маршрутного задания или возврат в точку старта и облет указанной точки по команде с наземного пункта управления;
- формирование и выдачу команд, предусмотренных полетным заданием;
- автоматический взлет, полет и посадку по команде пилота-оператора на наземном пункте управления.

В связи с отсутствием экипажа на БПЛА его функции должна выполнять НПС, которая взаимодействует с исполнительными устройствами, аналогичными тем, что используются на пилотируемых летательных аппаратах.

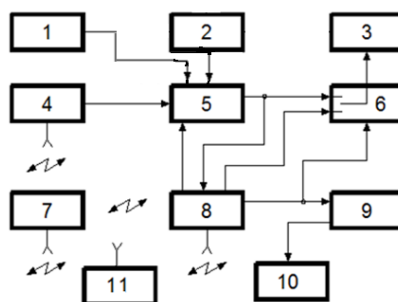
Структурная схема НПС БПЛА основана на радиуправлении от наземного пульта пилотом-оператором и использовании спутниковой навигационной системы (СНС), которая определяет с высокой точностью навигационные параметры, за исключением курса летательного аппарата. К сожалению, СНС имеют низкую помехоустойчивость и зоны их устойчивой работы не охватывают все районы на территории России. Чтобы исключить зависимость результата полета от работы СНС, необходимо иметь наземные пульты радиуправления на начальном и конечном пунктах маршрута, передающие команды на приемник-передатчик команд. Высокая точность определения курса БПЛА является необходимым требованием для безусловного выполнения полетных задач и автономной посадки, в том числе в условиях плохой видимости, задымления от лесных пожаров и при неустойчивой работе СНС.

Сложность внедрения НПС заключается в разработке и отладке программно-математического обеспечения – алгоритмов и программ бортового компьютера. Эта задача требует учета всех условий и особенностей полета БПЛА при выполнении задач по мониторингу лесных пожаров [2, 4, 10, 17].

В составе НПС достаточно иметь один навигационно-пилотажный канал управления. На рис. 1 приведена структурная блок-схема НПС БПЛА для выполнения работ по лесопожарному мониторингу. В качестве датчика курса необходимо иметь одноканальную курсовую систему, работающую в режиме гиropolукомпасного курса без коррекции от магнитного канала, т. е. использовать в полете для определения курса гироскоп направления, в котором при регламентах проводится компенсация скорости вращения Земли и собственного дрейфа. В канале вертикали требуется применять жидкостной датчик авиагоризонта. Такая конструкция обеспечит выполнение требований, предъявляемых данному типу НПС БПЛА по надежности, точности и безопасности. Начальная выставка стояночного курса БПЛА выполняется перед вылетом автоматически по магнитному курсу после включения на старте питания курсовой системы. Управление взлетом и посадкой (высота, скорость) осуществляется от пультов управления на начальном и конечном пунктах маршрута. В полете вне зоны действия пультов управления БПЛА использует режим автономной коррекции заданного курса и коррекции от СНС. Наличие средств коррекции в полете от СНС в случае ее работоспособности позволит обеспечить без участия пилота-оператора посадку БПЛА на конечном пункте маршрута.

Рис. 1. Структурная блок-схема НПС БПЛА для выполнения работ по лесопожарному мониторингу: 1 – жидкостной датчик авиагоризонта; 2 – курсовая система с гироскопом направления; 3 – блок исполнения команд; 4 – приемник СНС; 5 – вычислительное устройство; 6 – блок переключения каналов управления; 7 – наземный пульт управления; 8 – приемник-передатчик команд; 9 – блок сброса груза; 10 – транспортируемый груз (радиовымпел); 11 – наземный резервный (контрольный) пульт управления

Fig. 1. Structure flowchart of the navigation and piloting system (NPS) of the unmanned aerial vehicle (UAV) for forest fire monitoring: 1 – attitude indicator liquid sensor; 2 – compass system with directional gyroscope; 3 – command execution unit; 4 – satellite navigation system receiver; 5 – computing device; 6 – control channel switching unit; 7 – ground control point; 8 – command receiver-transmitter; 9 – airdrop unit; 10 – transport cargo; 11 – ground control panel



На рис. 2 приведен эскиз схемы полета БПЛА для мониторинга лесных пожаров по маршруту с выдерживанием заданного курса.

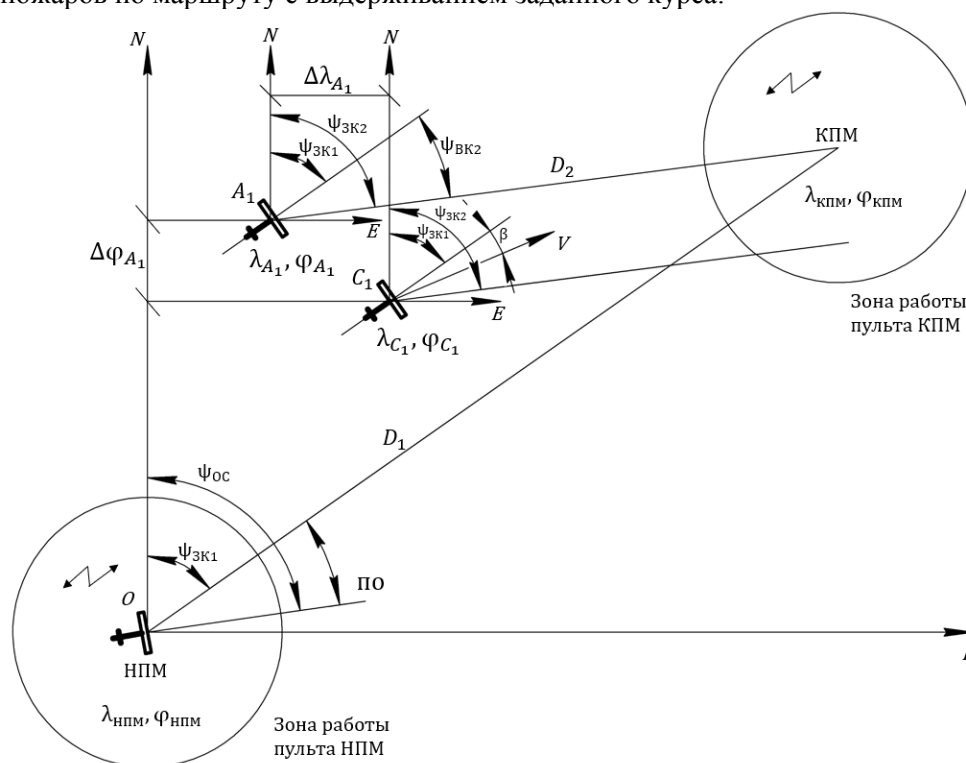


Рис. 2. Схема полета БПЛА для мониторинга лесных пожаров: $\psi_{ОС}$ – стояночный курс; $\psi_{ЗК}$ – заданный курс; $\psi_{тек}$ – текущий курс; D – дальность; ПО – продольная ось летательного аппарата (ЛА); V – вектор скорости; β – угол сноса; N, E – страны света (Север, Восток); A_1 – координаты ЛА, вычисленные НПС при автономном полете; $\lambda_{A1}, \phi_{A1}, \psi_{ЗК1} = \psi_{тек}$; $\psi_{ЗК2}$ – расчет нового заданного курса, D_2 – дальность до конечного пункта управления (КПМ); $\lambda_{C1}, \phi_{C1}, \psi_{ЗК2} = \psi_{тек}$; C_1 – координаты ЛА, фактические, вычисленные после коррекции от СНС, с определением погрешности автономного полета – $\Delta\lambda, \Delta\phi$

Fig. 2. The UAV flight pattern for forest fire monitoring: $\psi_{ОС}$ – initial direction; $\psi_{тек}$ – current direction; D – range; ПО – aircraft longitudinal axis; V – velocity vector; β – drift angle; N, E – cardinal directions; A_1 – aircraft coordinates computed by the NPS during the autonomous flight; $\lambda_{A1}, \phi_{A1}, \psi_{ЗК1} = \psi_{тек}$; $\psi_{ЗК2}$ – computation of a new current direction; D_2 – distance to the final control point (КПМ); $\lambda_{C1}, \phi_{C1}, \psi_{ЗК2} = \psi_{тек}$; C_1 – actual aircraft coordinates computed after correction by the satellite navigation system with the error estimation of autonomous flight – $\Delta\lambda, \Delta\phi$

Взаимодействие входящих в состав НПС устройств изложено в описаниях патентов на изобретения и материалах статьи [4].

Разработка НПС БПЛА, построенная на основе приведенной структурной блок-схемы, предназначена реализовать на практике решение задач по мониторингу лесных пожаров в режиме автономного автоматического полета по запрограммированному (например, челночному) маршруту и в режиме радиоуправления от наземного пульта. Зона действия мониторинга – территория с радиусом действия 5...15 км.

Разработка основана на применении курсовых систем, спутниковых навигационных систем, вычислительного устройства и наземных пультов радиоуправления, а также возможностей современной элементной базы и комплектующих изделий, используемых на летательных аппаратах.

Сведения о конструкции и работе НПС и БПЛА, в том числе об объемах и формах проведения полевых и камеральных работ, приведены в руководстве по технической эксплуатации (РЭ) НПС и руководстве по летной эксплуатации (РЛЭ) БПЛА.

Заключение

В настоящее время БПЛА находят все большее применение в лесохозяйственной практике как инструмент мониторинга. В ближайшем будущем следует ожидать создания транспортных БПЛА, которые кроме выполнения функций мониторинга лесных пожаров станут средством оперативной доставки различных грузов в труднодоступные районы для решения задач тушения лесных пожаров.

Предлагаемая структура НПС обеспечивает требования к точности и безопасности полетов БПЛА. Решение ряда технологических задач лесного хозяйства может быть ускорено с помощью созданного в России Государственного центра беспилотной авиации и благодаря позиции Министерства по чрезвычайным ситуациям по применению БПЛА.

Материалы данной статьи по созданию навигационно-пилотажных систем могут быть использованы при разработке технического задания на транспортные беспилотные летательные аппараты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев Н.А. Методические вопросы картографического обеспечения деятельности особо охраняемых природных территорий России // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 5: География. 2014. № 1. С. 52–57. [Alexeev N.A. Specific Methodological Features of Cartographic Support of the Activities of Nature Protection Areas in Russia. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, 2014, no. 1, pp. 52–57].
2. Бобринский А.Н., Воронов М.А., Кориунов Н.А. и др. Правоприменение и управление в сфере использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов / под общ. ред. А.П. Петрова. М.: Всемир. банк, 2017. 274 с. [Bobrinskiy A.N., Voronov M.A., Korshchnov N.A. et al. *Law enforcement and Management in Use, Protection and Reproduction of Forests*. Ed. by A.P. Petrov. Moscow, Vsemirnyy bank Publ., 2017. 274 p.].
3. Евдокименко М.Д. География и причины пожаров в Байкальских лесах // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 4. С. 30–39. [Evdokimenko M.D. Forest Fire Causes and Distribution in the Baikal Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2013, no. 4, pp. 30–39]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/eb9/lkh4.pdf>
4. Коптев С.В., Скуднева О.В. О возможностях применения беспилотных летательных аппаратов в лесохозяйственной практике // Изв. вузов. Лесн. журн. 2018. № 1. С. 130–135. [Koptev S.V., Skudneva O.V. On the Applicability of UAV in Forestry Practice. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2018, no. 1, pp. 130–135]. DOI: [10.17238/issn0536-1036.2018.1.130](https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.1.130), URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/0b3/130138.pdf>

5. Микова Е.Ю. Построение наглядных изображений лесовозных автомобильных дорог с помощью информационных технологий: по материалам беспилотных летательных аппаратов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2018. 16 с. [Mikova E.Yu. *Construction of Visual Images of Logging Roads Using Information Technologies (Adapted from Unmanned Aerial Vehicles)*: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2018. 16 p.].

6. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: моногр. Казань: Школа, 2015. 444 с. [Moiseev V.S. *Fundamentals of the Theory of Unmanned Aerial Vehicles Effective Use*: Monograph. Kazan, Shkola Publ., 2015. 444 p.].

7. Окорочкова Н.С., Пушкин К.В., Севчук С.Д., Фармаковская А.А. Разработка схем базовых модулей типоразмерных рядов энергоустановок на основе воздушно-алюмохимических источников тока // Тр. МАИ. 2014. № 78. [Okorokova N.S., Pushkin K.V., Sevchuk S.D., Farmakovskaya A.A. The Development of the Basic Module Schemes for the Dimension-Type Series of Power Plants Based on the Air-Aluminum Chemical Current Sources. *Trudy MAI*, 2014, iss. 78].

8. Патент 2685572 Российская Федерация. Пилотажно-навигационная система транспортного летательного аппарата: № 2017102180/19: заявл. 24.01.2017; опубл. 22.04.2019 / В.И. Мелехов, О.В. Скуднева, С.М. Габбасов, В.И. Манохин, В.В. Корнейчук, В.К. Вороницын, Т.В. Тюрикова, Е.В. Сазанова. [Melekhov V.I., Skudneva O.V., Gabbasov S.M., Manokhin V.I., Kornejchuk V.V., Voronitsyn V.K. et al. *Aircraft Navigation and Pilotage System*. Patent RF no. RU 2685572 C2, 2019].

9. Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве: отчет о науч.-иссл. работе. Пушкино, 2010. 106 с. [Development of Scientific and Methodological Approaches and Technologies for the Use of Unmanned Aerial Vehicles in Forestry. Pushkino, 2010. 106 p.].

10. Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С. Беспилотный летательный аппарат: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (ч. 2). 2011. Режим доступа: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-for-mapping-2/> (дата обращения: 15.04.19). [Sechin A.Yu., Drakin M.A., Kiseleva A.S. *Unmanned Aerial Vehicle: Application for Mapping by Aerial Photography* (part 2). 2011].

11. Скуднева О.В. Беспилотные летательные аппараты в системе лесного хозяйства России // Изв. вузов. Лесн. журн. 2014. № 6. С.150–154. [Skudneva O.V. Unmanned Airborne Vehicles in the Forestry Sector of Russia. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2014, no. 6, pp. 150–154]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/565/1--bespilotnye-letatelnye-apparaty-v-sisteme-lesnogo-khozyaystva-rossii.pdf>

12. Getzin S., Nuske R.S., Wiegand K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, iss. 8, pp. 6988–7004. DOI: [10.3390/rs6086988](https://doi.org/10.3390/rs6086988)

13. Markiewicz A., Nash L. *Small Unmanned Aircraft and the U.S. Forest Service: Benefits, Costs, and Recommendations for Using Small Unmanned Aircraft in Forest Service Operations*. Final Report. Cambridge, MA, Volpe, 2016. 30 p.

14. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J.R., Maza I., Ollero A. An Unmanned Aircraft System for Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2012, vol. 65, pp. 533–548. DOI: [10.1007/s10846-011-9560-x](https://doi.org/10.1007/s10846-011-9560-x)

15. Ohmann J.L., Gregory M.J., Roberts H.M. Scale Considerations for Integrating Forest Inventory Plot Data and Satellite Image Data for Regional Forest Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 2014, vol. 151, pp. 3–15. DOI: [10.1016/j.rse.2013.08.048](https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.048)

16. Tewkesbury A.P., Comber A.J., Tate N.J., Lamb A., Fisher P.F. A Critical Synthesis of Remotely Sensed Optical Image Change Detection Techniques. *Remote Sensing of Environment*, 2015, vol. 160, pp. 1–14. DOI: [10.1016/j.rse.2015.01.006](https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.006)

17. Zhang L., Wang B., Peng W., Li C., Lu Z., Guo Y. Forest Fire Detection Solution Based on UAV Aerial Data. *International Journal of Smart Home*, 2015, vol. 9, no. 8, pp. 239–250. DOI: [10.14257/ijsh.2015.9.8.25](https://doi.org/10.14257/ijsh.2015.9.8.25)

NAVIGATION AND PILOTING SYSTEM OF UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR FOREST FIRE MONITORING

O.V. Skudneva¹, Senior Lecturer; ResearcherID: [V-5466-2017](https://orcid.org/0000-0001-6387-0108),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6387-0108>

S.V. Koptev², Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5402-1953>

S.V. Ivantsov³, Director

¹Bauman Moscow State Technical University, Faculty of Fundamental Science, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: chykchyk@yandex.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: s.koptev@narfu.ru

³State Autonomous Institution of the Arkhangelsk Region “Unified Forest Fire Center”, prosp. Obvodnyy kanal, 22, korp. 1, Arkhangelsk, 163060, Russian Federation; e-mail: iwantsow.s@yandex.ru

Forest fires are a common natural disaster all over the world. A great number of fires occur annually in the forest ecosystems of the European North of Russia for natural reasons and as a result of anthropogenic impacts. One of the urgent problems of forestry is the organization of effective control of forest fires. Herewith, it is important to quickly detect the source of fire, as well as to monitor the development of the fire, and to coordinate the actions of the staff of the ground forest protection services. Unmanned aerial vehicles (UAV) of different classes are increasingly used for these purposes. For forestry experience and, especially for forest fire monitoring, the most practical are helicopter-type UAV, which do not require special training of staff. Such devices can operate in the mode of “fire tower” and in the mode of monitoring the edge of the fire with an option to reset information pennants at certain points. The use of UAV is an effective means of monitoring the fire situation in addition to existing methods and technologies, and especially in cases of impossibility of using high-resolution satellite images for operative tasks. For the effective operation of UAV in the area of active forest fires and, thus, strong smoke, navigation and piloting systems are necessary to perform safe flights outside the action of the ground control panel located at the starting point. The aim of this work is to develop a navigation and piloting system for UAV, which can be used in the area of limitation of ground control point. The use of such systems will allow monitoring of the fire situation in real time, which is especially important in the organization of protection and suppression of forest fires in large areas of nature reserves, where the priority is to preserve the biological diversity of natural ecosystems and unique landscapes. This article may be of interest to forestry specialists, developers of UAV and equipment, fire protection and the Ministry of Emergency Situations staff, as well as to engineering students to gain experience with UAV.

For citation: Skudneva O.V., Koptev S.V., Ivantsov S.V. Navigation and Piloting System of Unmanned Aerial Vehicle for Forest Fire Monitoring. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 6, pp. 194–203. DOI: [10.37482/0536-1036-2020-6-194-203](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-194-203)

Keywords: forestry, forest fire monitoring, unmanned aerial vehicle, navigation and piloting system.

Поступила 15.09.19 / Received on September 15, 2019

Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2020 г.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Alekseev A.S., Sharma Shiva Kumar Long-Term Growth Trends Analysis of Norway Spruce Stands in Relation to Possible Climate Change: Case Study of Leningrad Region. № 3-42.

Debkov N.M., Gradel A., Aleinikov A.A. Reconstruction of Stand History and Impact Evaluation of an Invasive Bark Beetle in Siberian Fir Forests with the Help of Spatial Structure Analysis. № 3-24.

Govedar Z., Medarević M. Adaptive Forests Management: Case Study of Sessile Oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) Forests on Ozren Mountain of the Republic of Srpska. № 3-93.

Karpov A., Waske B. Method for Transferring Non-Forest Cover to Forest Cover Land Using Landsat Imageries. № 3-83.

Schekalev R.V., Martynyuk A.A., Melekhov V.I. Variability Properties of *Pinus sylvestris* L. Wood in Growing Stock under Technogenic Impact. № 4-113.

Smirnov A.I., Orlov F.S., Aksenov P.A., Yaskov Yu.V. The Effectiveness of Low Frequency Electromagnetic Field and Hydrogel Influence on Survival Rate and Growth of Red Oak (*Quercus rubra* L.) Annual Seedlings. № 5-81.

Tsarev A.P., Tsarev V.A., Tsareva R.P., Laur N.V. Evaluation of Ecological Plasticity and Stability of Some Promising Varieties of Poplars. № 5-119.

Бабинов Б.В., Субота М.Б. Формирование и динамика биотопа культур сосны на торфяных почвах после гидроме-лиорации. № 4-27.

Бакиров Н.Ж., Хамзаев А.Х., Новицкий З.Б. Лесные насаждения на осушенном дне Аральского моря. № 2-51.

Биганова С.Г., Сухоруких Ю.И., Кулик К.Н., Кулик А.К. Разнообразие орехов лещины обыкновенной (*Corylus avellana* L.) и прогноз встречаемости ее форм на Северо-Западном Кавказе. № 3-55.

Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Карельская береза: разновидность или самостоятельный вид? № 1-26.

Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. О границах ареала карельской березы. № 6-9.

Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Прогнозирование поведения пожаров растительности. № 1-9.

Гаврилова О.И., Морозова И.В., Ольхин Ю.В., Юрьева А.Л., Иоффе А.О. Динамика роста культур сосны обыкновенной на вейниково-луговиковых вырубках. № 1-63.

Геникова Н.В., Харитонов В.А., Крышень А.М. Влияние длительного периодического внесения удобрений на структуру древостоя и напочвенного покрова в условиях среднетаежных сосняков брусничных (Республика Карелия). № 2-35.

Гончарова И.А., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П., Шушпанов А.С. Оценка компонентов нижних ярусов растительного покрова в антропогенно нарушенных березняках Красноярской лесостепи. № 1-75.

Грибачева О.В., Чернодубов А.И. Изменчивость высоты дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в пограничной полосе. № 6-111.

Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Корякина Д.М., Цыпилев С.В., Чухина О.В. Многолетняя интродукция на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района. № 6-74.

Дунаев А.В., Калугина С.В., Дунаева Е.Н., Коротких А.С., Курской А.Ю., Польшина М.А. Жизнеспособность дубовых древостоев юго-запада Среднерусской возвышенности, пораженных *Polyporaceae*. № 6-22.

Жигунов А.В., Нгуен Куинь Чанг. Введение *Eucommia ulmoides* Oliv. в культуру in vitro. № 5-38.

Залывская О.С., Бабич Н.А. Оценка декоративности насаждений. № 6-98.

Иванова Г.А., Иванов В.А. Зональность лесных горючих материалов и их пирогенная трансформация в сосняках Средней Сибири. № 4-9.

- Каплина Н.Ф.** Составляющие динамики прироста ранней и поздней древесины ствола дуба черешчатого в нагорной дубраве южной лесостепи. № 5-51.
- Кищенко И.Т.** Влияние климатических факторов на сезонное развитие хвойных лесообразующих видов в таежной зоне (Карелия). № 3-72.
- Ковязин В.Ф., Виноградов К.П., Кищенко А.А., Васильева Е.А.** Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев. № 6-42.
- Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.** Транспорт, распределение и потребление ^{14}C -ассимилятов у сосны и ели в северотаежных фитоценозах при различном световом и азотном питании. № 4-77.
- Кузьмин С.Р.** Реакция ширины годичного кольца и доли поздней древесины у сосны обыкновенной на погодные условия в географических культурах. № 5-64.
- Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Братилова Н.П., Щерба Ю.Е., Комарницкий В.В.** Показатели роста кедра сибирского разного географического происхождения на подвое сосны обыкновенной. № 2-9.
- Неронова Я.А.** Микроструктура древесины культур сосны различной исходной густоты на осушенной торфяной почве после применения удобрений и гербицидов. № 4-68.
- Одноралов Г.А., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А.** Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации. № 2-60.
- Робонен Е.В., Чернобровкина Н.П., Зайцева М.И., Раевский Б.В., Егорова А.В., Колесников Г.Н.** Получение обогащенной L-аргинином древесной зелени при проведении лесохозяйственных мероприятий в молодняках сосны обыкновенной (научный обзор). № 5-9.
- Селянина С.Б., Татаринцева В.Г., Зубов И.Н., Кутакова Н.А., Пономарева Т.И.** Пигментный состав *Sphagnum fuscum* заболоченных территорий в условиях техногенного воздействия. № 6-120.
- Солдатова Д.Н., Ильинцев А.С.** Рост и продуктивность лесных культур сосны С.В. Алексеева на Европейском Севере России. № 1-99.
- Соломенцева А.С., Лебедь Н.И., Колмукиди С.В., Межевова А.С.** Подбор устойчивых видов *Rosa* L. для целей лесомелиорации, озеленения и использования в биотехнологии (на примере Волгоградской области). № 1-49.
- Сурсо М.В., Чухчин Д.Г.** Рост и развитие пыльцевой трубки можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*). № 2-20.
- Танюкевич В.В., Рулев А.С., Бородачев В.В., Тюрин С.В., Хмелева Д.В., Кваша А.А.** Продуктивность и природоохранная роль ползащитных лесонасаждений *Robinia pseudoacacia* L. Прикубанской равнины. № 6-88.
- Теринов Н.Н., Андреева Е.М., Залесов С.В., Луганский Н.А., Магасумова А.Г.** Восстановление еловых лесов: теория, отечественный опыт и методы решения. № 3-9.
- Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В.** Изменения физических свойств черноземов сегрегационных в агролесоландшафтах Центрального Черноземья. № 4-95.
- Туюнсен А.В., Тимофеева В.В., Карпечко А.Ю., Ткаченко Ю.Н., Карпин В.А., Петров Н.В.** Рекреационные изменения компонентов лесных экосистем на примере объекта культурного наследия «Беломорские петроглифы» (Республика Карелия). № 5-90.
- Тюкавина О.Н.** Плотность древесины сосны в сосняках кустарничково-сфагновых осушаемых. № 2-73.
- Улитин М.М., Бессчетнов В.П.** Сравнительная оценка таксационных показателей лесных культур лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) при интродукции в Нижегородской области. № 6-33.
- Фарбер С.К., Кузьмик Н.С.** Формирование цифровой модели влажности почв на основе показателей рельефа местности и по материалам лесоустройства. № 4-53.
- Феклистов П.А., Аверина М.В., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю., Клевцов Д.Н.** Динамика зарастания древесной растительностью сельхозугодий, выведенных из эксплуатации. № 1-88.

Феклистов П.А., Бызова Н.М., Пашкевич А.И., Сазанова Е.В., Соболев А.Н. Дендрохронологическое исследование древесины в исторически значимых арктических объектах. № 5-106.

Флюрик Е.А., Бушкевич Н.В. Определение технологических свойств листьев и плодов голубики. № 4-40.

Чадаева В.А., Пшегусов Р.Х. Семенное возобновление самшита колхидского (*Vuxus colchica* Rojark.) в условиях эпифитотии самшитников. № 6-55.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

Абузов А.В., Рябухин П.Б. Методика определения размеров внешнего контура лесосек при их разработке аэростатно-канатными системами. № 2-81.

Заикин А.Н., Коньшакова С.А., Сиваков В.В., Кузнецов С.Г., Булхов Н.А. Технологический ресурс лесозаготовительной техники лесхозов Республики Башкортостан. № 4-123.

Заикин А.Н., Торопов А.С., Меркелов В.М., Сиваков В.В. Повышение эффективности работы машин и оборудования при заготовке древесины в лесах с радиоактивным загрязнением. № 1-113.

Минаев А.Н., Зубова О.В., Кулик Д.М., Силецкий В.В., Луговов В.И. Применение золополимерных смесей в строительстве лесовозных дорог. № 3-106.

Мясищев Д.Г., Шостенко Д.Н., Серебренников А.В. Потребление топлива порталным лесохозяйственным трактором с учетом стохастических факторов. № 5-145.

Орловский С.Н. Обоснование технологии механизированной лесоочистки лож водохранилищ и компоновки оборудования для ее выполнения. № 1-128.

Пискунов М.А. Особенности российского рынка лесозаготовительной техники. № 6-132.

Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Исследование процесса разрушения мерзлых и оттаивающих почвогрунтов при воздействии трелевочной системы. № 2-101.

Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Прогнозная модель воздействия трелевочной системы на лесной почвогрунт в сложных сезонно-климатических условиях. № 5-131.

Рукомойников К.П., Купцова В.О. Обоснование норм расхода топлива многооперационных лесозаготовительных машин на примере харвестера. № 3-117.

Рукомойников К.П., Купцова В.О., Сергеева Т.В. Математическая модель расхода топлива форвардера «Амкодор-2682» при выполнении лесохозяйственных работ. № 6-148.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Blokhin M.A., Podlesny D.A., Rodionov O.A. Solving the Problem of Reducing the Influence of Lateral Force on the Saw Blade Stability. № 2-118.

Lukash A.A., Lukutsova N.P. Thermal Conductivity of Wood-Based Cellular Structures. № 1-146.

Глухих В.Н., Черных А.Г. Обоснование овальности формы сечений стволов деревьев при их росте с наклоном. № 5-166.

Говядин И.К., Чубинский А.Н. Исследование свойств древесно-полимерного композита на основе PLA. № 2-129.

Гороховский А.Г., Побединский В.В., Шишкина Е.Е., Побединский Е.В. Моделирование процесса сушки пиломатериалов. № 1-154.

Ермолин В.Н., Баяндин М.А., Казинин С.Н., Намятов А.В., Острякова В.А. Водостойкость древесных плит, получаемых без использования связующих веществ. № 3-151.

Зарипов Ш.Г., Корниенко В.А. Влияние технологии сушки лиственных пиломатериалов на длительность процесса обезвоживания. № 4-134.

Зырянов М.А., Медведев С.О. Моделирование процессов получения древесно-волоконистых полуфабрикатов в целях расширения сырьевой базы лесопромышленных предприятий. № 5-176.

Любов В.К., Попов А.Н. Эффективность сжигания древесного топлива в водогрейных котлах КВУ-2000. № 1-167.

Мелехов В.И., Соловьев И.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.В. Повышение устойчивости дереворежущих пил термопластическим воздействием на распределение остаточных напряжений в полотне. № 6-172.

Пилюшина Г.А., Пыриков П.Г., Памфилов Е.А., Данилюк А.Я., Капустин В.В. Модифицирование древесины для создания подшипников скольжения лесопромышленных машин. № 5-155.

Прокофьев Г.Ф., Тюрин А.М., Кабакова М.Ю., Коваленко О.Л. Определение начальной жесткости вальцованных полосовых нерастянутых пил. № 3-143.

Рублева О.А., Гороховский А.Г. Экспериментальная оценка прочности склеивания древесины по длине на прямоугольные прессованные шипы. № 3-128.

Синицын Н.Н., Телин Н.В. Математическое моделирование процесса сушки древесной коры. № 6-159.

Тамби А.А., Угрюмов С.А., Бирман А.Р., Черноградская И.А. Основные размерно-качественные характеристики круглых лесоматериалов, заготавливаемых в Архангельской области. № 4-147.

Черных А.Г., Данилов Е.В., Коваль П.С. Расчет жесткости соединений конструкций из LVL с когтевыми шайбами. № 4-157.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Целлюлозная масса из коры веток тутовника для бумажной отрасли. № 5-183.

Бровко О.С., Паламарчук И.А., Горшкова Н.А., Ивахнов А.Д. Металлоуглеродные композиты на основе лигносульфонатов. № 3-159.

Королева Т.А., Миловидова Л.А., Комарова Г.В., Дряхлицын А.А., Медведев В.В., Мосеев В.Г. Применение окислительного щелочения в процессе отбеливания лиственной сульфатной целлюлозы. № 4-168.

Лахманов Д.Е., Хабаров Ю.Г., Вешняков В.А., Ёкубжанов М.Р. Нитрование гидролизного лигнина в водно-апротонных средах. № 5-184.

Мингазова Л.А., Канарский А.В., Крякунова Е.В., Канарская З.А. Синтез молочной кислоты грибом *Rhizopus oryzae* F-1030 на питательных средах из сульфитных щелоков. № 2-146.

Прохоров Д.А., Смолин А.С. Оценка эффективности сушильной части машин для выработки санитарно-гигиенических видов бумаги. № 2-159.

Романова А.Н., Казаков Я.В., Малков А.В. Количественная характеристика полей локальных деформаций в образце картона топлайнер при одноосном растяжении. № 1-180.

Черная Н.В., Богданович Н.И., Карпова С.В., Мисюров О.А. Применение карбамидоформальдегидного олигомера для улучшения качества бумажно-картонной продукции. № 6-182.

Юрьев Ю.Л. Получение и использование березового активного угля для доочистки питьевой воды. № 3-169.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

Popov E.V., Ruslanova A.V., Sopilov V.V., Zdravlov N., Mamedov S.M., Labudin B.V. Contact Interaction of a Claw Washer with Wood at Limiting Shear. № 4-178.

Tungalag M., Gerelbaatar S., Lobanov A.I. Organic Carbon Stocks in the Forest Soils of Northern Mongolia. № 2-169.

Мерзленко М.Д. Основные итоги лесокультурного наследия лесовода К.Ф. Тюрмера. № 5-201.

Пекарец А.А., Ерохина О.А., Новожилов В.В., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л. Упруго-релаксационные свойства древесины лиственницы и их роль при получении древесных и древесно-угольных брикетов. № 1-190.

Скуднева О.В., Коптев С.В., Иванцов С.В. Навигационно-пилотажная система беспилотного летательного аппарата для мониторинга лесных пожаров. № 6-194.

Шамаев В.А. Исследование модифицированной древесины методом электронной микроскопии. № 1-190.